

Гальванические  
**ПОКРЫТИЯ**  
в машиностроении

СПРАВОЧНИК

2

« МАШИНОСТРОЕНИЕ »

# Гальванические ПОКРЫТИЯ в машиностроении

Справочник в двух томах  
Том 2

Под редакцией д-ра техн. наук  
проф. М. А. ШЛУГЕРА  
и канд. техн. наук Л. Д. Тока



МОСКВА  
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
1985

Авторы тома: д-р техн. наук проф. Ф. Ф. Ажогин, канд. хим. наук И. Н. Андреев, канд. хим. наук В. А. Казаков, канд. техн. наук А. В. Марейчев, инж. Н. Ф. Мелашенко, д-р техн. наук проф. С. А. Мерекалов, канд. техн. наук А. Я. Рябой, канд. техн. наук Л. Д. Ток, канд. техн. наук М. М. Фотиев, д-р техн. наук проф. М. А. Шлугер

Рецензент инж. В. Я. Ключков

**Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник.**  
Г17 В 2-х томах/Под ред. М. А. Шлугера, Л. Д. Тока. — М.: Машиностроение, 1985. — Т. 2. 1985. 248 с., ил.

В пер.: 1 р. 60 к.

Приведены сведения по технологии осаждения неметаллических и металлических покрытий на легкие цветные металлы и пластмассы, по контролю гальванических ванн и качества покрытий, оборудованию, механизации и автоматизации гальванического производства, а также по охране труда.

Для инженерно-технических работников машиностроительных заводов, научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, занимающихся разработкой технологии и оборудования для гальванических цехов.

Г 270407000-131 131-85  
038 (01)-85

ББК 34.663  
6П14.52

© Издательство «Машиностроение», 1985 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Глава 14. Гальванические покрытия цветных металлов (А. Я. Рябой)</b>	5	<b>Глава 18. Контроль электролитов и покрытий (М. А. Шлугер)</b>	72
Гальванические покрытия цинковых сплавов . . . . .	5	Анализ металлодержашего компонента в электролитах . . . . .	72
Гальванические покрытия алюминия и его сплавов . . . . .	6	Анализ комплексобразующих и других компонентов электролитов . . . . .	78
Гальванические покрытия магния и его сплавов . . . . .	12	Анализ растворов для оксидирования и фосфатирования . . . . .	81
Гальванические покрытия титана и его сплавов . . . . .	14	Поляррография . . . . .	82
Гальванические покрытия меди и ее сплавов . . . . .	17	Контроль кислотности . . . . .	83
<b>Глава 15. Нанесение покрытий на пластмассы и диэлектрики (Н. Ф. Мелашенко)</b>	18	Определение толщины покрытий . . . . .	87
Общие сведения . . . . .	18	Контроль качества покрытий . . . . .	97
Диэлектрики, подвергаемые покрытию . . . . .	20	Контроль распределения металла . . . . .	108
Конструирование деталей	21	<b>Глава 19. Оборудование для механической подготовки поверхности и стационарные ванны (Л. Д. Ток)</b>	110
Переработка пластмасс . . . . .	22	Шлифовально-полировальное оборудование . . . . .	110
Схема технологического процесса . . . . .	23	Гальванические ванны . . . . .	119
<b>Глава 16. Электроосаждение металлов из органических электролитов (В. А. Казаков)</b>	36	Футеронка гальванических ванн . . . . .	128
Общие сведения . . . . .	36	Колокольные и барабанные ванны . . . . .	130
Алюминирование . . . . .	37	Расчет колоколов и барабанов . . . . .	136
Электроосаждение бериллия, магния, германия . . . . .	42	Вешивания . . . . .	137
Электроосаждение титана, молибдена, ниобия . . . . .	43	<b>Глава 20. Автоматические линии для нанесения гальванических покрытий (Л. Д. Ток)</b>	144
Электроосаждение меди, цинка, кадмия . . . . .	43	Карточные автоматические линии с жестким единичным циклом . . . . .	144
Электроосаждение хрома . . . . .	44	Автоспециальные автоматические линии с программным управлением . . . . .	150
Электроосаждение железа, кобальта, никеля . . . . .	45	Работа гальванического оборудования по безотходной технологии . . . . .	158
Контактные покрытия . . . . .	46	Приборы для регулирования режимов осаждения и	
<b>Глава 17. Неметаллические неорганические покрытия (Ф. Ф. Ажогин)</b>	47		
Фосфатирование . . . . .	47		
Оксидирование . . . . .	57		
Электрохимическое оксидирование (анодирование) . . . . .	60		
Хроматирование . . . . .	66		
Пассивирование . . . . .	71		

Контроль качества покрытия	160	<i>Глава 23. Охрана труда в гальваническом производстве (С. А. Меркалов)</i>	198
Вспомогательное оборудование	164	Система стандартов безопасности труда	198
<i>Глава 21. Технологическая оснастка гальванических автоматических линий (И. Н. Андросов)</i>	167	Гальваническое производство и охрана труда	200
Обеспечение эксплуатационной надежности при проектировании подвесочных устройств и другой технологической оснастки	167	<i>Глава 24. Нейтрализация сточных вод гальванических цехов (С. А. Меркалов)</i>	208
Учет влияния геометрических параметров на распределение тока при проектировании подвесочных устройств	175	Гальваническое производство и охрана гидросферы	208
Схема расчетов при проектировании подвесочного устройства	181	Методы очистки цианосодержащих сточных вод	213
<i>Глава 22. Электрическое оборудование гальванических цехов (М. М. Фотиев)</i>	182	Методы очистки хромосодержащих сточных вод	217
Источники питания	182	Методы очистки сточных вод, содержащих кислоты, щелочи и ионы тяжелых металлов	224
Регулирование выходных параметров источников тока	183	<i>Глава 25. Материалы, применяемые в гальваническом цехе (А. В. Маринич)</i>	226
Реверсирование тока в гальванической ванне	184	Химикаты	226
Источники тока специальной формы	185	Металлы	226
Выпрямительные агрегаты на кремниевых и селеновых выпрямителях	186	Неметаллические материалы	226
		Абразивные материалы	226
		Вспомогательные материалы	226
		Трехместный указатель	226
		Список литературы	248

## Глава 14.

## ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ\*

Трудности при нанесении гальванических покрытий на цветные металлы и сплавы обусловлены наличием на их поверхности окисной пленки с большим электроотрицательным потенциалом, препятствующей прочному сцеплению основы и осаждаемого покрытия. Поэтому нанесение гальванических покрытий на такие поверхности связано со специфическим способом их подготовки, при котором удаляется окисная пленка и предупреждается вторичное ее образование.

## ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ ЦИНКОВЫХ СПЛАВОВ

Детали из цинковых сплавов подвергаются гальванической обработке для получения защитно-декоративного покрытия, так как незащищенные цинковые детали даже в нормальной атмосфере быстро изменяют внешний вид из-за окисления и образования углекислых солей. Обычно такие детали меднят, никелируют и хромируют. Покрытия такими металлами, как, например, Sn и ее сплавами, а также благородными металлами, наносят относительно тонким слоем.

Подготовка деталей к осаждению покрытий. Подготовка включает следующие операции: обезжиривание в органическом растворителе, обезжиривание химическое, обезжиривание электрохимическое, активацию.

После шлифования и полирования отлитые из цинкового сплава детали очищают от загрязнений в органическом растворителе, например в тетрагидроэтилене, при температуре 121 °С в течение 0,5—5,0 мин. Очистка проводится в специальной аппаратуре погружением деталей в кипящий растворитель на 30—60 с с последующей выдержкой в парах растворителя. Допускается очистка бензином с по-

следующей сушкой на воздухе при температуре 15—30 °С в течение 30—40 мин.

Химическое обезжиривание деталей проводят в растворе следующего состава (г/л):

Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O	15—35
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	15—35
сидерит DC-10	3—5
Режим обезжиривания: $t = 60 \pm 80^\circ\text{C}$ ; $\tau = 5 \pm 20$ мин.	

Электрохимическое обезжиривание производят включением деталей в качестве катода или анода. В некоторых случаях обезжиривание ведется попеременно — то на анодном, то на катодном режиме с различным временем работы на каждом.

Для деталей из цинковых отливок нельзя рекомендовать только анодное электрохимическое обезжиривание в растворах, содержащих силикат натрия, так как при этом возможно образование невидимых силикатных пленок, которые не растворяются ни в H<sub>2</sub>O, ни в HCl или H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и могут быть растворены только в разбавленной HF.

Электрохимическое обезжиривание деталей из цинковых отливок проводят в одном из растворов следующего состава (г/л):

1. Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O	20—40
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	20—40
Режим обезжиривания: $t = 60 \pm 80^\circ\text{C}$ ; $i_a = 5 \pm 6$ А/дм <sup>2</sup> ; $\tau = 20 \pm 30$ с.	
2. NaOH	8—12
Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O	4—6
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	8—12
стекля. натриевое жидкое	25—30
сульфитол	0,1—0,3
Режим обезжиривания: $t = 60 \pm 70^\circ\text{C}$ ; $i_k = 1 \pm 2$ А/дм <sup>2</sup> ; $\tau = 30$ с; pH 9,3—10,5.	

За электрохимическим обезжириванием следует промывка и активация. Активацию деталей из цинковых сплавов проводят в растворе следующего состава (г/л)

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	30—80
Режим активации: $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ ; продолжительность — до начала выделения пузырьков газа.	

\* Здесь и далее обозначения величин см. в томе 1.



Гальваническое осаждение покрытий. Многослойные покрытия. При нанесении Cu—Ni—Cr покрытий на детали из цинковых отливок производят предварительное меднение в цианидном или анодном электролите низкой концентрации со значением pH 11—12. Тонкий медный слой предохраняет отливку из Zn деталь от растворения. Слой Cu не должен быть слишком тонким во избежание возникновения реакции с основным металлом в порах. После предварительного меднения осаждают покрытие Cu—Ni—Cr из электролитов, приведенных в соответствующих главах справочника.

ИХХТ АН Литовской ССР разработан процесс катодного меднения деталей из цинковых отливок марок ЦАМ 4-1 и ЦАМ 4-3 (Лимеда МЦАМ-1 и Лимеда МЦАМ-2).

Осаждение Cu проводят в электролите следующего состава (Лимеда МЦАМ-1) (г/л):

CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	80—100
Na <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> · 10H <sub>2</sub> O	380—400
кислота салициловая	30—40

Режим осаждения:  $t = 50 \pm 55^\circ\text{C}$ ;  $i_{\text{к}} = 0,2 \pm 0,05 \text{ А/дм}^2$  — без перемешивания;  $i_{\text{а}} = 0,5 \pm 0,05 \text{ А/дм}^2$  — при перемешивании сжатим воздухом;  $i_{\text{а}} = 0,2 \pm 0,05 \text{ А/дм}^2$ . Натрий пиррофосфорнокислый может быть заменен на соответствующее количество калия пиррофосфорнокислого.

Цинкование. При гальванической обработке деталей из цинковых отливок не удается полностью избежать образования пузырей вследствие того, что изъятия на наружной поверхности и поры в литой корке при меднении не закрываются, а только перекрываются. Чтобы ограничить образование пузырей, наносят на электрохимически отполированную поверхность выравнивающий слой Zn.

Для электрохимического выравнивания деталей цинковых отливок применяют электролит следующего состава (г/л)

NaOH	750
------	-----

Режим полирования:  $t = 24 \pm 32^\circ\text{C}$ ;  $i_{\text{а}} = 21 \text{ А/дм}^2$ ; напряжение 8—10 В; продолжительность 2—4 мин; скорость вращения детали 10 мин/мин; материал катодов — горячекатаная сталь.

Время полирования устанавливается в зависимости от толщины литой корки цинковой отливки.

Выравнивающий электролит для цинкования имеет следующий состав (г/л):

ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	450
NH <sub>4</sub> Cl	15
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>	15
димонийацетатная соль	25
лимонная кислота	25
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10H <sub>2</sub> O	15
глицерин	7
сахарин	18
паратолуолсульфамид	0,7
тергитол* (об. доля, %)	0,5

Режим осаждения:  $t = 46 \pm 48^\circ\text{C}$ ;  $i_{\text{к}} = 16 \pm 32 \text{ А/дм}^2$ ; pH 2,4—3,05; время выдержки на катоде и аноде соответственно 15 и 9 с. Электролит перемешивается воздухом, детали приводятся в движение. Аноды из Zn высокой чистоты помещены в нейлоновые мешки. Время осаждения слоя толщиной 56—55 мкм в зависимости от плотности тока составляет 25—50 мин.

В результате цинковый слой создает хорошее основание для последующих слоев из Cu, Ni и Cr. Особо высокая коррозионная стойкость детали из цинковых отливок под давлением достигается при следующих толщинах покрытия: цинкового 25—50 мкм, медного 2,5—7,5 мкм и никелевого 12,5—25 мкм.

Хромирование. Процесс непосредственного хромирования деталей из цинковых отливок включает следующие операции: полирование; синтку или предварительное обезжиривание в трихлорэтилене; катодное обезжиривание в слабощелочном горячем электролите; погружение в 0,1—0,5 % ный раствор FeCl<sub>3</sub> при комнатной температуре; промывку в проточной воде; хромирование в тетрахромином электролите при  $i_{\text{к}} = 30 \pm 60 \text{ А/дм}^2$ ;  $t = 20^\circ\text{C}$ ; промывку, сушку и полирование.

## ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

На детали из алюминия и его сплавов функциональные гальванические покрытия наносят для обеспечения пайки обычными методами (Ni, Cu, Sn и его сплавы), увеличения переходного сопротивления электродных контактов (Ag, Rh), устранения заедания резьб (Zn, Cd), повышения износостойкости (Cr, Ni), улучшения сцепления с резиной при опрессовке (латунирование) и т. д.

При гальваническом осаждении покрытий наиболее прочное сцепление обеспечивается при предварительном нанесении контактным способом более тонких, плотных и сплошных цинковых осадков. Снижение концентрации раствора приводит обычно к образованию более толстых и менее плотных осадков.

\* Специальное смачивающее вещество.

Подготовка деталей к осаждению покрытий. Подготовка подразделяется на обычную и специальную. Обычная подготовка деталей включает следующие операции: обезжиривание в органическом растворителе, обезжиривание химическое, осветление, травление и осветление.

Обезжиривание в органическом растворителе деталей из Al и его сплавов проводится так же, как и деталей из цинковых сплавов.

Химическое обезжиривание проводят в растворе следующего состава (г/л):

Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O	20—50
NaOH	8—12
стекло натриево-жидкое	25—35

Режим обезжиривания:  $t = 60 \pm 70^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 5 \pm 10 \text{ мин}$ .

Осветление деталей из Al и его деформируемых сплавов выполняется в растворе следующего состава (г/л)

HNO <sub>3</sub>	300—400
------------------	---------

Режим осветления:  $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 1 \pm 2 \text{ мин}$ .

Осветление деталей из кремнистых литых алюминиевых сплавов проводится в растворе следующего состава (г/л):

HNO <sub>3</sub>	450—650
HF	80—120

Режим осветления:  $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 0,2 \pm 1,0 \text{ мин}$ .

Травление деталей проводится в растворе следующего состава (г/л)

NaOH	80—100
------	--------

Режим травления:  $t = 45 \pm 50^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 0,5 \pm 2,0 \text{ мин}$ .

Специальная подготовка деталей из Al и его сплавов включает операцию нанесения подслоя, который обеспечивает прочное сцепление осаждаемого покрытия с основой. Подслой наносят контактным или электрохимическим способами, или анодным окислением.

Контактное осаждение Zn и Zn—Ni. Этот метод из-за своей простоты и дешевизны является наиболее распространенным и универсальным.

При гальваническом осаждении покрытий наиболее прочное сцепление обеспечивается при предварительном нанесении контактным способом более тонких, плотных и сплошных цинковых осадков. Снижение концентрации раствора приводит обычно к образованию более толстых и менее плотных осадков.

На толщину осаждаемого в цинковом растворе цинка в большой степени влияет концентрация NaOH, тем тоньше осадки Zn. В разбавленных и концентрированных цинковых растворах осаждаются различные по структуре и толщине покрытия. В разбавленных растворах осаждаются преимущественно крупнокристаллические толстые осадки Zn. Все осадки, полученные в концентрированных растворах, обладают мелкозернистой структурой, более тонки, плотны, компактны и лучше сцеплены с поверхностью Al.

Способ цинкования алюминия пригоден как для деформированных, так и для литых сплавов.

Хорошие покрытия получают при осаждении в цинковых растворах следующего состава (г/л):

ZnO	60—70
NaOH	250—420

Режим осаждения:  $t = 18 \pm 25^\circ\text{C}$ ; продолжительность обработки для чистого Al и его сплавов с Si 10 с, для сплавов Al с Cu 1—5 с.

При температуре раствора ниже  $18^\circ\text{C}$  для получения хорошего сцепления необходима более длительная обработка.

Цинковку проводят также в следующем растворе (г/л):

ZnO	70—100
NaOH	400—525
FeCl <sub>3</sub>	1—2
калий-натрий вириконовый	10—15

Режим осаждения:  $t = 18 \pm 25^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 0,25 \pm 4,0 \text{ мин}$ .

Обработку в цинковом растворе часто проводят дважды, снимая первый слой в растворе HNO<sub>3</sub>.

Воздействовать на процесс образования цинковых покрытий, делая их более плотными, компактными и коррозионностойкими, можно путем введения в раствор для контактного осаждения так называемых модификаторов: сегнетова соль (10—20 г/л), FeCl<sub>3</sub> (1—2 г/л) и NaNO<sub>2</sub> (1 г/л). Рост осадка в таких растворах происходит раньше 15 с, поэтому длительность обработки в них не играет такой роли, как в обычных растворах.

ИХХТ АН Литовской ССР разработан процесс подготовки поверхности Al и его сплавов для нанесения гальванических покрытий Лимеда Al. Процесс предназначен для образова-

ния на поверхности деталей вместо оксидной пленки пленки из сплава  $Zn-Ni$ , на которую наносят гальванические покрытия.

Для образования  $Zn-Ni$  пленки на Al и его сплавах типа дюралюминия, силуминов, а также сплавов Al с Mg и Mn применяют раствор следующего состава (г/л):

Zn (BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> . . . . .	41—80
Ni (BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> . . . . .	100—250
NH <sub>4</sub> BF <sub>4</sub> . . . . .	5—40

Для повышения прочности сцепления наносимых гальванических покрытий с дюралюминием для образования  $Zn-Ni$  пленки применяют раствор следующего состава (г/л):

Zn (BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> . . . . .	40—60
Ni (BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> . . . . .	100—250
NH <sub>4</sub> BF <sub>4</sub> . . . . .	5—40
триэтиленгликоль, мл/л	10—50

Детали в растворах выдерживают сначала без тока, затем дают импульсы тока, промывают в воде и осаждают гальванические покрытия.

**Гальваническое осаждение покрытий.** Осаждение по контактно-осажденным Zn и Ni. Наиболее распространенный способ нанесения гальванических покрытий на детали после обработки в цинкатоном растворе состоит в их последующем осаждении в цианистой ванне, в которой pH не должно превышать 10, а концентрация свободной цианида 4 г/л. Загрузку деталей осуществляют под током, и в первые 2 мин электролиза работают при повышенной в 2 раза плотности тока. Толщина осажденного слоя Cu должна быть 1,5 мкм ≤ δ ≤ 2,5 мкм. Оптимальные результаты получаются при применении медных электролитов, содержащих сегнетову соль. При нанесении более толстых слоев Cu производят дополнительное осаждение в пирофосфатных или сернокислых электролитах. По слою Cu возможно обычное осаждение других металлов. На контактно-осажденный слой Zn можно осаждать Zn и Cd в цианистых и кислых электролитах. Перед кадмированием применяют также контактное осаждение Cr из раствора следующего состава (г/л):

CdSO <sub>4</sub> · 8/3H <sub>2</sub> O . . . . .	3,3—3,6
NH <sub>4</sub> Cl, мл/л . . . . .	100—105
клей гидролизованная . . . . .	1,0—2

При кадмировании в обычных цианистых электролитах после контактного осаждения Zn или Cd начальная плотность тока (в течение первых 10—15 мин) не должна превышать 1—1,2 А/дм<sup>2</sup>; содержание едкой щелочи в цианистых электролитах должно быть минимальным. Для улучшения качества покрытий рекомендуется проводить кадмирование в двух электролитах, разбавленном (предварительное кадмирование) и основном, в котором осаждается слой Cd необходимой толщины. Их составы следующие (г/л):

1. CdO . . . . .	6,5—7,5
NaCN . . . . .	55—60
Режим осаждения: $t = 18 \pm 25^\circ\text{C}$ ; $i_k = 2,5 \text{ А/дм}^2$ ; $\tau = 1 \text{ мин}$ .	
2. CdO . . . . .	23—26
NaCN . . . . .	50—100
Режим осаждения: $t = 18 \pm 25^\circ\text{C}$ ; $i_k = 1,5 \pm 4,5 \text{ А/дм}^2$ ; $\tau = 0,6—1,5 \text{ мин}$ .	

При указанном процессе можно наносить кадмиевые покрытия непосредственно без контактно-осажденного слоя металла.

Имеются рекомендации по твердому хромированию алюминиевых деталей после двукратного контактного цинкования и удаления первого слоя. При этом процесс протекает в две стадии: 1) в стандартном электролите для хромирования при 18—21°C и  $i_k = 16 \text{ А/дм}^2$ ; 2) в электролите того же состава при 55°C и повышенной вдвое плотности тока.

Контактное никелирование проводят в растворе следующего состава (г/л):

1. NiCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O . . . . .	23—43
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> . . . . .	1420—1450
Режим осаждения: $t = 50 \pm 60^\circ\text{C}$ ; $\tau = 6,2 \pm 0,5 \text{ мин}$ .	
2. NiCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O . . . . .	550—650
NH <sub>4</sub> Cl . . . . .	10—20
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> . . . . .	26—40
Режим осаждения: $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ ; $\tau = 1 \text{ мин}$ .	

Пленка контактного Ni должна быть светлой и иметь прочное сцепление с основой. После обработки никелевое покрытие удаляют в HNO<sub>3</sub> (~470 г/л) при 15—30°C. Допускается двукратное осаждение Ni с промежуточным и последующим его удалением. Перед износостойким хромированием двукратное контактное осаждение Ni с промежуточным и последующим его удалением обязательно. Металлические покрытия (химический Ni, из-

носостойкие Cr, Cu и др.) наносят на подготовленные таким образом детали после промывки в холодной проточной воде.

Следует отметить, что обработка в цинкатоном растворе имеет и ряд существенных недостатков. Сцепление гальванических покрытий при этом способе не является достаточно высоким и покрытия, полученные этим методом, лучше использовать для деталей, эксплуатируемых в легких и средних условиях, не подвергающихся пайке, температурным перепадам и т. п.

Осаждение по электролитически нанесенным Zn и Ni. Вместо покрытий, получаемых погружением, слой Zn наносят гальваническим способом. При этом добиваются повышения прочности сцепления покрытия с металлом детали в результате проведения последующей кратковременной термообработки. Этот способ пригоден для Al и различных его сплавов, кроме сплавов, содержащих Mg ≥ 30%. После тщательной очистки на детали из Al или его сплавов осаждают очень тонкий слой Zn из цианистого электролита специального состава (г/л):

ZnCl <sub>2</sub> . . . . .	0,5
NaCN . . . . .	0,5
NeOH . . . . .	10,5
Режим осаждения: $t = 18 \pm 20^\circ\text{C}$ ; $i_k = 0,6 \text{ А/дм}^2$ ; $\tau = 20 \text{ с}$ .	

Затем на деталь осаждают тонкий слой латуни и никелируют в обычном сернокислом никелевом электролите до необходимой толщины покрытия, далее подвергают кратковременной термической обработке при 220—230°C.

Рекомендуется проводить также термообработку после нанесения не только Ni, но также и Cr, что улучшает прочность сцепления.

Разработан другой способ, пригодный для всех алюминиевых сплавов, при котором образуется промежуточный слой Ni, обладающий очень высоким сцеплением с основой. При этом способе деталь погружают на 10—15 с в 10%-ный раствор HF, промывают и затем погружают в раствор следующего состава (об. доля, %):

HCl (плотностью 1,19 г/см <sup>3</sup> ) . . . . .	50
H <sub>2</sub> O . . . . .	50
MnSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O, г/л . . . . .	9—10

Для травления деталей из сплавов применяют раствор смеси концентри-

рованных HNO<sub>3</sub> и HF (3 : 1 объемных частей).

После указанной подготовки осаждают тонкий слой никеля в электролите следующего состава (г/л):

NiSO <sub>4</sub> · 6H <sub>2</sub> O . . . . .	140
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O . . . . .	75
NH <sub>4</sub> Cl . . . . .	15
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> . . . . .	15

Режим осаждения:  $t = 50 \pm 60^\circ\text{C}$ ;  $i_k = 1,5 \text{ А/дм}^2$ ;  $\tau = 10 \text{ мин}$ .

Осажденный Ni подвергают термообработке до температуры 100°C, в результате чего часть Ni диффундирует в Al. Имеются рекомендации по применению при термообработке более высоких температур. Термообработка при 200—280°C в течение 0,5—1 ч обеспечивает хорошее сцепление никелевого покрытия с основой. Такой режим обработки применим только для сплавов, не упрочняемых термической обработкой. На осажденный слой Ni могут быть нанесены другие покрытия.

Термообработку в печи следует проводить на стальных противнях, так как при обработке на противнях из алюминия образуется вздутия и пузыри на покрытии. Если после термообработки поверхность Ni матовая, то это означает, что обработка проведена неправильно.

При термообработке на поверхности Ni образуется оксидная пленка, которую удаляют при последующем нанесении покрытий. Лучшим способом удаления пленки и активации поверхности Ni перед нанесением гальванических покрытий и особенно Cr является активация в HCl и непродолжительная (2—5 с) анодная обработка в 20—25%-ном растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при  $i_a = 7 \pm 15 \text{ А/дм}^2$ .

Применение последующей термообработки обеспечивает хорошее сцепление Ni с основой. Такая технология может быть использована для осаждения различных покрытий на деталях, находящихся в более жестких эксплуатационных условиях, а также применена для последующей пайки.

Осаждение по оксидной пленке. Особенности анодного окисления — возможность непосредственного осаждения гальванических покрытий на оксидную пленку без проведения последующей обработки.

Для травления деталей при анодном окислении в H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, тонкие,

отливается равномерной пористостью с определенными размерами пор, и прочно сцеплены с алюминиевой поверхностью. При нанесении гальванических покрытий металл осаждается внутри пор пленки, поэтому электроосажденный слой отличается хорошим сцеплением с основой. Оксидные пленки предохраняют Al от коррозии в электролите в процессе покрытия, а также значительно сдвигают в положительную сторону его потенциал, предотвращая возможность контактного вытеснения.

Для получения окисных пленок, служащих подслоем под гальванические покрытия, во многих случаях достаточным является формирующее напряжение 12 В. Температура электролита также влияет на пористость пленки. С повышением температуры растет пористость вследствие увеличения скорости химического растворения пленки. Анодное окисление деталей из Al и его сплавов проводят в растворе следующего состава (г/л)

H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> . . . . .	350—670
--	---------

Режим анодного окисления:  $t = 15-30^\circ\text{C}$ ;  $i_a = 1-2 \text{ А/дм}^2$ ; напряжение 12—18 В;  $\tau = 5-15 \text{ мин}$ ; катоды свинцовые; толщина образующейся анодной пленки до 3 мкм.

Гальванические покрытия следует наносить на анодно-окисленную поверхность при повышенной плотности тока, а загрузку деталей в ванну проводить под током из-за высокой растворимости пленки в электролитах. Стойкость оксидной пленки особенно низка в концентрированных щелочных и цианистых электролитах, в связи с чем наносить на нее гальванические покрытия в этих электролитах не рекомендуется. На окисленную поверхность вначале осаждается металлическое покрытие темного цвета, которое в дальнейшем приобретает цвет обычного металла.

На анодно-окисленную поверхность лучше всего осаждается Ni из обычных электролитов, а также Cu из пирофосфатных электролитов. Осаждать никелевое покрытие на Al и его сплавы необходимо при повышенной начальной плотности тока, снижая ее через 5—6 мин электролиза до нормальной величины. Величину pH электролита рекомендуется поддерживать в пределах 5,6—5,8.

При непосредственном осаждении Cu на анодную пленку применяют пирофосфатный электролит меднения с pH 7—8,5. Известен способ изготовления автомобильных бамперов из алюминия, при котором нанесение Ni и Cu производят на пленку, полученную анодным окислением в H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, без промежуточного осаждения меди, которая увеличивает коррозию Al. При этом оптимальные результаты получают в электролите следующего состава (об. доля, %):

H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (85 %-ная) . . . . .	15
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (96 %-ная) . . . . .	15

Режим анодного окисления:  $t = 37^\circ\text{C}$ ;  $i_a = 3,2 \text{ А/дм}^2$ ; напряжение 13 В;  $\tau = 5 \text{ мин}$ .

В этом случае оказывается излечим (а иногда и вредным) травление перед анодным окислением или активирование после обыкновенной очистки. Важно, чтобы поверхность анодного покрытия перед гальванической обработкой хорошо смачивалась электролитом для никелирования.

Практически при различных видах предварительной анодной обработки получены достаточно удовлетворительные гальванические покрытия. Следует также отметить, что хорошие результаты получают при нанесении слоя Ni на предварительно электрополированную или обработанную в растворах для химического полирования поверхность перед анодным окислением. Рекомендуется для удаления шлама после химического полирования погружать детали в концентрированную HNO<sub>3</sub>.

Коррозийными испытаниями установлено, что нанесением двойного никелевого слоя и хромового покрытия без трещин значительно повышают антикоррозионную защиту Al и его сплавов.

Осаждение без применения промежуточного слоя. Вполне удовлетворительные результаты получают при цинковании в обычных цианистых электролитах, а также в цианистых электролитах для блестящего цинкования, в которых следует применять минимально допустимую концентрацию NaOH. Весьма важную роль играет режим цинкования и особенно катодная плотность тока, которая не должна превышать 0,8 А/дм<sup>2</sup>. Только в конце

электролиза плотность тока можно увеличить на очень непродолжительное время для получения блестящего покрытия. При повышении начальной плотности тока сверх 0,8 А/дм<sup>2</sup> на поверхности деталей очень быстро появляются вздутия и пузыри. Перед цинкованием деталей из Al и его сплавов очищают обычным образом и обрабатывают в растворе следующего состава (мл/л):

HCl (концентрированная) . . . . .	20—25
HF (концентрированная) . . . . .	10—15

Режим обработки:  $t = 18-25^\circ\text{C}$ ; продолжительность обработки деталей из Al 20—30 с, из дюралюминия и силумина 30—60 с.

После обработки детали следует тщательно промыть.

Недостатки покрытий, получаемых из цианистых электролитов, следующие: небольшая термостойкость; при 225—250 °C начинается образование вздутий и пузырей и отслаивание покрытия от поверхности деталей; трудность получения качественных цинковых покрытий толщиной более 20—30 мкм.

Для непосредственного никелирования деталей из Al применяют следующий состав электролита (г/л):

NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O . . . . .	150—230
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O . . . . .	42—60
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> . . . . .	23—28
NaF . . . . .	1,5—2,5
K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> . . . . .	1—3

Режим осаждения:  $t = 40-50^\circ\text{C}$ ;  $i_k = 1-2 \text{ А/дм}^2$ .

Для этих же целей используют также электролит следующего состава (г/л):

NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O . . . . .	100
NaCl . . . . .	15
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	30
CH <sub>3</sub> COONa . . . . .	10

Режим осаждения:  $t = 18-25^\circ\text{C}$ ;  $i_k = 1-3 \text{ А/дм}^2$ .

Для улучшения сцепления осадков с покрываемым металлом детали перед покрытием обрабатывают в смеси HNO<sub>3</sub> и HF (3:1). Это позволяет получать качественные слои Ni на Al и его сплавах толщиной до 30 мкм. Раствор, содержащий HF, может быть заменен менее вредным и агрессивным раствором, содержащим 150—200 г/л H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> и 35—45 г/л NaF.

Во всех случаях непосредственного никелирования деталей из Al и его сплавов необходима последующая

термообработка при 220 °C в течение 0,5—1,5 ч.

Можно применять указанный процесс непосредственного никелирования для защитного лаемого покрытия деталей, работающих в легких и средних условиях эксплуатации. Непосредственное твердое хромирование алюминиевых цилиндров проводят после обезжиривания в щелочном растворе, промывки и травления в течение 1—2 мин в смеси HF с HNO<sub>3</sub> с молярным отношением 1:5 при температуре 12—14 °C, которую поддерживают при помощи водяного охлаждения. Предварительно нагретые детали после тщательной промывки загружают в стандартный электролит для хромирования при 60 ± 2 °C. Плотность тока изменяется в процессе электролиза следующим образом, А/дм<sup>2</sup>: 5 мин — 35—45; 5 мин — 45—65; остальное время — 65—80.

После нанесения Cr детали промывают и оставляют на 1—1,5 ч в чистой воде для удаления кислоты, оставшейся в порах покрытия.

Существует способ непосредственного осаждения Cr на алюминиевые сплавы АК4 и ВД17, которые перед хромированием подвергали обычной обработке в щелочи и осветлению в растворе HNO<sub>3</sub>. Осаждение Cr проводилось в стандартном хромовом электролите при 30 °C и плотности тока 50 А/дм<sup>2</sup> в ультразвуковом поле. Частота ультразвука 22 кГц, интенсивность 5—6 Вт/см<sup>2</sup>, что обеспечивало возникновение интенсивной кавитации в электролите. Ультразвуковые колебания возбуждались сразу же после загрузки деталей в электролит и продолжались 1—2 мин, в результате чего разрывалась окисная пленка. Ее повторное образование на поверхности Al исключалось вследствие продолжительного ультразвукового воздействия; вследствие прекращалось после включения тока через 1—2 мин. По этому способу осаждалась хромовые покрытия толщиной 30—40 мкм, обладающие высокой прочностью сцепления с основой.

Электроосаждение Cr в ультразвуковом поле позволяет значительно увеличить применяемые при электролизе плотности тока, повысить твердость и износостойкость хромовых покрытий. При этом наибольший эф-

фект можно получить при осаждении покрытий из тетраоксидных электролитов.

Осаждение для защитно-декоративных целей и придания функциональных свойств. Для защиты Al от коррозии и предохранения от засаждения резьбы применяют цинкование и гальмирование. При нанесении Zn толщиной до 20—30 мкм цинкование проводят в цинкистых электролитах после обработки в растворе, содержащем HCl в HF, более толстые слои осаждаются в кислых электролитах по цинковому подслою, наносимому погружением в цинкитные растворы. Каждый необходимый толщины напыляют на пленку Zn или Cd, осажденных контактным методом.

В качестве защитно-декоративных покрытий на деталях из Al и его сплавов применяют многослойные покрытия Cu—Ni—Cr, Ni—Cu—Ni—Cr, а также Ni—Cr. Суммарная толщина слоев покрытий 50 мкм обеспечивает защиту от коррозии в жестких условиях эксплуатации; для легких условий эксплуатации можно ограничиться толщиной Ni 10 мкм с последующим хромированием.

Для пайки Al и его сплавов рекомендуются никелевые подслои, полученные с применением последующей термообработки, а также медные покрытия, осажденные на окисную пленку из пирофосфатных электролитов. По медному и никелевому подслою могут быть нанесены соответствующим образом также другие покрытия, рекомендуемые для улучшения начальной.

Для повышения износостойкости деталей из Al их хромируют после предварительного травления в смеси HNO<sub>3</sub> и HF, а также по слою контактно-осажденного Zn.

Серебрение Al осуществляют обычно для снижения переходного сопротивления контактных деталей. Серебро осаждают непосредственно на Al и его сплавы, а также на подслои Cu или Ni.

При непосредственном нанесении Ag на Al сначала проводят предварительное серебрение последовательно в двух электролитах с большой концентрацией KCN и незначительным содержанием Ag. Предварительное серебре-

ние лучше проводить после цинкитной обработки.

Электролиты для предварительного серебрения имеют следующий состав (г/л):

1. AgCN	1—1,2
NaCN	90—95
2. AgCN	5,3—5,5
NaCN	67,5—70

Режим осаждения: температура обоих электролитов 18—25°C;  $i_k = 1,5 \pm 2,5$  А/дм<sup>2</sup>;  $t = 10$  с.

После предварительного покрытия на детали наносят слой Ag нужной толщины в обычных электролитах. Однако непосредственно осаж, еще Ag на Al применяют очень редко, так как практика показывает, что качество таких покрытий со временем ухудшается; усиливается прочность сцепления покрытий с основным металлом (Al) и возможно их отслаивание.

Для серебрения деталей из Al и его сплавов хорошие результаты получаются при применении технологии никелирования с последующей термообработкой или анодного окисления с последующим никелированием или меднением в пирофосфатных электролитах (см. с. 96). Оптимальные результаты во всех случаях могут быть получены при осаждении Ag из бесцианистых электролитов, например, из трилонатных и сульфатных электролитов серебрения.

Рекомендуемая толщина серебряных или комбинированных Cu—Ag, Ni—Ag покрытий составляет для тяжелых условий эксплуатации 30 мкм, для средних условий 25 мкм, для легких условий 12 мкм. Минимальная толщина серебряных покрытий на отдельных участках детали должна составлять не менее 50 % средней толщины. При нанесении комбинированного покрытия из Cu или Ni и Ag толщина подслоя может составлять 2/3 общей толщины покрытия на Al. При необходимости Au и Rh наносят на подслои Cu, Ni и реже на слой Ag.

## ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ МАГНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Для защиты магниевых сплавов от коррозии широко применяется оксидирование. Гальванические покрытия на Mg и его сплавы наносят не только для защитных и защитно-декоратив-

ных целей, но и для повышения износостойкости, облегчения процесса пайки, уменьшения переходного электросопротивления и др. При нанесении гальванических покрытий на Mg и его сплавы приходится преодолевать трудности, подобные встречающимся при покрытии Al (наличие на поверхности Mg легко образующейся окисной пленки, резко отрицательный электродный потенциал Mg). Существует несколько методов подготовки Mg к нанесению гальванических покрытий. Но практическое применение имеют только метод покрытия Zn путем погружения.

Химические свойства Mg отличны от свойств Al, и поэтому для осаждения Zn путем погружения для него не пригодны цинкитные растворы.

Подготовка деталей к осаждению покрытий. Подготовка подразделяется на обычную и специальную. Обычная подготовка деталей включает обезжиривание в органическом растворителе, обезжиривание химическое и электрохимическое, травление и активацию.

Своеобразие подготовки Mg и его сплавов к нанесению гальванических покрытий состоит в необходимости более тщательного удаления с его поверхности окисной пленки.

Специальная подготовка включает операцию осаждения Zn путем погружения.

Обезжиривание в органическом растворителе деталей из Mg и его сплавов проводится так же, как и деталей из цинковых сплавов. Химическое обезжиривание проводят в растворе следующего состава (г/л):

Na <sub>2</sub> PO <sub>3</sub> · 12H <sub>2</sub> O	40—60
NaOH	10—15
стекло натриево-жидкое	20—30

Режим обезжиривания:  $t = 70—90$ °C;  $t_k = 5 \pm 15$  мин.

Электрохимическое обезжиривание деталей после механической обработки и обработки в органических растворителях проводят на катоде в растворе следующего состава (г/л):

NaOH	16—18
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	25—28

Режим обезжиривания:  $t = 18 \pm 25$ °C;  $i_k = 2 \pm 4$  А/дм<sup>2</sup>;  $t = 3 \pm 10$  мин.

Травление литейных и деформированных сплавов проводят в различных

по составу травильных растворов. Для литейных сплавов рекомендуются один из следующих растворов (г/л):

1. CrO <sub>3</sub>	275—285
HNO <sub>3</sub>	20—30
HF	8—10
2. H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	85 %

Режим травления:  $t = 18 \pm 25$ °C;  $t = 0,25 \pm 3$  мин.

Для деформируемых магниевых сплавов применяют раствор следующего состава (г/л):

CrO <sub>3</sub>	175—185
NaNO <sub>2</sub>	28—32

Режим травления:  $t = 18 \pm 25$ °C;  $t = 0,5 \pm 3$  мин.

Этот раствор также применяют для удаления пригоревших графитовых смазок с горячекованных деталей из листового Mg, для очистки деталей из деформированного Mg перед сваркой и последующего удаления окисной. Для травления деталей, не допускающих даже незначительного искажения поверхностного профиля, используют раствор, содержащий 180 г/л CrO<sub>3</sub>. Продолжительность обработки при обычной температуре 2—10 мин.

Активацию поверхности Mg перед нанесением Zn проводят в растворе следующего состава (г/л):

H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	199—195
KHF <sub>2</sub>	95—105

Режим активации:  $t = 18 \pm 25$ °C;  $t = 0,5 \pm 20$  мин.

Для контактного цинкования применяют раствор следующего состава (г/л):

ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	40—50
Na <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> · 10H <sub>2</sub> O	200—220
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1—6
KF	1—8

Режим осаждения:  $t = 10 \pm 15$ °C; при 10,2—11,1 г/л  $t = 2 \pm 7$  мин; для травления деталей, содержащих 1,5 % Mn,  $t = 0,4$  мин.

Гальваническое осаждение на фритый. После осаждения слоя Zn на детали из Mg и тщательной промывки проводят предварительное меднение.

Медный подслои наносят толщиной 5—6 мкм, на который можно осаждают другие металлы.

Лучшие результаты при осаждении предварительного слоя Cu можно получить, применяя реверсивный ток. При этом первые 0,5—1 мин электролиз ведут постоянным током, а затем

реверсивном токе при катодах периодом 15 с, и анодом, равном 5 с.

При осаждении осадков Си применимы различные медные цианистые электролиты для осаждения как матовых, так и блестящих покрытий. Для осаждения толстых осадков Си рекомендуются пирофосфатные электролиты, в которые добавляется 30 г/л KF для улучшения сцепления с основой.

При последующем никелировании применяют обычные никелевые электролиты для осаждения как матового, так и блестящего покрытия.

Предварительно осажденный слой Си должен быть не менее 7—8 мкм, чтобы исключить разбеднение Mg через поры медного покрытия. При никелировании профилированных деталей следует осаждать слой Ni такой толщины, чтобы на участках с минимальной толщиной слоя никелевое покрытие было бы не тоньше слоя, указанного для Си.

Цинковые, кадмиевые, латунные покрытия на Mg можно наносить непосредственно на слой Си, полученный в ванне предварительного меднения. При серебрении необходимо предварительно осаждать слой Си в сернокислом или пирофосфатном электролите до соответствующей толщины. Хромовые покрытия большой толщины (100—150 мкм), отличающиеся прочным сцеплением, можно осаждать на медный подслоя из щавелевой ванны толщиной 1—3 мкм. Режим хромирования устанавливается в соответствии с назначением деталей и условиями их эксплуатации. При необходимости осаждают кислосостойкие и защитные (молочные) покрытия для одновременной защиты от коррозии и механического изнашивания, а также комбинированные защитно-декоративные покрытия — молочные и блестящие. При этом режимы хромирования такие же, как и при покрытии деталей из других металлов. При повышенной температуре Си в хромовых электролитах интенсивно растворяется, поэтому перед осаждением молочного Cr наносят слой Cr толщиной 1,5—2 мкм (при  $t = 40^\circ\text{C}$  и  $i_c = 10 \text{ A/дм}^2$ ), после чего детали хромируют в ванне при температуре  $70^\circ\text{C}$ .

Для декоративного трехслойного покрытия (Cu—Ni—Cr) в зависимости

от условий эксплуатации деталей рекомендуются следующие минимальные толщины покрытий (мкм): внутри помещений 18—25; легкие атмосферные условия 30; средние атмосферные условия 35; жесткие атмосферные условия 50.

### ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ

Легкий, высокопрочный Ti и его сплавы отличаются высокой коррозионной устойчивостью. Нанесение на их поверхность других металлов осуществляется главным образом в функциональных целях. К отрицательным свойствам Ti относятся высокий коэффициент трения, высокая теплопроводность и электропроводность, высокая паяемость, интенсивное взаимодействие при высокой температуре с кислородом, азотом, углеродом, гадолами и серой.

Хромирование Ti и его сплавов повышает их износ- и термостойкость. Для увеличения электропроводности и обеспечения возможности пайки на Ti осаждают Cu или Ni, а затем в случае необходимости наносят другие покрытия.

Электроосаждение металлов на Ti и его сплавы сопряжено со значительными трудностями, так как его поверхность покрыта трудно удаляемой окисной пленкой, которая чрезвычайно легко восстанавливается в воздухе, в воде и различных растворах. В процессе электролитического осаждения металла в Ti легко диффундирует водород. Скапливаясь на границе титан — покрытие, он может вызвать отслаивание последнего. Профилирование в Ti водород значительно ухудшает его механические свойства.

Подготовка деталей к осаждению покрытий. Подготовка подразделяется на обычную и специальную. Обычная подготовка состоит из обезжиривания в органическом растворителе, гидропескоструйной обработки или обработки корундовым порошком и обезжиривания. Специальная обработка включает операции активации и нанесения пленки или подслоя металла на поверхность детали, на которую осаждают гальваническое покрытие. Гидропескоструйную обработку проводят кварцевым песком или корундовым порошком при давлении воздуха

0,3—0,5 МПа. Зернистость кварцевого песка или корундового порошка не более 0,3 мм. Вместо гидропескоструйной обработки проводят обработку корундовым порошком той же granulации. Время обработки детали определяется из расчета обработки поверхности площадью  $1 \text{ дм}^2$  в течение 1—2 мин при массовом расходе порошка 3—5 кг/мин.

Активацию деталей из титановых сплавов BT22, BT6, OT4 и других проводят в растворе следующего состава (об. доля, %):

NF (40 %-ная)	15
$\text{HNO}_3$ (плотность 1,35 г/см <sup>3</sup> )	60
вода	25

Режим активации:  $t = 18 + 25^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 1,5 + 2,0$  мин в зависимости от размеров и конфигурации деталей.

Активацию деталей из титановых сплавов BT3-1 проводят в растворе следующего состава (об. доля, %):

NF (40 %-ная)	25
$\text{HNO}_3$ (плотность 1,35 г/см <sup>3</sup> )	40
вода	35

Режим активации:  $t = 18 + 25^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 1,0 + 1,5$  мин в зависимости от размеров и конфигурации деталей.

Поверхность деталей после активации должна быть равномерно протравлена, иметь светло-серый однотонный цвет.

Нанесение на поверхность деталей после активации гидридной пленки проводят в одном из растворов следующего состава (мл):

1. $\text{H}_2\text{SO}_4$ (плотность 1,84 г/см <sup>3</sup> )	650
$\text{HCl}$ (плотность 1,19 г/см <sup>3</sup> )	350
2. $\text{H}_2\text{SO}_4$ (плотность 1,84 г/см <sup>3</sup> )	250
$\text{HCl}$ (плотность 1,19 г/см <sup>3</sup> )	750

Режим обработки:  $t = 18 + 25^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 60 + 90$  мин. Раствор № 1 применяют для гидридной обработки сплавов BT3-1, BT22, BT9 и др., а раствор № 2 — для гидридной обработки сплавов OT4, OT4-1, BT3-1, BT5-1 и др.

Нанесение на поверхность деталей после активации хроматной пленки проводят в растворе следующего состава (г/л):

$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	250
NF (40 %-ная)	50 мл/л
стекло химическое жидкое	5

Режим обработки:  $t = 18 + 90^\circ\text{C}$  в зависимости от марки сплава; продолжительность 3—5 мин в зависимости от марки сплава.

Осаждение на поверхность деталей после активации подслоя Zn осуществляют в растворе следующего состава (мл):

$\text{ZnCl}_2$	44—47
NF (40 %-ная)	32—35
этиленгликоль	295—305
вода	44—47

Режим обработки:  $t = 18 + 25^\circ\text{C}$ ; продолжительность 1,0—1,5 мин (до полного покрытия Ti пленкой).

Осаждение на поверхность деталей после активации подслоя Ni осуществляют в растворе следующего состава (г/л):

$\text{NiCl}_2$	20—30
KF	2,5—10
гликокол (аминокислотная соль)	25—35

Режим обработки:  $t = 18 + 25^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 5$  мин; pH 2,8—3,2 (доводится  $\text{H}_2\text{SO}_4$  или HCl).

### Гальваническое осаждение покрытий.

Электролитическое осаждение Си на детали из титановых сплавов проводится в цианистом, пирофосфатном или кислом электролитах после нанесения гидридной пленки и промывки в проточной холодной воде. Детали помещают на подвесках в электролиты под током при плотности его в 1,5—2 раза выше номинальной. Через 1—2 мин устанавливается номинальная плотность тока.

Электролитическое осаждение Ag на детали из титановых сплавов проводится после нанесения гидридной пленки и промывки в проточной холодной воде в электролитах предварительного и окислительного серебрения.

Серебрение деталей из титановых сплавов, например, таких как BT3-1, BT9, работающих при  $t > 300^\circ\text{C}$ , проводят после нанесения гидридной пленки или подслоя Ni и промывки в холодной проточной воде по следующей схеме: химическое или гальваническое никелирование, промывка в холодной проточной воде, меднение, промывка в холодной проточной воде, серебрение в электролитах предварительного и окислительного серебрения.

Химическое никелирование осуществляется после нанесения гидридной пленки или подслоя Ni и промывки в холодной проточной воде в обычных электролитах химического никелирования. Электролитическое никелирование деталей из титановых сплавов проводят после нанесения подслоя Ni

и промывки в холодной проточной воде в обычных электролитах никелирования. Детали зачищают в электролите при катодной плотности тока в 1,5—2 раза выше номинальной. Через 1—2 мин устанавливают номинальную плотность тока.

Для повышения прочности сцепления покрытия с основой после нанесения покрытий проводят термическую обработку при 350—400 °С в течение 1—3 ч. Термообработку рекомендуют проводить в вакууме при остаточном давлении 0,133 Па или в электропечи.

Хромирование деталей из титановых сплавов проводят по гидридной пленке, хроматной пленке или подслою металла (Zn и др.). Процесс хромирования титановых сплавов по гидридной пленке осуществляется по следующей схеме: молочное хромирование, термодиффузионный вакуумный отжиг, гидродескоструйная обработка, активирование молочного хрома, осаждение износостойкого хрома.

Молочное хромирование титановых сплавов проводят в стандартном электролите при 70—80 °С,  $i_K = 30 \div 40$  А/дм<sup>2</sup>, в течение 1 ч. После прогрева деталей в электролите на 3—4 мин устанавливают  $i_K = 100 \div 150$  А/дм<sup>2</sup> для наружных поверхностей или  $i_K = 150 \div 300$  А/дм<sup>2</sup> для внутренних поверхностей, после чего плотность тока постепенно снижают до 30—40 А/дм<sup>2</sup>.

Термодиффузионный вакуумный отжиг проводят для улучшения прочности сцепления Cr с основой при 800 ± 50 °С в вакууме (остаточное давление не выше 0,133 Па) в течение 1 ч. Активацию молочного хрома осуществляют после гидродескоструйной обработки или обработки корундовым порошком на аноде в электролите хромирования при 35 °С,  $i_a = 30$  А/дм<sup>2</sup> в течение 30—60 с. Износостойкое хромирование проводится в стандартном ( $t = 55 \div 60$  °С,  $i_K = 60$  А/дм<sup>2</sup>) или в саморегулирующемся ( $t = 55 \div 60$  °С,  $i_K = 60 \div 90$  А/дм<sup>2</sup>) электролите. В начальный момент устанавливаю  $i_K = 10$  А/дм<sup>2</sup> и затем в течение 5—10 мин повышают плотность тока до номинальной.

Хромирование титановых сплавов по указанной схеме имеет ряд существенных недостатков: ограничена номенклатура деталей, для которых воз-

можно применение этого способа (газостойкие детали при проведении термодиффузионного вакуумного отжига деформируются); возможно соприкосновение деталей из высокопрочных титановых сплавов; трудоемка и энергоемка технология обработки по этой схеме, недостаточна прочность сцепления хрома с основой.

Рекомендуется наносить слой Cr после анодной обработки в растворе, содержащем ZnF<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O и этиленгликоль при  $i_K = 5$  А/дм<sup>2</sup>, напряжении 18 В и  $t = 18 \div 25$  °С. При указанной обработке на Ti образуется пористый окисный слой, служащий хорошим подслоем для нанесения гальванических покрытий и в первую очередь Cr.

Хром можно также наносить в обычных электролитах по слою Zn, осажденного в результате погружения в раствор с этиленгликолем ранее приведенного состава. При этом осаждение следует вести по схеме: 1) хромирование в стандартном электролите при 18—20 °С,  $i_K = 10$  А/дм<sup>2</sup> и продолжительности 1—2 мин; 2) хромирование в том же электролите при 50—55 °С и  $i_K = 30 \div 55$  А/дм<sup>2</sup>.

На осажденный слой Cr можно наносить другие металлы по технологической схеме: травление в концентрированной или разбавленной HCl (1:1) до потемнения поверхности и никелирование в электролите следующего состава (г/л):

NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	250—300
NiCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	40—50
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>	30—55

Режим осаждения:  $t = 50 \div 60$  °С;  $i_K = 3 \div 5$  А/дм<sup>2</sup>; pH 5—5,2.

Известен способ хромирования, обеспечивающий хорошую прочность сцепления Cr с основой. Обработка проводится в двух электролитах. Состав первого электролита следующий (г/л):

CrO <sub>3</sub>	250—350
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3—15
NH <sub>4</sub> F	5—15
H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	5—15

Режим осаждения:  $t = 18 \div 25$  °С; выдержка без тока 1 мин;  $i_K = 20 \div 45$  А/дм<sup>2</sup>;  $t = 15 \div 20$  мин; аноды из сплава Ti—Ru.

После промывки в холодной воде детали зачищают в стандартный электролит хромирования и осаждают Cr при необходимом режиме.

Можно хромировать титановые сплавы VT1-1 и VT22 при наличии ультразвука. Ультразвуковая обработка при определенной интенсивности и частоте разрушает гидридную пленку на Ti и его сплавов незначительно в электролите хромирования и предохраняет их от окисления в электролите. Хромирование проводится по схеме: обработка в электролите хромирования в течение 2 мин без тока при интенсивности ультразвука 4—5 Вт/см<sup>2</sup> при частоте 20—44 кГц; электроосаждение Cr при  $i_K = 200 \div 220$  А/дм<sup>2</sup>,  $t = 60$  °С и интенсивности ультразвука 4—5 Вт/см<sup>2</sup> в течение 3—5 мин (при  $i_K < 200$  А/дм<sup>2</sup> Cr не осаждается); электроосаждение Cr до заданной толщины при  $i_K = 120 \div 100$  А/дм<sup>2</sup> и интенсивности ультразвука 2—3 Вт/см<sup>2</sup>.

## ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

На детали из меди и ее сплавов гальванические покрытия наносят для обеспечения пайки обычными методами (Ag, Sn, Ni), уменьшения переходного сопротивления электроконтактов (Ag, Au), сохранения постоянства электрических параметров (Pd, Rh), устранения контактной коррозии (Zn, Cd), повышения износостойкости (Cr, химический Ni), защиты от коррозии (Cr, Ni, черный Cr, химический Ni) и т. д.

Подготовка деталей к осаждению покрытий. Подготовка включает следующие операции: обезжиривание в органическом растворителе, обезжиривание химическое или электрохимическое, травление и активацию.

Обезжиривание в органическом растворителе деталей из Cu и ее сплавов проводится так же, как и деталей из цинковых сплавов.

Химическое и электрохимическое обезжиривание осуществляют в фосфатно-щелочных растворах с пониженной концентрацией Na<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·12H<sub>2</sub>O и NaOH или в растворе следующего состава (г/л):

Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	20—30
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	30—35
NaCN	15—25

Режим обезжиривания:  $t = 30 \div 40$  °С;  $i_K = 1 \div 1,5$  А/дм<sup>2</sup>;  $t \leq 10$  мин. Химическое обезжиривание проводят при  $t = 30 \div 40$  °С.

Травление деталей проводят при необходимости в растворе следующего состава (мл):

HNO <sub>3</sub> (плотность 1,4 г/см <sup>3</sup> )	500
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (плотность 1,84 г/см <sup>3</sup> )	500
HCl (плотность 1,19 г/см <sup>3</sup> )	2
или NaCl	5—10 г

Режим травления:  $t = 18 \div 25$  °С;  $t \leq 1$  мин.

Активацию деталей, на которые осаждают покрытия в кислых электролитах, проводят в растворе следующего состава (г/л):

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	50—100
или HCl	50—100

Режим активации:  $t = 18 \div 25$  °С,  $t = 1 \div 2$  мин.

Активацию деталей, на которые осаждают покрытия в цианистых электролитах, проводят в растворе следующего состава (г/л)

NaCN	50—100
------	--------

Режим активации:  $t = 18 \div 25$  °С;  $t = 10$  с.

Гальваническое осаждение покрытий. Осаждение гальванических покрытий на детали из меди и ее сплавов проводится, как правило, по подслою (Cu, Ni, Ag). Осаждение Ni, Sn проводится по предварительно омедненной поверхности. Подслой наносят из цианистого медного электролита толщиной 3—6 мкм. Для бронз предварительное меднение в цианистом электролите обязательно. Защитно-декоративное и защитное хромирование осуществляется по подслою Ni, а износостойкое хромирование — без подслоя. Цинкование и кадмирование деталей из Cu и ее сплавов проводится также без подслоя.

Золочение металлов осуществляется по подслою Ag или Ni, а родирование, палладирование и серебрение проводится по подслою Ag. Осаждение гальванических покрытий на детали из Cu и ее сплавов проводится в электролитах и при режимах, указанных в гл. 12.

и промывают в холодной проточной воде в обычных электролитах никелирования. Детали заворачивают в электролит при максимальной плотности тока в 1,5—2 раза выше номинальной. Через 1—2 мин устанавливают номинальную плотность тока.

Для повышения прочности сцепления покрытия с основой после нанесения покрытий проводят термическую обработку при 350—400 °С в течение 1—3 ч. Термообработку рекомендуют проводить в вакууме при остаточном давлении 0,133 Па или в электролите.

Хромирование деталей из титановых сплавов проводят по гидридной пленке, хроматной пленке или подслою металла (Zn и др.). Процесс хромирования титановых сплавов по гидридной пленке осуществляется по следующей схеме: молочное хромирование, термодиффузионный вакуумный отжиг, гидродескоструйная обработка, активирование молочного хрома, осаждение износостойкого хрома.

Молочное хромирование титановых сплавов проводят в стандартном электролите при 70—80 °С,  $i_k = 30 \div 40$  А/дм<sup>2</sup>, в течение 1 ч. После прогрева деталей в электролите на 3—4 мин устанавливают  $i_n = 100 \div 150$  А/дм<sup>2</sup> для наружных поверхностей или  $i_k = 150 \div 300$  А/дм<sup>2</sup> для внутренних поверхностей, после чего плотность тока постепенно снижают до 30—40 А/дм<sup>2</sup>.

Термодиффузионный вакуумный отжиг проводят для улучшения прочности сцепления Cr с основой при 800 ± 50 °С в вакууме (остаточное давление не выше 0,133 Па) в течение 1 ч. Активацию молочного хрома осуществляют после гидродескоструйной обработки или обработки корундовым порошком на аноде в электролите хромирования при 55 °С,  $i_n = 30$  А/дм<sup>2</sup> в течение 30—60 с. Износостойкое хромирование проводится в стандартном ( $t = 55 \div 60$  °С,  $i_k = 60$  А/дм<sup>2</sup>) или в саморегулирующемся ( $t = 55 \div 60$  °С,  $i_k = 60 \div 90$  А/дм<sup>2</sup>) электролите. В начальный момент устанавливают  $i_n = 10$  А/дм<sup>2</sup> и затем в течение 5—10 мин повышают плотность тока до номинальной.

Хромирование титановых сплавов по указанной схеме имеет ряд существенных недостатков: ограничена номенклатура деталей, для которых воз-

можно применение этого способа (износостойкие детали при проведении термодиффузионного вакуумного отжига деформируются); возможно сокращение устойчивости деталей на высокопробных титановых сплавах; трудоемкая и энергоемкая технология обработки по этой схеме, недостаточная обработка сцепления хрома с основой.

Рекомендуется наносить слой Cr после анодной обработки в растворе, содержащем  $ZnF_2 \cdot 4H_2O$  и этиленгликоль при  $i_k = 5$  А/дм<sup>2</sup>, напряжении 18 В и  $t = 18 \div 25$  °С. При указанной обработке на Ti образуется пористый окисный слой, служащий хорошим подслоем для нанесения гальванических покрытий и в первую очередь Cr.

Хром можно также наносить в обычных электролитах по слою Zn, осажденного в результате погружения в раствор с этиленгликолем ранее приведенного состава. При этом осаждение следует вести по схеме: 1) хромирование в стандартном электролите при 18—20 °С,  $i_k = 10$  А/дм<sup>2</sup> и продолжительности 1—2 мин; 2) хромирование в том же электролите при 50—55 °С и  $i_k = 30 \div 55$  А/дм<sup>2</sup>.

На осажденный слой Cr можно наносить другие металлы по технологической схеме: травление в концентрированной или разбавленной HCl (1:1) до потемнения поверхности и никелирование в электролите следующего состава (г/л):

NiSO <sub>4</sub> · 6H <sub>2</sub> O	250—300
NiCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	40—50
Ni <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	30—35

Режим осаждения:  $t = 30 \div 60$  °С,  $i_k = 3 \div 5$  А/дм<sup>2</sup>; pH 5—5,9.

Известен способ хромирования, обеспечивающий хорошую прочность сцепления Cr с основой. Обработка проводится в двух электролитах. Состав первого электролита следующий (г/л):

CrO <sub>3</sub>	250—350
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3—15
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	5—15
H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	5—15

Режим осаждения:  $t = 18 \div 25$  °С; выдержка без тока 1 мин,  $i_k = 26 \div 15$  А/дм<sup>2</sup>;  $t = 15 \div 20$  мин; аноды из сплава Ti—Ru.

После хромирования в холодной воде детали заворачивают в стандартный электролит хромирования и осаждают Cr при необходимом режиме.

Можно хромировать титановые сплавы ВТ1-1 и ВТ2 при нагревании ультразвуку. Ультразвуковая обработка при определенной плотности и частоте разрушает гидридную пленку на Ti и его сплавах непосредственно в электролите хромирования и предохраняет их от окисления в электролите. Хромирование проводится по схеме: обработка в электролите хромирования в течение 2 мин без тока при интенсивности ультразвука 4—5 Вт/см<sup>2</sup> при частоте 20—44 кГц; электроосаждение Cr при  $i_k = 200 \div 220$  А/дм<sup>2</sup>,  $t = 60$  °С и интенсивности ультразвука 4—5 Вт/см<sup>2</sup> в течение 3—5 мин (при  $i_k < 200$  А/дм<sup>2</sup> Cr не осаждается); электроосаждение Cr до заданной толщины при  $i_k = 120 \div 100$  А/дм<sup>2</sup> и интенсивности ультразвука 2—3 Вт/см<sup>2</sup>.

## ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

На детали из меди и ее сплавов гальванические покрытия наносят для обеспечения пайки обычными методами (Ag, Sn, Ni), уменьшения переходного сопротивления электроконтактов (Ag, Au), сохранения постоянства электрических параметров (Pd, Rh), устранения контактной коррозии (Zn, Cd), повышения износостойкости (Cr, химический Ni), защиты от коррозии (Cr, Ni, черный Cr, химический Ni) и т. д.

Подготовка деталей к осаждению покрытий. Подготовка включает следующие операции: обезжиривание в органическом растворителе, обезжиривание химическое или электрохимическое, травление и активацию.

Обезжиривание в органическом растворителе деталей из Cu и ее сплавов проводится так же, как и деталей из цинковых сплавов.

Химическое и электрохимическое обезжиривание осуществляют в фосфатно-щелочных растворах с пониженной концентрацией  $Na_2PO_4 \cdot 12H_2O$  и NaOH или в растворе следующего состава (г/л):

Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · 12H <sub>2</sub> O	30—30
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	30—30
NaCN	18—25

Режим обезжиривания:  $t = 30 \div 40$  °С;  $i_k = 1 \div 3$  А/дм<sup>2</sup>;  $t < 10$  мин. Химическое обезжиривание проводят при  $t = 30 \div 40$  °С.

Травление деталей проводят при необходимости в растворе следующего состава (г/л):

HNO <sub>3</sub> (плотность 1,4 г/см <sup>3</sup> )	500
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (плотность 1,8 г/см <sup>3</sup> )	500
HCl (плотность 1,19 г/см <sup>3</sup> )	2
или H <sub>2</sub> O	5—10 г

Режим травления:  $t = 18 \div 25$  °С;  $t \leq 1$  мин.

Активацию деталей, на которые осаждают покрытия в крепких электролитах, проводят в растворе следующего состава (г/л):

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	50—100
или HCl	50—100

Режим активации:  $t = 18 \div 25$  °С,  $t = 1 \div 2$  мин.

Активацию деталей, на которые осаждают покрытия в диантных электролитах, проводят в растворе следующего состава (г/л)

NaCN	50—100
------	--------

Режим активации:  $t = 18 \div 25$  °С;  $t = 10$  с.

Гальваническое осаждение покрытий. Осаждение гальванических покрытий на детали из меди и ее сплавов проводится, как правило, по подслою (Cu, Ni, Ag). Осаждение Ni, Sn проводится по предварительно омыленной поверхности. Подслой наносят из цианистого медного электролита толщиной 3—6 мкм. Для бронз предварительное меднение в диантном электролите обязательно. Защитно-декоративное и защитное хромирование осуществляется по подслою Ni, а износостойкое хромирование — без подслоя. Цинкование и кадмирование деталей из Cu и ее сплавов проводится также без подслоя.

Золочение металлов осуществляется по подслою Ag или Ni, а родирование, палладирование и серебрение проводится по подслою Ag. Осаждение гальванических покрытий на детали из Cu и ее сплавов проводится в электролитах и при режимах, указанных в табл. 12.



## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Нанесение металлических покрытий на пластмассы и другие диэлектрики \* позволяет получать специфические композиционные материалы с ценным сочетанием свойств металла и диэлектрика в одной детали. Этим сочетанием не обладает ни один из исходных материалов, взятый отдельно. Применение пластмасс и других диэлектриков с металлическими покрытиями позволяет заменять цветные металлы, резко снижать массу и себестоимость конструкций, соединять детали пайкой, значительно расширить ассортимент декоративной отделки поверхности, предохранять пластмассы от старения и механических повреждений, придавать им негорючесть, а также стабильность формы и размеров при тепловых нагрузках. При этом ассортимент гальванических покрытий как по видам, так и по толщинам практически не ограничен.

Однако детали с металлическими покрытиями значительно сложнее изготавливать, их механическая прочность, тепло- и морозостойкость ниже, чем у металлов, кроме того, имеется опасность отслаивания покрытия от основы.

В зависимости от способа получения различают химические, гальванические, конденсационные, металлизационные и другие металлопокрытия диэлектриков, а также сочетания некоторых из них (например, химических и гальванических, лакокрасочных и гальванических и др.).

По назначению гальванические металлопокрытия, получаемые на диэлектриках, делят на защитно-декоративные и специальные. Первые предназначены для придания поверхности декоративных свойств с одновремен-

ной защитой ее от воздействий окружающей среды, вторые — для решения разнообразных технических задач, определяемых в основном природой металлов и структурой покрытия: обеспечения электропроводности, теплопроводности, магнитных и оптических свойств, экранирования от электромагнитных воздействий и излучения, увеличения химической стойкости и других.

Наименьшей допустимой прочностью сцепления защитно-декоративного покрытия с пластмассовой основой считается 0,35—0,5 кН/м. Для деталей разнообразной фурнитуры и приборов бытового назначения наиболее приемлемой является прочность сцепления 0,5—0,7 кН/м, определяемая силой на отслаивание. Для большинства деталей средних размеров, эксплуатируемых в условиях открытого воздуха со значительным перепадом температуры, достаточной является прочность сцепления 0,7—1,2 кН/м на отслаивание или 14—24 МПа на отрыв. В отдельных случаях, например, для крупных деталей, величину сцепления увеличивают до 1,4—2 кН/м и более.

Для покрытий специального назначения величина прочности сцепления в большинстве случаев должна быть не менее 0,25—0,3 кН/м на отслаивание или 6 МПа на отрыв.

Теплостойкость большинства пластмасс с газаванопокрытиями по сравнению с пластмассами без покрытия увеличивается в среднем на 15—20%. Рабочий интервал температуры пластификов АБС с металлическим покрытием составляет —50÷+120 °С.

Для улучшения стойкости к перепаду температуры подбирают материалы диэлектрика и покрытия таким образом, чтобы коэффициенты линейного теплового расширения их были как можно ближе друг к другу, иносят подложки меди, компенсирующий напряжения

диэлектрика, используют детали с минимальными внутренними напряжениями и увеличивают прочность сцепления покрытия с основой.

После нанесения металлопокрытий механическая прочность пластмасс, как правило, увеличивается (табл. 1). Увеличивается ударная вязкость (от 1,5 до 10 раз), а также их жесткость, и вследствие этого они становятся

более хрупкими, снижается удлинение при разрыве (иногда в 2 раза и более), стойкость к циклическим нагрузкам и в некоторых случаях прочность при изгибе.

Наиболее употребительные в технике гальванические покрытия на диэлектриках, их условные обозначения в технической документации представлены в табл. 2.

1. Механическая прочность пластмасс с металлопокрытиями и без него

Пластмасса	Вид покрытия	Разрушающее напряжение *, МПа		Модуль упругости *, МПа	
		при растяжении	при изгибе	при растяжении	при изгибе
АБС-сополимер сайколак ЕП 3310	М30.Н7.Х	50	81,5	4100	6100
		38	59	2130	2130
		168	—	—	7550
АБС-сополимер вивоудр ПМ/2Ц	М18.Н9.Х	68	—	—	2160
		—	144	—	11 800
Полисульфол	Н30.Н7.Х	—	105	—	2 750
		39	104	5000	—
Полипропилен общего назначения	Н30.Н7.Х	34	51	1250	—
		53	82	—	—
Фенопласт	М20	62	100	—	—
		37	89	—	—
Полистирол	М20	43	101	—	—
		39	45	—	—
Ацетат целлюлозы	М20	41	53	—	—

\* В числителе приведены данные при наличии металлопокрытия, в знаменателе — без него.

2. Гальванические покрытия диэлектриков

Покрытие	Условное обозначение	Назначение
Никелевое блестящее толщиной 6—12 мкм на подслое: химического никеля, меди матовой и блестящей, никеля блестящего	Хим.Н.М6.м.М6.б.Н6.б	Защитно-декоративная отделка
	Хим.М.М9.м.М6.б.Н6.б	
Никелевое блестящее толщиной 6—9 мкм на подслое химического никеля и никеля матового толщиной 3—6 мкм, получаемое насыпно	Хим.Н.Н3.м.Н6.б	То же для деталей, работающих преимущественно на открытом воздухе. То же для ответственных деталей, работающих в жестких условиях эксплуатации
Хромовое блестящее толщиной 0,3—0,5 мкм на подслое химического никеля, меди матовой, меди блестящей и никеля блестящего	Хим.Н.М6.м.М3.б.Н6.б.Х.б	
	Хим.Н.М3.м.М9.б.Н6.б.Х.б	
	Хим.Н.М6.м.М12.б.Н9.б.Х.б	
	Хим.Н.М6.м.М18.б.Н12.б.Х.б	

\* Часто этот процесс называют металлизацией.



Продолжение табл. 2

Покрытие	Условное обозначение	Назначение
Медные толщиной 6—24 мкм на подслое химической меди или никеля	Хим.М.М12; Хим.Н.М12	Создание электропроводящего слоя
Серебряные толщиной 9—18 мкм на подслое химической меди и меди толщиной 12—18 мкм	Хим.М.М12.Ср9	
Из сплава олово—свинец толщиной 9—18 мкм на подслое химической меди и меди толщиной 12—18 мкм	Хим.М.М12.О-С9	Обеспечение пайки
Из сплава олово—висмут толщиной 6—12 мкм на подслое химической меди и меди толщиной 12—18 мкм	Хим.М.М12.О-Вн6	

### ДИЭЛЕКТРИКИ, ПОДВЕРГАЕМЫЕ ПОКРЫТИЮ

Из пластмасс, на которые наносят гальванические покрытия, наибольшее практическое применение получили пластики АБС (доля их в общем потреблении — около 90 %). Они представляют собой тройной сополимер акрилонитрила, стирола и бутадиена. Причем первые два компонента образуют между собой сополимер и является каркасом пластмассы, в котором дисперсированы и равномерно распределены макромолекулы полибутадиена в виде глобул. Благодаря такому строению пластики АБС легко обрабатываются в растворах травления с получением довольно высокой прочности с пластиком — до 3 кН/м (вместо 1—1,5 кН/м). В то же время они обладают значительной механической прочностью и химической стойкостью, из них легко изготовить различными методами детали с исключительно высокого качества.

В СССР для нанесения защитно-декоративных покрытий выпускается пластик (сополимер стирола) марку АБС-2020. Остальные марки пластика АБС имеют значительно меньшую прочность сцепления с металлом, хотя и превосходят в этом отношении другие пластмассы.

Промышленное применение приобретает полипропилен. Он обладает высокими механическими и химическими показателями. По сравнению с пластиком АБС полипропилен

имеет более низкую водопоглощаемость и более высокую стойкость к атмосферным воздействиям и прочность сцепления с металлом (обычно 2,5—3,5 кН/м, а в некоторых случаях 8—10 кН/м), а также более низкую стоимость.

Полипропилен с металлопокрытиями применяют в автомобильной промышленности для деталей больших размеров, работающих на открытом воздухе, а также для изготовления деталей санитарно-гигиенического оборудования, контактирующей с горячими жидкими средами.

Из других пластмасс, практически используемых для нанесения покрытий, следует отметить полисульфон и полиарбонат. Они позволяют получать довольно высокую прочность сцепления, которая, например, для полисульфона может достигать значений 2,8—4 кН/м, а для поликарбоната 2,6 кН/м. Благодаря своим физико-механическим характеристикам, в частности повышенной термостойкости и ударной вязкости, их широко применяют для изготовления деталей различного назначения.

Гальванические покрытия наносят также на полифениленоксид. По сравнению с известными пластмассами он имеет самый низкий коэффициент линейного теплового расширения и высокую термостойкость и стойкость к перепаду температуры. Но он распространяется мало и применяется только в особых случаях.

Представляет интерес также полистирол. По своей структуре и свойствам

он очень близок к пластмассам типа АБС, но практического применения не получил из-за недостаточного сцепления получаемых покрытий с основой. Его можно применять для деталей, к которым не предъявляются высокие требования по термостойкости и механическим свойствам.

Для специальных целей используют и другие пластмассы: полиэтилен, полиамиды (в том числе нейлон), полиэфир, полиацетали, поливинилхлорид.

При изготовлении токопроводящих элементов на диэлектриках применяют термоактивные пластмассы (пресс-материал типа АГ-4, карболиты, фенолформальдегидные и эпоксидные стеклопластики), а также неорганические диэлектрики (керамику, фарфор, стекло, кварц, слюду, шпатель, ферриты). Большинство этих материалов характеризуется повышенными электроизоляционными свойствами, мало подвергаются деформации при воздействии повышенной температуры, отличаются повышенной хрупкостью.

Прочность сцепления металлического покрытия с основой зависит от природы диэлектрика, способов и режимов изготовления из него деталей, качества подготовки поверхности, и многих других факторов. В значительной степени она определяется толщиной получаемого покрытия и механической прочностью поверхностного слоя диэлектрика глубиной 1—2 мкм. Величина прочности сцепления у разных диэлектриков может колебаться от нескольких сотых до 14 кН/м при отслаивании покрытия.

По теории механического сцепления, объясняющей возникновение прочной связи между металлом и диэлектриком, на поверхности, подготовленной к нанесению покрытия, содержится большое количество микроуглублений (у эластиков АБС — до 60 млн. на 1 см<sup>2</sup>). В эти углубления проникает осаждаемый химическим способом металл и при застывании их образует механическое сцепление типа «ласточкина хвосты». Чем больше этих зацеплений, тем больше прочность сцепления между поверхностью диэлектрика и сформированным на нем металлическим покрытием. Эта теория хорошо объясняет образование прочной связи с пластмассами етерогенного строения, с поверхности

которых при травлении легко удаляется одна из фаз; у сополимеров АБС — глобулы полибутадиена, у полипропилена и некоторых других пластмасс — аморфная фаза или мономер. Однако она не объясняет увеличение прочности сцепления со временем, а также уменьшение ее вследствие протекания коррозионных процессов.

Химическая теория, впервые обобщенная Собестром и его коллегами, учитывает химическое взаимодействие между металлом покрытия и пластмассой за счет ван-дер-ваальсовых (электростатическое взаимодействие) и дипольных сил.

Принимая во внимание обе теории, следует считать, что шероховатость является необходимым, но недостаточным условием получения высокой прочности сцепления металлического покрытия с пластмассой. Необходимо учитывать также влияние на прочность сцепления следующих факторов: прочности самой пластмассы, так как разрушение обычно происходит в поверхностном слое ее; наличия на поверхности благоприятных функциональных групп; энергетического состояния поверхности, определяемого преимущественно релаксацией напряжений при химической и термообработке.

Прочность сцепления измеряют различными методами. Наиболее распространены методы отрыва, отслаивания полоски с постоянной скоростью и постоянной нагрузкой.

Для ориентировочного сравнения прочности сцепления, определенной методом отрыва ( $F_n$ , МПа) и методом отслаивания ( $F_s$ , кН/м) покрытий меди толщиной 25—40 мкм, предложено соотношение  $F_n \approx 20F_s$ .

### КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Конструкция деталей из пластмассы и других диэлектриков, предназначенных для нанесения гальванических покрытий, должна отвечать не только функциональным, но и технологическим требованиям. Наиболее благоприятными с точки зрения специфики метода нанесения покрытий считают конструкции с односторонней толщиной стенок без резко выступающих или углубленных элементов, узких и глубоких щелей, отверстий и впадин.

## 3. Требования к элементам формы деталей.

Предназначенных для нанесения гальванических покрытий

Элемент формы	Требование
Плоские поверхности, стенки	Площадь $\leq 0,1 \text{ м}^2$ , толщина $\geq 2,5 \text{ мм}$ и как можно более равномерная, отклонение максимальной толщины к минимальной $\leq 1$ , шероховатость 1—2 мм на 100 мм. Желательна мелкая рифленость
Торцы, кромки	Желательны округлые суртинги общей толщиной $\leq 1,5$ толщины стенки
Ребра, остекости	Нежелательны. Недопустима прямоугольная форма их. Отклонение толщины к толщине стенки детали равно 0,5—0,7, а отношение высоты к толщине стенки детали $\leq 2$
Радиусы закругления	Внутренние 3 мм, внешние 1,5 мм (0,4—0,8 толщины стенки, но $\geq 0,5 \text{ мм}$ )
Углы	Предельно тупые $> 90^\circ \text{ C}$ . Острые и прямые нежелательны. Закругления углов $> 0,5 \text{ мм}$
Отверстия, углубления	Круглого сечения, жел. тельно сквозные. Отношение диаметра к глубине $\geq 0,5$ . Радиус закругления дна $\geq 3 \text{ мм}$
Пазы	Отношение ширины к глубине $\geq 2$ . Нежелательна прямоугольная форма
Решетки	Отношение ширины отверстия к ширине перемычки $\geq 1$ , а ширины отверстия к толщине решетки $\geq 0,5$ . Ширина перемычки $\geq 1,5 \text{ мм}$ . Желательны уклоны $5^\circ$ и изгиб решетки радиусом в 5—10 раз больше ее ширины
Резьба	Метрическая диаметром $\geq 5 \text{ мм}$ . Отверстие на 50% длиннее нарезки
Технологический уклон	Для пластикатов АБС $\geq 1^\circ$ , для полипропилена, полиэтилена, полиамидов и акриловых смол $\geq 0,25^\circ$ , для полиамидов $\geq 0,125^\circ$
Надриси	Выпуклые, высотой 0,3—0,5 мм с уклоном $65^\circ$ . Шриффт закругленный
Металлическая арматура	Нежелательна. Рекомендуется вставка ее после нанесения покрытия

Нежелательны также большие гладкие поверхности, острые углы, ребра и кромки. Основные требования к конструктивным элементам формы деталей из пластмассы и других диэлектриков приведены в табл. 3.

В деталях, обработку которых производят на подвесках, следует предусмотреть места для контактов. Для этого можно использовать отверстия, пазы, щели, кромки или выступы на задней стороне детали. Иногда целесообразно в качестве контакта оставить литник, который удаляют после нанесения покрытия.

## ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТМАСС

Способ и режим переработки пластмассы в детали оказывают существенное влияние на качество получаемых покрытий и в первую очередь на прочность сцепления покрытия с основой.

Максимальную прочность сцепления достигают при изготовлении деталей прессованием и экструзией. Однако наибольшее практическое распространение получил способ литья под давлением, как более производительный.

Установлено, что прочность сцепления тем выше, чем выше температура расплава, меньше скорость вытекания и давление литья. Значительное влияние оказывает также и состав пластика.

Для пластика АБС-2020 рекомендуется следующий режим переработки:

температура расплава, $^\circ \text{C}$	240—270
давление впрыска, МПа	120—140
продолжительность впрыска, с	7—10
температура пресс-формы, $^\circ \text{C}$	70—80

Выдержка под давлением и продолжительность охлаждения в форме подбираются экспериментально в зависимости от конфигурации и толщины детали.

Материал перед переработкой рекомендуется подсушить при температуре 75—80  $^\circ \text{C}$  в течение 2—3 ч (до получения остаточной влажности 0,05%).

Для переработки пластинок АБС наиболее подходящим является шнековые термопластавтоматы, обеспечивающие гомогенизацию и кратковременное пребывание расплава в цилиндре.

Детали, предназначенные для нанесения гальванических покрытий, не должны иметь явной ориентации структуры, внутренних напряжений и дефектов поверхности.

При нанесении защитно-декоративных покрытий решающее значение имеет качество поверхности пресс-формы. Поэтому пресс-форму рекомендуется изготавливать из высококачественной стали методом вакуумного литья и все рабочие поверхности ее обрабатывать до зеркального блеска ( $Ra \leq 0,2 \text{ мкм}$ ) и хромировать.

При конструировании пресс-формы необходимо предусмотреть нагрев и охлаждение ее; линия разъема должна быть расположена в наименее заметных местах детали.

Отливают детали без смазывания пресс-формы. В случае крайней необходимости формы посылают тальком или смазывают жидким мылом, стеаратами цинка, кальция, глицерином, касторовым маслом. Особенно вредны силиконовые масла, которые впитываются поверхностью пластмассы и препятствуют травлению ее.

Инструмент для удаления литников должен быть чистым и обезжиренным. Рабочие должны пользоваться чистыми хлопчатобумажными перчатками и бережно обращаться с деталями, так как любые неровности, царапины, вмятины и отпечатки пальцев на поверхности детали становятся более заметными после нанесения блестящих покрытий.

## СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Технологический процесс получения гальванических покрытий на любых диэлектриках включает все операции обработки, начиная с подготовки поверхности. Независимо от природы диэлектрика и назначения деталей он состоит из трех основных стадий: подготовки поверхности; получения электропроводного подслоя; нанесения гальванических покрытий.

Ориентировочная схема процесса получения защитно-декоративных покрытий на диэлектриках химико-гальваническим способом с использованием коллоидного раствора активирования следующая.

Подготовка поверхности: механическая, обезжиривание; промывка в теплой воде; промывка в холодной воде; предтравление; травление; улавливание; обезжелезивание; промывка в холодной воде; контроль качества подготовки поверхности.

Подключение электропроводного подслоя: обезжелезивание в растворе HCl; активирование; улавливание; промывка в холодной воде; акселерация; промывка двухкаскадная в холодной воде; никелирование (меднение) химическое; промывка в холодной воде; контроль качества подслоя.

Нанесение гальванических покрытий: активация; промывка в холодной воде; меднение матовое (никелирование матовое или полублестящее); меднение блестящее; улавливание; промывка двухкаскадная в холодной воде; никелирование блестящее; улавливание; промывка двухкаскадная в холодной воде; хромирование; улавливание; промывка в холодной воде; промывка в горячей воде; сушка, контроль качества покрытия.

В зависимости от природы диэлектрика, принятой системы покрытия, способов активации получения электропроводного подслоя и других факторов выполняемые операции и их последовательность могут существенно изменяться.

Подготовка поверхности. Механическая подготовка, осуществляемая с целью получения микрошероховатости поверхности, часто представляет собой мокрую или сухую абразивную обдвку сжатым воздухом. В условиях единичного или опытного производства применяют обработку шлифовальной шкуркой, немзой, абразивной пастой, стальной щеткой и т. п. Медные детали массового производства обрабатывают с абразивом во вращающихся барабанах или колоколах. В качестве абразива используют кварцевый песок, наждачный порошок, электрокорунд, немзу и другие вещества.

Однако механическая обработка не всегда обеспечивает достаточное сцепление покрытия со многими диэлектриками и значительно ухудшает декоративные свойства поверхности. По этим причинам ее применяют ограниченно, преимущественно при нанесе-

## 4. Составы щелочных растворов (г/л) в режимах обезжиривания диэлектриков

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (121), O	15—25	40—50
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	15—25	50—80
NaOH	—	40—50
Na <sub>2</sub> S (ОП-7, ОП-10, ОС-20 и др.)	5—15	5—5
t, °C	50—60	60—70
τ, мин	10—15	10—15

лин специальных покрытий на неорганические диэлектрики и терморезистивные пластмассы.

Обезжиривание пластмасс и других диэлектриков проводят в щелочных растворах или в органических растворителях. При этом подбирают такие составы, которые не растворяют обрабатываемый материал и не вызывают заметного набухания или растрескивания его. Для обезжиривания в щелочных растворах применяют те же растворы, что и для обработки металлов. Наиболее употребляемые составы для обезжиривания диэлектриков приведены в табл. 4. Раствор № 1 используют для обезжиривания полимерных материалов, раствор № 2 — преимущественно для неорганических диэлектриков.

В качестве органических растворителей для обезжиривания диэлектриков применяют фреоны, бензол, керосин, ацетон, метиловый и этиловый спирты, трихлорэтилен, тетрагидрофуран, петролейный эфир, уайт-спирит.

## 5. Растворители для предварительного травления полимеров

Основа	Растворитель
Сополимеры стирола, полистирол	Низшие спирты, н-гексан с водой, ацетон, дихлорэтан, ацетилцелюлозные эфиры, бензол, четыреххлористый углерод, эмульсии абразивных углеродистых диоксидов, бензола, толуола, тетрагидрофурилового спирта, диоксана, этилацетата, о-дихлорбензола
Полипропилен, полиэтилен	Ксилол, метилэтилкетон, ацетон, органические негексаны, эмульсии насыщенных масел и скипидара
Полиакрилат, поликарбонат, полиэфир	Метилэтилкетон, ацетон, метилэтилкетон
Полиамин	Хлорированные углеводороды, низшие спирты, диметилформамид, диоксан, нитроден
Поливинилхлорид	Монохлорэтан, бензиловый спирт, циклогексанол
Эпоксидные смолы	Ацетон, спирты, четыреххлористый углерод, циклогексан, тетрагидрофуран
	Смесь диметилформамида с четыреххлористым углеродом или спиртом

При незначительных загрязнениях поверхности пластмасс операцию обезжиривания совмещают с операцией травления в растворах, содержащих более 200 г/л CrO<sub>3</sub>. В этих случаях жиры хорошо удаляются.

Контроль качества обезжиривания пластмасс в большинстве случаев затруднен, так как они остаются гидрофобными, т. е. не смачиваемыми водой. Для оценки степени загрязнения пластиков АВС и полиолефинов предложена обработка их в растворе, содержащем 35 г/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и 30 г/л KMnO<sub>4</sub>. В процессе обработки на поверхности выделяется осадок, препятствующий дальнейшему травлению и нанесению покрытий.

Предварительное обезжиривание обычно проводят непосредственно перед травлением. Эта операция включает обработку поверхности полимера органическими растворителями, их смесью или эмульсиями, а также растворами кислот, щелочей, солей.

Для предварительного травления полимеров можно использовать растворители, приведенные в табл. 5. Состав смеси растворителей и режим обработки зависит главным образом от природы полимера и чаще всего устанавливаются экспериментально.

Тщательно подобранные технологические параметры процесса позволяют увеличить прочность сцепления сополимеров стирола с покрытием в 4—5 раз. Однако, несмотря на это, обработка в органических растворителях при включении защитных декоративных покрытий приводит к более редкой и менее декоративной поверхности и трудности кон-

троля процесса. Наиболее часто сополимеры стирола обрабатывают в течение 3—5 мин в ~75%-ном растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> или в отработанных растворах травления.

Синтетические материалы (стекло, кварц, слюда и др.) перед травлением обрабатывают в течение 20—90 мин в концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, содержащей 20—50 г/л K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, а ферритовые материалы кипятят в 10%-ном растворе H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Травление — весьма ответственная операция в технологическом процессе получения покрытий. Она представляет собой химический процесс, в результате выполнения которого происходит изменение структуры и химических свойств поверхности диэлектрика.

Травление обычно стремятся проводить в растворах, которые избирательно (селективно) действуют на разные компоненты одного и того же диэлектрика. Поэтому составы этих растворов и режимы обработки в них часто весьма специфичны и определяются природой, структурой и свойствами поверхности диэлектрика.

Рекомендуемые составы растворов травления и режимы обработки в них разных диэлектриков приведены в табл. 6.

Зависимость между составом раствора, температурой, продолжительностью обработки и природой диэлектрика всегда довольно сложная. Поэтому оптимальный состав раствора и режим травления для конкретного диэлектрика часто устанавливают экспериментально в зависимости от марки и способа его получения, режимов изготовления детали, а также ее геометрической формы, шероховатости поверхности и других факторов.

Наиболее подходящим раствором для травления пластиков АВС-2020 является раствор № 1. Он сохраняет работоспособность до накопления в нем 40—50 г/л ионов Cr(III). После этого процесс травления значительно замедляется, и раствор регенерируют или заменяют.

Контроль качества травленной поверхности осуществляют визуальным осмотром невооруженным глазом или под микроскопом. Оптимально травленная поверхность полимера

остается гладкой на ощупь, становится слегка матовой, хорошо смачивается водой и обеспечивает максимальное сцепление покрытия с основой. Под микроскопом она имеет вид губки. Среднеарифметическое отклонение микронеровностей от средней линии Ra ≈ 1 мкм.

Обезжиривание выполняют для удаления ионов Cr(VI), остающихся на поверхности диэлектрика после выполнения операции улавливания и промывки. Операция обезжиривания выполняется в обработке поверхности одним из растворов, представленных в табл. 7.

В случае последующего активирования в коллоидном активаторе наиболее часто используют раствор № 4. При этом промежуточную промывку между операциями не проводят, что дает возможность стабилизировать состав раствора для активирования. Концентрированную кислоту в этом случае поддерживают приблизительно равной концентрации ее в растворе активирования (см. табл. 11).

Если промывочные операции после травления не обеспечивают достаточное удаление соединений Cr(VI), то применяют обезжиривание в двух растворах, например, в растворе № 3 или 4, после промывки — в растворе № 4.

Активация — это процесс, в результате выполнения которого обрабатываемой поверхности диэлектрика придает каталитические свойства, обеспечивающие инициирование реакции химического восстановления металла. Активация может быть осуществлена физическими и химическими способами. Практическое значение имеют последние. Суть химических способов состоит в том, что на поверхность диэлектрика вносят активатор, из которого образуется каталитически активные частицы. В качестве активатора может быть использован раствор благородного металла (Pd, Ag, Au, Pt и др.), предложены также растворы меди, железа, никеля, кобальта. Наибольшее промышленное применение получили растворы палладия, в некоторых случаях — аммиачные растворы серебра.

Химическую активацию поверхности диэлектриков производят двумя способами: традиционным и прямым

6. Составы растворов (г/л) и режимы травления диэлектриков

Компоненты раствора и режим	№ раст				
	1	2	3	4	5
CrO <sub>3</sub>	350—400	40—65	—	20—30	~80
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	—	—	40—50	—	—
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ρ = 1,34 г/см <sup>3</sup> )	380—420	700—800	750—800	600—620	~1500
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (ρ = 1,71 г/см <sup>3</sup> )	—	—	—	180—210	—
NaOH	—	—	—	—	—
HF (40 %)	—	—	—	—	—
HCl (ρ = 1,19 г/см <sup>3</sup> )	—	—	—	—	—
N <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	—	—	—	—	—
Вода	690—770	До 1 л	До 1 л	До 1 л	До 1 л
t, °C	60—70	55—65	60—70	50—70	80—90
t, мин	8—20	5—10	5—10	8—15	15—20
Обработываемый диэлектрик		Сополимеры стирола, полистирол			Полипропилен, полистилен

7. Составы растворов (г/л) и режимы обезвреживания

Компоненты раствора и режим	№ раствора			
	1	2	3	4
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	10—60	—	—	—
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ρ = 1,34 г/см <sup>3</sup> )	10—20	—	—	—
NaHSO <sub>4</sub>	—	20—50	—	—
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	—	—	10—20	—
HCl (ρ = 1,19 г/см <sup>3</sup> )	—	—	—	150—500 мл/л
t, °C	18—25	18—25	18—25	18—25
t, мин	0,5—2	0,5—1,0	0,1—0,2	0,5—1,5

активирования\*. Традиционный способ активирования наиболее универсален и доступен. Он заключается в том, что раствор активатора наносят на поверхность диэлектрика после специальной обработки — сенсибилизации.

При прямом активировании обработку поверхности диэлектрика осуществляют непосредственно раствором активатора. Превращение его в катализатор происходит в растворе акселе-

ратора, иногда — в растворе химического покрытия.

Активность поверхности часто оценивают эффективностью активации, представляющую величину, обратную периоду индукции — продолжительности от начала реакции восстановления химически осажденного металла до появления видимого глазом сплошного покрытия.

Сенсибилизация представляет собой обработку поверхности диэлектрика раствором восстановителя. В качестве последнего чаще всего используют кислые растворы двухло-

\* Активированием называют обработку поверхности раствором активатора, т. е. операцию, составляющую часть процесса активации.

всего	№ раст															
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
—	—	—	—	—	—	До насыщения	~75	10—15	—	—	—	—	—	—	—	
—	~60	—	—	—	До насыщения	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	~1560	—	1420	—	До насыщения 90—95%	~96%	~460	~770	55—75%	~80%	~780	—	—	—	—	
~300	—	230—250	—	—	—	—	—	~460	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	8—13%	~20%	~220	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	~240	—	—	—	—	
До 1 л	До 1 л	До 1 л	40,6	210	5—10%	~4%	До 1 л	~510	18—30%	—	~200	—	—	—	—	
100—105	35—45	~80	85—95	18—25	50—60	70—80	105—110	30—70	18—25	18—25	—	—	—	—	—	
20—30	0,5—1	~5	0,1—0,2	~0,3	1—3	2—10	15—23	10—50	5—10	1—10	—	—	—	—	—	
Поликарбонат		Полиэтилентерфталат		Полиакрилат	Поливинилхлорид	Полиамиды, полиамин	Пресс-материалы АГ-4	Стеклопластики на основе эпокси-содных смол	Силикатные материалы	Ферритовые материалы						

ристого олова, которые подвергаются гидролизу с образованием малорастворимых продуктов  $Sn(OH)_2 \cdot xCl_{0,5}$  и более сложных химических соединений. Они закрепляются на обрабатываемой поверхности слоем толщиной от нескольких десятитысячных до нескольких десятых микрометров.

Получаемые продукты гидролиза весьма чувствительны к кислотам и щелочным растворам, а также к веществам и процессам окисления Sn (II). Эти свойства используют для предотвращения осаждения покрытий на отдельные участки поверхности.

Растворы сенсибилизации со временем мутнеют и приобретают желтоватый цвет из-за накапливающихся в них ионов Sn (IV) вследствие окисления Sn (II) кислородом воздуха.

Обычно для сенсибилизации используют раствор № 1 (табл. 8), но чаще всего раствор № 2.

Растворы сенсибилизации способны восстанавливать до металлического состояния ионы благородных металлов. Поэтому при эмпирическом серебрении, палладировании и золочении активацию поверхности ограничивают сенсибилизацией.

Для качественной оценки пригодности раствора сенсибилизации пробу его смешивают примерно с равным объемом свежеприготовленного раствора активирования. Раствор пригоден к работе, если полученная смесь окрашивается в красный или кирпичный цвет. Если этого не происходит, его заменяют новым.

Готовят раствор растворением нужного количества  $SnCl_2$  в расчетном количестве концентрированной HCl и разбавленным его в обесцвеченной воде требуемого объема.

Активирование — это получение покрытий.

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
SnCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	10—100	40—50
HCl (ρ = 1,19 г/см <sup>3</sup> )	10—80 мл/л	20—70 мл/л
Олово металлическое	0—2	0—2
t, °C	15—25	15—25
t, мин	0,5—15	0,5—10

чение каталитически активный металл в результате взаимосодействия активатора с восстановителем, адсорбированным поверхностью в растворе селективизации. Получаемый при этом металл равномерно распределяется по всей поверхности в виде коллоидной частицы или малоразветвленных соединений. Полное превращение последних в металл часто происходит уже в растворе химического покрытия.

Считают, что успешное проведение процесса нанесения покрытия обеспечивается частицы палладия диаметром около 0,005 мкм в количестве 10—15 на 1 мкм<sup>2</sup>.

Рекомендуемые составы растворов и режимы активирования приведены в табл. 9.

После активирования проводят промывку в проточной обессоленной воде с целью улавливания благородного металла. Затем следует промывка в проточной воде и загрузка в ванну химического покрытия.

В случае применения раствора № 2 после активирования производят обработку в растворе, содержащем 50 мл/л 25 %-ного раствора NH<sub>4</sub>OH.

Для приготовления раствора № 1 расчетное количество измельченного PdCl<sub>2</sub> растворяют в горячей до 50—60 °C HCl и полученный раствор разбавляют в обессоленной воде до требуемого объема.

Раствор № 2 готовят растворением AgNO<sub>3</sub> в небольшом количестве воды, после чего добавляют NH<sub>3</sub> до растворения образующегося коричневого осадка и доводят раствор водой до требуемого объема.

Прямое активирование основано на способности травленной по-

верхности, действуя тем как ионобменник сорбировать такое количество металла-активатора, которое обеспечивает иницирование реакции химического осаждения металла (не менее 10 мг/м<sup>2</sup>). Активирование в значительной степени зависит от природы диэлектрика и физико-химических свойств его поверхности.

Прямое активирование применяют для пластмасс, легко поддающихся травлению, и не применяют, например, для гладких поверхностей стекла, нитрата целлюлозы, полиэтилена, фторопласта перед химическим никелированием.

При ионном активировании используют раствор № 1 (табл. 10); значительное распространение получил и раствор № 2. Для увеличения эффективности активации рекомендуется нагрев растворов до 40—60 °C.

Избирательное активирование в ионных растворах возможно при значениях pH 0,5—2,5. При pH 2,5 начинается гидролиз PdCl<sub>2</sub>, и образующаяся гидроксид может вызвать осаждение покрытия на приспособлении. На практике процесс проводят при pH 1,8—2,0.

Приготовление растворов № 1 и 2 аналогично приведенному выше (см. табл. 9, раствор № 1). Для приготовления сернокислого раствора можно использовать и PdCl<sub>2</sub>. Для этого расчетное количество последнего растворяют при нагревании в HCl (1—2 мл/л). После охлаждения в полученный раствор добавляют при перемешивании H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (3—6 мл/л) и выпаривают до появления густых белых паров. Затем сухой остаток растворяют

10. Составы ионных растворов (г/л) и режимы прямого активирования

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
PdCl <sub>2</sub> PdSO <sub>4</sub> HCl (ρ = 1,19 г/см <sup>3</sup> )	0,5—1,0 — 3—	— 6,3—1,0 —
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ρ = 1,51 г/см <sup>3</sup> )	— — 10 мл/л	— — 6 мл/л
pH	1—2	1—2
t, °C	18—25	18—25
τ, мин	3—8	3—6

в обессоленной воде, раствор переносят в рабочую ванну и доводят водой до требуемого объема.

Широкое промышленное применение имеют коллоидные (совместенные) растворы активирования. Их получают при смешении избытка SnCl<sub>2</sub> с PdCl<sub>2</sub>. По сравнению с ионными они обладают рядом преимуществ: большой избирательностью и стабильностью в работе, более сильной активацией, возможностью активировать комбинационные из металла и диэлектрика поверхности с получением большей прочности сцепления покрытия как с металлом, так и с диэлектриком.

При обработке коллоидными растворами на поверхности пластмасс сорбируются комплексные соединения палладия и олова, оседают коллоидные частицы палладия и продукты гидролиза олова. Общее количество палладия на активированной поверхности достигает 5 мг/м<sup>2</sup> или примерно 10<sup>16</sup> атомов Pd на 1 см<sup>2</sup>. Однако они приобретают каталитическую активность только после обработки в растворе акселератора, удаляющего избыток соединений олова.

Применяемые составы растворов и режим активирования в коллоидных растворах приведены в табл. 11.

Применение раствора № 2 предпочтительно, так как добавка хлоридов делает его более стабильным в эксплуатации.

Приготовление коллоидного раствора производят следующим образом. Рассчитанное количество PdCl<sub>2</sub> растворяют при слабом нагревании в HCl (6 мл на 1 г PdCl<sub>2</sub>). Раствор охлаждают и разбавляют обессоленной водой из расчета 20 мл на 1 г PdCl<sub>2</sub>. Двуххлористое олово растворяют в горячей до

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
PdCl <sub>2</sub> SnCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O HCl (ρ = 1,19 г/см <sup>3</sup> )	0,2—1,2 40—50 250—	0,2—1,2 40—50 150—
KCl или NaCl	300 мл/л — —	200 мл/л 140—150 110—120
t, °C	18—25	18—25
τ, мин	1—5	0,5—2,0

40—50 °C HCl (0,5 мл на 1 г SnCl<sub>2</sub> × 2H<sub>2</sub>O) и медленно при перемешивании вливают его в раствор PdCl<sub>2</sub>. Полученный раствор нагревают до 90—100 °C и выдерживают при этой температуре в течение 10—15 мин. После этого добавляют раствор, содержащий хлориды, остальную часть соляной кислоты и воды. Раствор не следует фильтровать.

Находит применение и вариант способа прямого активирования, называемый активированием травлением. Для осуществления его используют раствор травления, в котором могут растворяться соли металлов-активаторов: Pd, Ag, Au, Pt. Особенно пригодным является раствор, имеющий следующий состав, масс. доля, %:

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	25—35
CrO <sub>2</sub> . . . . .	22—28
металл-активатор . . . . .	0,005—0,05

В случае применения палладия активирование травление протекает более эффективно при отсутствии в растворе хлоридов. Если же используют хлористый палладий, то его предварительно переводят в сернокислые соединения.

Эффективность активации в растворах активированного травления прямо пропорциональна количеству сорбированного палладия.

Несмотря на явные преимущества активированного травления, оно имеет ряд недостатков, значительно ограничивающих его промышленное применение. Основным из них: большие потери благородного металла из-за частого обновления травящего раствора и выноса его поверхностями обрабатываемых деталей и подосечных приспособлений; и трудность поддержания в растворе концентрации металла-активатора в требуемых пределах.

Акселерация заключается в превращении активатора, оставшегося на поверхности после прямого активирования, в каталитически активные частицы.

Акселерация увеличивает эффективность активации и начальную скорость химического осаждения никеля, а также стабильность растворов химического осаждения покрытия.

Для акселерации активированных коллоидными растворами поверх-

ностей используют растворы кислот ( $\text{HBr}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), щелочей ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), а также некоторых солей. Наиболее употребительные составы растворов и режимы акселерации приведены в табл. 12.

Существенное влияние на равномерность последующего покрытия при использовании коллоидного катализатора оказывает продолжительность операций промывки. Если она недостаточна, то после активирования не произойдет гидролиз комплекса или же не будет удален обеслаивающей частицы металлического палладия слой гидроксида  $\text{Sn}(\text{IV})$ . Увеличение времени промывки приводит к смыву реагирующих компонентов. Оптимальная продолжительность промывки: после активирования 2 мин, после акселерации 1 мин.

Получение электропроводного подслоя. Придание поверхности диэлектрика электропроводных свойств с целью последующего нанесения гальванических покрытий достигают разными способами: химическим восстановлением металла из раствора его соли, электрохимическим восстановлением металла из оксидов, введенных в состав поверхностного слоя диэлектрика или промежуточного покрытия, образованием электропроводных соединений (фосфидов, сульфидов и др.), нанесением электропроводных эмалей или металлических покрытий конденсационным способом и т. д. Из них самое широкое промышленное применение нашел способ хими-

ческого восстановления металлов, например  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$  и  $\text{Ag}$  (для специальных целей).

Из этих способов наиболее часто применяют химическое никелирование. В некоторых случаях в качестве подслоя более предпочтительно медное покрытие, например при наложении пластичного слоя меди, детали с покрытиями легче переносят резкие колебания температуры. Вследствие тех же причин химическое меднение предпочитают использовать и при нанесении покрытий на детали с большой площадью поверхности. Кроме того, на медь легче, чем на никель, наносить гальванические покрытия, так как получаемые химическим способом слои никеля быстрее пассивируются. Имеет значение и то, что растворы меднения работают при температуре 18—25 °С, в то время как для растворов никелирования необходим нагрев хотя бы до 30—40 °С.

В качестве электропроводного подслоя широко применяют сульфиды меди и электропроводные эмали. Их использование расширяет ассортимент диэлектриков, пригодных для получения гальванических покрытий, упрощает процесс формирования электропроводного подслоя и исключает применение драгоценных металлов ( $\text{Pd}$ ,  $\text{Ag}$ ). С помощью электропроводящих эмалей можно решить проблему нанесения покрытий на пористые материалы (дерево, кожа, гипс и т. п.).

Химическое никелирование возможно на активированной, преимущественно соединениями палладия, поверхности диэлектрика. Процесс продолжают до достижения толщины, обеспечивающей достаточную электропроводимость для последующего нанесения электрохимических покрытий (обычно 0,3—0,8 мкм).

При выборе растворов химического никелирования учитывают, что многие диэлектрики имеют небольшую жесткость и теплоустойчивость и более высокие, по сравнению с металлами, коэффициент линейного теплового расширения. Поэтому избегают применять растворы с высокой рабочей температурой (выше 60 °С) и растворы, дающие осадки с высокими внутренними напряжениями. По этой же при-

13. Составы растворов (г/л) и режимы химического никелирования

Компоненты раствора и режим	№ раствора			
	1	2	3	4
$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	24—30	—	—	3—7
$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	—	26—30	~20	—
$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 5,5\text{H}_2\text{O}$	—	—	~10	—
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	24—30	—	~30	10—17
$\text{NH}_4\text{Cl}$	32—42	32—42	~30	8—15
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,02—0,1	0,02—0,08	0,02—0,08	—
$\text{NaNO}_2$	30—40 мл/л	30—40 мл/л	40 мл/л	—
$\text{NH}_4\text{OH}$ (25 %-ный)	—	—	—	—
$\text{pH}$	8,5—9,0	8,5—9,0	8,5—9,0	8,0—8,2
$t, ^\circ\text{C}$	30—40	30—40	30—40	20—25
$\text{ПЗ, дм}^2/\text{л}$	1—2	1—2	1,5—2,0	14—55
$\text{СП при } 30^\circ\text{C, мкм/ч}$	~1,8	1,6—2,0	1,6—2,0	—
$t, \text{ мин}$	3—15	3—15	5—15	10—40

чные растворы, регламентируемые ГОСТ 9.047—75, могут быть применены лишь для немногих диэлектриков (стеклопластики, кварц, керамика и некоторые другие).

Для химического никелирования пластмасс используют низкотемпературные гипосульфитные, как кислоты ( $\text{pH}$  4—7), так и щелочные ( $\text{pH}$  8—11), растворы.

Составы наиболее употребительных растворов и режимы химического никелирования приведены в табл. 13. Раствор № 1 наиболее часто употребляют. Он довольно стабильный, очень чувствительный к активации (6  $\mu\text{г}/\text{м}^2 \text{Pd}$ ). Токпроводный подслоя на поверхности пластмасс образуется в течение 4—6 мин. Скорость никелирования при 40 °С достигает 4,0—4,5 мкм/ч. Раствор № 2 аналогичен раствору № 1, но уступает ему по стабильности. Раствор № 3 применяется в основном при никелировании пластмасс вазилью.

Раствор № 4 предназначен для однократного применения при большой плотности загрузки. Он работает до полного выделения металла. Толщина покрытия при этом определяется площадью обрабатываемой поверхности (она равна 0,5—0,6 мкм при плотности загрузки 26—31  $\text{дм}^2/\text{л}$ ).

Приобретают все большее практическое значение (особенно при никелировании пластмасс, керамики и стекла) аммиоборановые и борогидридные растворы. Но применение их сдерживается дефицитностью и высокой сто-

имостью восстановителей (борогидрида натрия, диметиламиноборана дитриламиноборана и др.).

Химическое меднение. Процесс химического восстановления меди имеет каталитическую природу, т. е. осаждение металла начинается только на активной поверхности катализатора и продолжается автокаталитически.

Химическое меднение диэлектриков производят в растворах, приведенных в табл. 14.

Раствор № 1 широко применяют для создания электропроводящего подслоя на гладких поверхностях диэлектриков. Присутствие в нем соли никеля способствует увеличению прочности сцепления покрытия со стеклом и пластмассами. Раствор № 2 довольно стабилен, рекомендован для нанесения покрытий на органические и неорганические диэлектрики; содержит (как и растворы № 3 и 4) сильный стабилизатор — тiosульфат натрия, не снижающий производительности раствора. Раствор № 3 применяют при получении металлократов на пластмассах (вазилью); стабильность его 16—17 сут. Раствор № 4 характеризуется большой производительностью и малой стабильностью. Применяют его при нанесении покрытий на печатные платы. Для этих же целей рекомендуют и раствор № 5, сохраняющий стабильность при многократном корректировании до трех месяцев.

Для увеличения стабильности растворов химического меднения реко-

12. Составы растворов (г/л) и режимы акселерации

Компоненты раствора и режим	№ раствора			
	1	2	3	4
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	50—150	—	—	—
$\text{NaOH}$	—	20—40	—	—
$\text{NiCl}_2$	—	—	80—120	—
$(\rho = 1,19 \text{ г/см}^3)$ $\text{Ni}_2\text{S}_2\text{F}_6$	—	—	—	~120
$t, ^\circ\text{C}$	40—60	18—25	18—35	~40
$t, \text{ мин}$	2—8	2—5	1—3	1—2

14. Составы растворов (г/л) и режимы гальванического нанесения

Компоненты раствора (г/л)	№ раствора				
	1	2	3	4	5
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	7	10—15	10	25—30	10—15
$\text{KNO}_3$ , $\text{H}_2\text{O}_2$ , $4\text{HNO}_3$	32,0	30—60	—	170—180	—
$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , $\text{H}_2\text{O}_2$ , $5\text{H}_2\text{SO}_4$	—	—	—	—	60—70
$\text{NaCl}$	4,5	10—15	7—1	40—50	10—1
$\text{H}_2\text{SO}_4$ (17 %-ный)	26—30	10—15 мл/л	13—14 г/л	20—25 мл/л	15—20
$\text{NH}_4\text{Cl}$ , $6\text{H}_2\text{O}$	2	2—5	—	4—6	—
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	3	2—5	—	25—30	—
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	—	—	—	10—15 мл/л	—
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ или	—	0,005—	0,005—	0,001	0,005
	—	0,001	0,001	0,001	0,001
$\text{CS} (\text{NH}_4)_2$	—	—	0,005—	—	—
	—	—	0,001	—	0,01—
Натрия дитиофосфат	—	—	—	—	0,01—
	—	—	—	—	0,15
pH	12,1—13,7	12,2—12,8	12,1—12,6	12,8—13,0	12,2—12,6
t, °C	18—25	18—25	18—25	18—25	18—25
СП, мм/ч	~0,1	0,8—1,0	~1,0	2—4	1,0—1,2
ПЗ, дм <sup>2</sup> /л	1—2	2,0—2,5	1,5—2,0	2,0—2,5	2—4
t, мин	20—30	10—20	15—20	8—10	10—15

менюется периодическое перемешивание сжатым воздухом и фильтрование их в течение рабочего дня.

Толщина медного подслоя, необходимая для последующего нанесения электрохимических покрытий, составляет 0,1—0,5 мкм.

Удельное электрическое сопротивление медных покрытий, полученных из раствора № 1, составляет (4—20)·10<sup>8</sup> Ом·м.

Получение неметаллического электропроводного подслоя. Среди способов получения электропроводного подслоя без использования драгоценных металлов находят промышленное применение способы нанесения сульфидов металлов и электропроводных эмалей. Сущность первого из них состоит в последовательном проведении операции сорбции неорганических веществ на поверхности полимера и преобразования их в малорастворимые соединения — сульфиды, обладающие свойствами полупроводников, а второго — в формировании на поверхности диэлектрика покрытия из пленкообразующего вещества, в котором диспергирован электропроводный наполнитель.

Из многих сульфидов, способных осаждаться на поверхности диэлектриков, наилучшие результаты по прочности сцепления при нанесении

электрохимических покрытий обеспечивают сульфиды меди. Их получают проводящем следующим технологическим процессом:

сорбция в растворах, приведенных в табл. 15;

гидролиз в проточной горячей воде при pH 7 в течение 0,1—0,2 мин;

сульфидирование 0,1—0,5 мин при 18—25 °C в растворе, содержащем 10—50 г/л  $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ;

промывка в проточной воде в течение 0,1—0,5 мин.

15. Составы растворов (г/л) и режимы сорбции

Компоненты раствора (г/л)	№ раствора	
	1	2
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	10—150	10—15
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	70—100	50
$\text{NH}_4\text{OH}$	170—	—
12%-%-ный HCl	200 мл/л	100 г/л
( $\rho = 1,19 \text{ г/см}^3$ ) Медь металлическая	—	30
pH	0,5—2,5	—
t, мин	0,1—1,0	—
t, °C	18—25	18—25
Длина зорик	Пластик АБС, полистирол, полипропилен	Полиэтил

Получение качественных гальванических покрытий обеспечивается подслоем, имеющим поверхностное электрическое сопротивление, равное 10<sup>8</sup>—10<sup>4</sup> Ом.

Прочность сцепления покрытия с пластиком АБС, полистиролом и полипропиленом соответствует примерно той, которую получают при традиционной схеме подготовки и нанесения металлического подслоя. Для увеличения ее рекомендуется проводить пятиминутное предварительное в эмульсии следующего состава, г/л:

скипидар . . . . . 20—40  
ОС-20 . . . . . ~10

Приготовление растворов сорбции производят растворением компонентов в последовательности, указанной в табл. 15.

Достоинство способа получения неметаллического электропроводного покрытия нанесением сульфидов меди состоит в небольшой продолжительности процесса, сравнительно высокой стабильности применяемых растворов, невысокой стоимости и доступности химикатов; его недостаток — необходимость многократного повторения цикла нанесения электропроводного покрытия, невозможность обработки деталей насыпью и отсутствие селективности действия на материал, изолирующий подвеску.

В качестве электропроводных лакокрасочных материалов наибольшее применение получила эмаль АС-588. Она представляет собой суспензию карбонильного никеля в растворе смол АС и БМК-5 в органических растворителях. Эмаль поставляется в виде двух полуфабрикатов: суспензии карбонильного никеля в растворе смолы АС и 25 %-ного раствора смолы БМК-5. Смешение компонентов производят непосредственно перед применением эмали: на 100 частей по массе суспензии карбонильного никеля добавляют 21 часть по массе раствора смолы БМК-5. Эмаль наносят краскораспылителем или кистью. При пневмораспылении ее разбавляют растворителями № 646 или 648 до вязкости 16—18 с по ВЗ-4.

После сушки на открытом воздухе детали загружают в ванну меднения без предварительной обработки.

Удельное объемное сопротивление получаемых покрытий 10<sup>7</sup>—10<sup>11</sup> Ом·X·X см.

Промышленность выпускает также электропроводные эмали ХС-928, ХС-5141 и АК-562.

Гальванические покрытия, формируемые на лакокрасочном подслое, имеют шагреновую фактуру. Это затрудняет получение гладких зеркально-блестящих покрытий. Их в основном используют для отделки деталей бытового назначения и художественных изделий под цвет старой меди, старой бронзы и черного серебра.

Нанесение гальванических покрытий. При нанесении гальванических покрытий на пластмассы и другие диэлектрики учитывают особенности способа нанесения и марку диэлектриков. Особенности химико-гальванического способа получения является создание тонкого электропроводного подслоя, который легко повреждается при механических воздействиях и растворяется в агрессивных электролитах, имеет ограниченную электропроводность (особенно подслои сульфидов). При этом способе предъявляются повышенные требования к контактным элементам подвесочных приспособлений и созданию условий, при которых не может возникнуть биполярный эффект. Особенности пластмасс являются малая их плотность (ниже, чем у электролитов), повышенная деформируемость (особенно у термопластических пластмасс при повышенной температуре электролитов), более высокой, чем у напосимых покрытий коэффициент линейного расширения.

С деталями, имеющими электропроводный подслоем, обращаются весьма осторожно, особенно при ремонте химически меденных деталей на подвески для нанесения покрытий катодным восстановлением. Во избежание перегрева электропроводного подслоя увеличивают площадь и количество контактных элементов подвески, а осаждение покрытия начинают при малой плотности тока (0,3—0,7 А/дм<sup>2</sup>). Для усиления подслоя в большинстве случаев дополнительно наносят матовую медь. Это позволяет повысить прочность сцепления между электропроводным подслоем и последующими слоями покрытия.

Необходимость нанесения слоя меди вызывается еще и тем, что она служит буфером между пластмассой и блестящим никелевым покрытием при резком изменении температуры. Хотя медь и имеет значительно меньший коэффициент линейного теплового расширения, чем пластмасса, но нагрев и расширение ее происходят быстрее. Это приводит к тому, что расширение или сжатие для пластмассы и осаждаемого подслоя становятся почти одинаковыми. В качестве буферного подслоя используют и эластичные осадки матового или подблестящего никеля. Толщина буферного подслоя составляет 50—75% общей толщины покрытия.

При осуществлении технологического процесса нанесения гальванических покрытий избегают применять растворы с повышенной температурой (выше 60 °C) и электролиты, дающие осадки с высокими внутренними напряжениями или осадки, требующие механического полирования, не используют агрессивные кислые или щелочные электролиты.

Во избежание растворения электропроводящего подслоя вследствие биполярного эффекта, принимают меры, чтобы деталь во время электролиза не теряла электрический контакт с подвеской даже на короткое время. При использовании традиционного способа активации поверхности, а так-

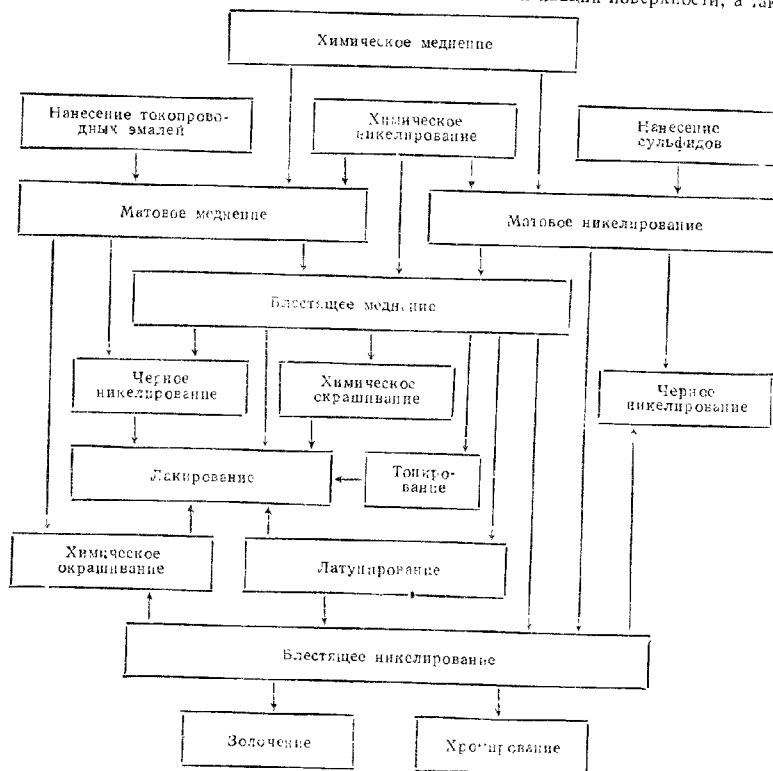


Рис. 1. Схема нанесения защитно-декоративных покрытий

же способа получения электропроводящего подслоя нанесением сульфидов меди покрытие осаждается не только на поверхности обрабатываемых деталей, но и на подвесках. Чтобы предотвратить нерациональный расход металла и электроэнергии, перед нанесением гальванических покрытий производят перемонтаж деталей на подвески, которые не подвергались активации. Такие технологические процессы неэкономичны и используются только при ручном обслуживании и небольшой производственной программе. Наименьшая вероятность осаждения покрытия на подвесках достигается в случае изоляции их пластином или фторопластом.

Схема нанесения защитно-декоративных покрытий показана на рис. 1.

Обработке насильно чаще всего подвергают детали из пластмасс, максимальный размер которых не превышает 25—30 мм. Особенности обработки их по сравнению с металлическими заключаются в следующем.

Плотность пластмасс (обычно АБС-2020) ниже плотности электролитов. Это затрудняет контактирование деталей с катодными токопроводами и друг с другом. По мере осажде-

ния покрытия плотность деталей повышается и приближается к плотности электролита.

При использовании барабана, обычно применяемого для нанесения покрытий на металлические детали, наблюдается плохое распределение электрического тока: почти весь ток распределяется на деталях, находящихся снаружи, а детали, размещенные в центре барабана, находятся не под током.

Вследствие ограниченной электропроводимости подслоя химически осажденного металла и его легкой повреждаемости может возникнуть перегрев или растворение его. Для предотвращения этого в начале процесса плотность тока должна быть низкой (порядка 0,1 А/дм<sup>2</sup>), что, в свою очередь, приводит к незначительному увеличению толщины химически осажденного металла, и он может растворяться в электролите.

Учитывая названные отрицательные факторы, нанесение покрытий насильно производят только в барабанах специальной конструкции. Такой барабан представляет собой полую перфорированную восьмигранную призму с размещенными внутри нее дополнительными анодом и стержневыми токопроводами.



## ЭЛЕКТРОСАЖДЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Использование электролитов на основе органических растворителей позволяет выделять металлы, электроосаждение которых из водных электролитов невозможно вследствие их значительного отрицательного потенциала; наносить покрытия на активные металлы; уменьшать наводороживание основы при осаждении покрытий; интенсифицировать в некоторых случаях гальванические процессы и снизить токсичность электролитов.

Ниже основное внимание уделено электроосаждению алюминия, поскольку этот процесс получил практическое применение, а сведения об электроосаждении и контактном выделении других металлов даны более кратко.

Органические растворители для электроосаждения металлов должны удовлетворять следующим основным требованиям: растворитель должен иметь значительную растворяющую и координирующую способность, позволяющую получать высокую концентрацию и электропроводимость электролита; растворитель не должен химически реагировать с продуктами электролиза и материалами электродов; осаждаемый металл не должен служить катализатором для реакции полимеризации или конденсации растворителя; растворитель должен быть электрохимически устойчивым; он должен иметь достаточно низкое значение давления паров и быть нетоксичным.

Физико-химические свойства наиболее широко применяемых растворителей представлены в табл. 1.

Органические жидкости растворяют обычно большее количество соединений, чем вода, в них хорошо растворимы органические вещества и металлоорганические соединения. Вместе с тем большинство органических растворителей по сравнению с водой

обладают более низкой диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon$ ), за исключением формамида и *N*-замещенных амидов. Тем не менее в растворителях с низкой диэлектрической проницаемостью, таких, например, как тетрагидрофуран, некоторые соли, растворяясь, обеспечивают достаточную для электроосаждения металлов электропроводимость ( $\sim 0,1$  См/м).

Наиболее подходящими для осаждения металлов являются растворители, которые содержат слабо координирующий центр (например, атом кислорода эфира, спирта, кетона) или двойную связь в молекуле ароматического углеводорода. Растворители с более несвязанным и потому более сильно координирующим центром (например, атом азота или карбоксильная группа) образуют довольно прочные комплексы, из которых выделение металла затруднено.

Кроме того, при электроосаждении металлов из органических растворителей следует считаться с весьма большой вероятностью пассивации поверхности электрода вследствие адсорбции молекул растворителя или продуктов его восстановления. Это обстоятельство создает дополнительные трудности для выделения металла на пассивированной поверхности.

Важным свойством растворителя, определяющим его применение в электрохимической технологии, является также его электрохимическая устойчивость. Если осаждение металла происходит при потенциалах более отрицательных, чем потенциал разряда ионов водорода, то в протонных растворителях наряду с основным процессом будет наблюдаться выделение водорода. Поэтому при электроосаждении металлов, обладающих достаточно отрицательными стандартными потенциалами, следует использовать апротонные растворители, которые не содержат первичного атома

1. Физические константы важнейших органических растворителей

Растворитель	$t_{пл}$ , °C	$t_{кип}$ , °C, при давлении 0,1 МПа	$\epsilon$ , при 25 °C	Динамическая вязкость $\eta$ , Па·с	Удельная электропроводимость $\kappa \cdot 10^9$ , См/м	Донорное число растворителя
Ацетон	-95,3	56,2	37,8	0,295	$1,9 \cdot 10^{-9}$	17,0
Ацетонитрил	-43,8	81,6	37,5	0,328	$2,6 \cdot 10^{-8}$	14,1
Бензол	-5,5	80,1	2,3	—	—	0
Диметилацетамид	-20,0	163,5	37,8	0,92	—	27,8
Диметилсульфоксид	18,5	189,0	48,9	2,603	$3,0 \cdot 10^{-8}$	29,8
Диметилформамид	61,0	153,0	36,7	0,796	$3,0 \cdot 10^{-8}$	26,6
Диэтиловый эфир	-116,0	34,6	4,2	0,224	—	19,0
Диэтиловый эфир	-97,8	65,0	32,6	0,445	$7,0 \cdot 10^{-8}$	—
<i>N</i> -Метилацетамид	29,7	202	175,7	3,119	$1,0 \cdot 10^{-6}$	27
<i>N</i> -Метилформамид	-3,8	180	182,4	1,65	—	4,4
Нитробензол	5,8	210,8	34,8	0,627	$5,0 \cdot 10^{-9}$	2,7
Нитрометан	-28,5	101,1	38,6	0,878	$3,0 \cdot 10^{-10}$	33,1
Пиридин	-41,8	113,5	12,3	2,53	—	—
Пропиленкарбонат	-48,8	241,7	65,1	2,53	—	20,0
Тетрагидрофуран	-65,0	69,4	7,4	0,451	—	0
Толуол	-95,0	110,6	2,4	—	$1,0 \cdot 10^{-6}$	24
Формамид	2,5	210	109,5	3,302	$1,3 \cdot 10^{-7}$	—
Этиленгликоль	-13,0	198	37,7	13,5	$1,35 \cdot 10^{-9}$	20
Этанол	-114,5	78,3	24,3	1,08	—	—

водорода. Эти растворители имеют высокую электрохимическую устойчивость и не восстанавливаются до потенциалов  $-3,0 \div -3,5$  В.

### АЛЮМИНИРОВАНИЕ

Процесс алюминирования используется при производстве телескопических отражателей, немагнитных оптических систем и элементов микроэлектроники.

Разработано достаточно большое количество электролитов алюминирования; наиболее перспективными в практическом отношении являются эфирно-гидридные, алкилбензолные и металлоорганические электролиты.

Все электролиты алюминирования должны в той или иной степени быть изолированы от прямых контактов с атмосферой, что требует создания ванн специальной конструкции.

Эфирно-гидридные электролиты наиболее исследованы, а их различные модификации применяются в практике. Ванна на основе диэтилового эфира состоит из следующих компонентов (М):

AlCl<sub>3</sub>, безводный . . . . . 2-3  
LiAlH<sub>4</sub> . . . . . 0,13-0,4  
диэтиловый эфир . . . . . до 1 л

Режим осаждения:  $i_k = 1 \div 5$  А/дм<sup>2</sup>;  $t = 20 \div 30$  °C; катодный выход по току 90-100 %, анодный — 100 %; аноды — алюминиевые,

Литийалюмогидрид в электролите может быть заменен на LiH, и тогда вместо 0,4 М LiAlH<sub>4</sub> в ванну должно быть добавлено 1 М LiH.

При комнатной температуре и  $i_k = 5$  А/дм<sup>2</sup> осаждаются плотные осадки алюминия до толщины 0,5 мм и более. Для получения толстых покрытий рекомендуется непрерывное перемешивание электролита и фильтрация. Реверсирование тока также способствует получению гладких покрытий. Режимы реверсирования следующие:  $i_k = 3$  А/дм<sup>2</sup>,  $i_a = 12$  А/дм<sup>2</sup>,  $\tau_k/\tau_a = 20:1$ , полный цикл  $(\tau_k + \tau_a)$  1 мин и более; или  $i_k = 2,5$  А/дм<sup>2</sup>,  $i_a = 7,5$  А/дм<sup>2</sup>,  $\tau_k = 40$  с,  $\tau_a = 10$  с; или  $i_k = 0,5$  А/дм<sup>2</sup>,  $i_a = 2$  А/дм<sup>2</sup>,  $\tau_k = 10$  мин,  $\tau_a = 1$  мин.

Продолжительность работы ванны зависит от концентрации AlCl<sub>3</sub> и плотности тока. При концентрации 3 М AlCl<sub>3</sub> и 0,4 М LiAlH<sub>4</sub> продолжительность работы электролита достигает 100 А·ч/л. Применение диафрагм, разделяющих анодное и катодное пространство, и периодическое введение в раствор LiAlH<sub>4</sub> позволяют увеличить ресурс работы ванны до 800 А × ч/л.

По своим физико-механическим свойствам полученные покрытия близки к электрометаллургическим маркам алюминия высокой чистоты.

При приготовлении эфирно-гидратных электролитов производится отдельное растворение  $AlCl_3$  и  $LiAlH_4$  в диэтиловом эфире. Если объем приготовляемого раствора менее 1 л,  $AlCl_3$  может быть добавлен в эфир или эфир к  $AlCl_3$ . При приготовлении больших объемов  $AlCl_3$  должен добавляться в эфир, так как в противном случае может произойти значительное повышение температуры, приводящее к декомпозиции электролита. Поэтому при добавлении  $AlCl_3$  к эфиру необходимо охлаждение.

Литийалюмогидрид растворяется в диэтиловом эфире с трудом, поэтому необходимо его кипячение с использованием обратного холодильника в течение 4—6 ч, в результате чего образуется раствор  $LiAlH_4$  с концентрацией 1,8—2,0 М. В нижней части сосуда всегда имеется осадок нерастворимого  $LiAlH_4$ . После фильтрации в инертной атмосфере раствор может быть доведен вакуумной сушкой до концентрации  $LiAlH_4$  5 М. В полученном растворе необходимо аналитически определить концентрацию  $LiAlH_4$ .

Окончательное приготовление электролита производится добавлением при перемешивании концентрата  $LiAlH_4$  к раствору  $AlCl_3$  в эфире. Добавление первых порций раствора  $LiAlH_4$  должно быть выполнено осторожно (необходимо охлаждение), поскольку  $LiAlH_4$  энергично реагирует со следами воды и  $HCl$ , которые могут содержаться в растворе.

При смешивании двух растворов в ванне образуется нерастворимый осадок  $LiCl$ , который необходимо отфильтровать. После полного анализа ванны и корректировки она готова к работе.

Подготовка поверхности детали имеет важное значение при использовании неводных электролитов. Одним из рекомендуемых способов подготовки поверхности перед алюминированием является химическое или анодное травление железа, стали, кобальта, никеля, меди в исключительных случаях водородом растворов соляной кислоты, фосфатов, азотной кислоты и перекиси водорода. На заключительном этапе полной подготовки поверхности в растворах азотной, салнищевой,

бензойной кислоты в диэтиловом эфире. При этом начало процесса электроосаждения (включение рабочего тока) синхронизируется с растворением слоя кислоты в электролите.

Подготовка поверхности мелких деталей перед алюминированием заключается в следующем:

катодная обработка при 60—70°C в водном растворе, содержащем  $Na_2CO_3$  (25 г/л) и  $Na_2SiO_4$  (25 г/л), плотность тока 1 А/дм<sup>2</sup>;

декапирование в растворе (об. доля, %):  $H_2SO_4$  (3),  $H_2O_2$  (2),  $H_2O$  (95); обработка в 10% ном растворе салициловой кислоты в эфире.

Предлагается также проводить анодное декапирование деталей без какой-либо предварительной обработки в том же растворе, в котором производится их алюминирование.

Например, для углеродистой стали рекомендуется анодное декапирование 4—6 мин при  $i_d = 1$  А/дм<sup>2</sup>, выдержка без тока в ванне в течение 4—6 мин и алюминирование при  $i_d = 1$  А/дм<sup>2</sup>; для коррозионно-стойкой стали — декапирование 2—3 мин при  $i_d = 1$  А/дм<sup>2</sup> и затем быстрое включение тока на катодный режим (1 А/дм<sup>2</sup>). Такая же обработка рекомендуется и для нанесения искристой на титан, с той лишь особенностью, что электролит алюминирования помимо основных компонентов должен содержать 1 г/л безводного  $FeCl_3$ .

Анализ электролита. Определение концентрации  $AlCl_3$ . Поскольку  $LiCl$  не растворяется в диэтиловом эфире, то концентрацию алюминия в виде  $AlCl_3$  определяют по концентрации хлоридов.

Ход анализа следующий: 1 мл анализируемого раствора переносится в 250 мл сухую колбу Эрленмейера (операция производится в сухом боксе); колбу извлекают из бокса и добавляют 10—15 мл дистиллированной воды (осторожно!); добавляют 5 мл разбавленной  $HNO_3$  (1:1) и 25 мл ледяной  $CH_3COOH$ , раствор перемешивают; добавляют с перемешиванием избыток стандартного раствора  $AgNO_3$  (0,4—0,5 М);

добавляют 3 мл индикатора  $Fe(NCS)_2$  и титруют 0,1 М раствором  $KSCN$  (конечная точка титрования — красноватая окраска раствора).

Расчет концентрации  $AlCl_3$  (М) производится по формуле

$$C_{AlCl_3} = 1/3 (C_{AgNO_3} V_{AgNO_3} - C_{KSCN} V_{KSCN}),$$

где  $C$  — в М,  $V$  — в мл.  
Определение общей концентрации алюминия производится следующим образом:

1 мл анализируемого раствора переносится в 250 мл сухой стакан (операция производится в сухом боксе); стакан извлекают из бокса и добавляют избыток дистиллированной воды (осторожно!) и 5 мл 2М раствора  $HNO_3$ , кипятят 2 мин; добавляют избыток стандартного 0,05 М раствора ЭДТА; доводят рН раствора до 3—4 2М раствором  $NH_4OH$ , кипятят 1 мин; добавляют несколько граммов гексаметилентетрамина, 1 мл раствора (0,01 г/л) индикатора ксиленолового и титруют стандартным 0,05 М раствором  $Zn(CH_3COO)_2$  до изменения окраски от желтой в розовую.

Расчет концентрации алюминия (М) производится по формуле

$$C_{Al} = C_{ЭДТА} V_{ЭДТА} - C_{Zn(CH_3COO)_2} V_{Zn(CH_3COO)_2},$$

где  $C$  — в М,  $V$  — в мл.  
Определение концентрации  $LiAlH_4$  выполняют в следующем порядке: в сухом боксе в колбу с притертой пробкой емкостью 250 мл пипеткой помещается 30 мл 0,4 М раствора  $J_2$  в осушенном бензоле;

в раствор  $J_2$  вводят 1 мл анализируемого электролита или 0,2 мл концентрата  $LiAlH_4$  в эфире; колба извлекается из бокса и избыток  $J_2$  оттитровывается стандартным 0,1 М раствором  $Na_2S_2O_3$ , первые порции которого должны быть добавлены быстро с энергичным перемешиванием; по мере обесцвечивания раствора уменьшают скорость титрования, добавляют раствор крахмала и продолжают титровать до обесцвечивания раствора.

Расчет концентрации  $LiAlH_4$  в М производится по формуле

$$C_{LiAlH_4} = \frac{0,5C_{J_2} V_{J_2} - 0,25C_{Na_2S_2O_3} V_{Na_2S_2O_3}}{V_{пробы}}$$

где  $C$  — в М,  $V$  — в мл.

Концентрация активного гидридного водорода может быть определена также объемным газовым методом по количеству водорода, образуемого при взаимодействии анализируемой пробы с водой.

Большой интерес представляет использование в качестве растворителя вместо диэтилового эфира тетрагидрофурана (ТГФ). Применение ТГФ позволяет снизить пожароопасность эфирно-гидридной ванны и значительно повысить рабочие плотности тока. В зависимости от соотношения компонентов допустимая плотность тока может быть увеличена до 20 А/дм<sup>2</sup>, в то время как в электролите на основе диэтилового эфира качественные покрытия осаждаются до плотностей тока не выше 5 А/дм<sup>2</sup>.

Рекомендуется также использовать не чисто ТГФ-ванны, а смесь растворителей ТГФ — ароматический углеводород, в качестве которого могут служить бензол, толуол, хлорбензол и т. д. Состав электролита, содержащего бензол, приведен ниже (М):

$AlCl_3$ , безводный	0,25
$LiAlH_4$	0,25
растворитель до 1 л:	
тетрагидрофуран, об. доля, %	80
бензол, об. доля, %	20
Режим осаждения:	$i = 20 \pm 25$ А/дм <sup>2</sup> ; $VT = 1 \pm 20$ А/дм <sup>2</sup> ; $BT = \sim 100$ %.

Возможна также замена  $AlCl_3$  на  $AlBr_3$ .

Приготовление электролитов осуществляется так же, как и электролитов на основе диэтилового эфира. Однако использование ароматических углеводородов облегчает приготовление электролита алюминирования, поскольку в присутствии углеводородов реакция взаимодействия галогенида алюминия с эфиром протекает менее энергично.

В производственных условиях ТГФ-электролиты готовят пропуская безводного хлористого водорода в раствор, содержащий алюминиевую фольгу или стружку и растворитель (ТГФ или его смесь с ароматическим углеводородом). Литийалюмогидрид вводится в электролит после полного растворения  $Al$  и удаления избытка  $HCl$ .

Анализ ТГФ-электролита на содержание в нем различных компонен-

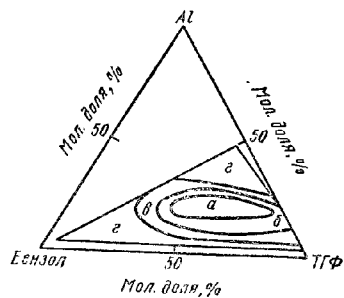


Рис. 1. Влияние состава ТГФ-электролита на величину допустимых плотностей тока ( $A/дм^2$ ) при постоянном соотношении  $AlCl_3 : LiAlH_4 = 7,5$ :  
 а — 40, б — 30, в — 10, г — < 10

тов производится аналогично растворам на основе дитилового эфира, с той лишь разницей, что концентрации  $AlCl_3$  находят по разности концентраций общего количества алюминия и алюминия в виде  $LiAlH_4$ . Это обусловлено тем, что в отличие от дитилового эфира  $LiCl$  хорошо растворяется в ТГФ.

В последнее время появились еще более концентрированные по алюминию ТГФ-электролиты, которые позволяют значительно интенсифицировать процесс. Один из рекомендуемых электролитов имеет следующий состав (М):

$AlCl_3$ , безводный . . . . .	2,5—3
$LiAlH_4$ . . . . .	0,35—0,42
растворитель до 1 л:	
тетрагидрофуран, об.	
доля, % . . . . .	50
бензол, об. доля, % . . . . .	50

Режим осаждения:  $i = 40 + 50^\circ C$ ;  $i_k = 5 + 50 A/дм^2$ ;  $VT = \sim 100\%$ .

На рис. 1 представлена тройная диаграмма системы Al — ТГФ — бензол, на которой показаны области допустимых катодных плотностей тока при алюминировании. Применение высоких плотностей тока предусматривает непрерывное перемешивание растворов и повышение температуры электролита до  $50^\circ C$ .

Алкилбензолные электролиты представляют собой растворы безводного  $AlBr_3$  (2,5—3,3 М) в ароматическом углеводороде или их смеси. В качестве

ароматического углеводорода могут быть использованы ксилол, этилбензол, дитилбензол, мезитилен или смеси этилбензол — толуол (1 : 1), этилбензол — ксилол (1 : 1) и др. Электролит готовят простым растворением при перемешивании  $AlBr_3$  в углеводороде (нагревание или охлаждение раствора не требуется).

Свежеприготовленные растворы имеют низкое значение электропроводности, и для получения сплошных, ровных алюминиевых покрытий требуется проработка электролитов постоянным током (2—3 А·ч/л) с алюминиевыми анодами, в результате чего возрастает их электропроводность и соответственно катодный выход по току (рис. 2). После проработки электропроводность растворов достигает значений  $\sim 0,3$  См/м, а выход по току  $\sim 80\%$  при  $i_k = 1 A/дм^2$ . Анодный выход по току практически не зависит от количества пропущенного электричества и составляет 100%.

Рабочие плотности тока в этих электролитах 1—1,5  $A/дм^2$ , что соответствует скорости осаждения алюминия 8—10 мкм/ч. При увеличении плотности тока катодный выход по току алюминия падает.

Различие в величинах катодного и анодного выходов по току приводит к повышению концентрации алюминия в электролите и в итоге к выходу из строя ванны. Контроль состава электролита рекомендуется осуществлять по величине удельной электропроводности, поддерживая ее в пределах 0,3—0,4 См/м, так как в этом интервале катодный выход по току максимален, а анодный — немногим более 100%. При уменьшении электропроводности

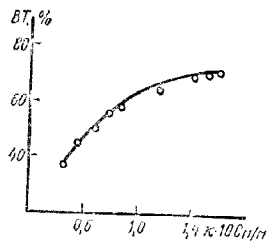


Рис. 2. Зависимость выхода по току алюминия от электропроводности раствора (этилбензолный электролит)

мости раствора ниже 0,3 См/м состав ванны следует скорректировать путем пропускания через раствор сухого бромистого водорода в количестве, необходимом для стехиометрического связывания алюминия. В результате такой корректировки электропроводность раствора и катодный выход по току алюминия вновь возрастают.

Для получения мелкокристаллических покрытий в электролиты рекомендуется вводить добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ), в качестве которых используются силиконовый каучук СКТВ-1 (2,5—11 г/л), полиэтилсилоксановая жидкость ПЭС-5 (2,5—11 г/л) или полиэтилгидроксилсилоксановая жидкость ГКЖ-94 (6,7 г/л), парафин (5—7 г/л).

Улучшение качества осадков достигается также непрерывным перемешиванием раствора, введением в электролит галогенидов щелочных металлов (KBr, LiBr) в количестве 0,2—1 М и тетраалкиламмониевых солей. При добавлении в электролит 0,5 г/л  $(C_2H_5)_4NJ$  осаждаются блестящие покрытия.

Составы некоторых алкилбензолных электролитов представлены в табл. 2.

Продолжительность работы электролитов достигает 100 А·ч/л и в значительной степени зависит от количества влаги, попадаемой в раствор. Наличие микроколичества воды в ал-

килбензолных электролитах способствует повышению электропроводности раствора и улучшению качества покрытий.

Из указанных электролитов могут быть получены покрытия толщиной до 40 мкм (в электролитах с ПАВ). Содержание алюминия в осадке колеблется от 98 до 99,9% в зависимости от типа используемого электролита. Микропористость покрытий снижается с увеличением их толщины, и покрытия толщиной свыше 10 мкм практически беспористы. Микропористость алюминиевых осадков составляет 20—30, внутренние напряжения до 0,2 МПа, удельное электросопротивление 0,040 Ом·мм<sup>2</sup>/м. В присутствии ПАВ микротвердость и внутренние напряжения осадков возрастают.

Алкилбензолные электролиты также могут готовиться непосредственным растворением металлического алюминия (99,99%) в ароматическом углеводороде, например, в толуоле, при одновременном пропускании через раствор сухого бромистого водорода. Скорость пропускания HBr должна быть такой, чтобы температура раствора не превышала  $20^\circ C$ . Бромистый водород пропускают до тех пор, пока 95% всего металлического алюминия не растворится, на что требуется около 1,5 сут. Далее раствор декантируется, и газообразный HBr вновь медленно пропускается до достижения электропроводности раствора 0,3—0,4 См/м.

2. Составы алкилбензолных электролитов алюминирования (г/л) и режимы осаждения

Компоненты электролита и режим	№ электролита			
	1	2	3	4
$AlBr_3$	600	600	800	700
Силиконовый каучук	6,8	—	—	—
Жидкость ПЭС-5	—	2,5	—	21
KBr	—	—	—	2,5
$(C_2H_5)_4NBr$	—	—	0,5	—
$(C_2H_5)_4NJ$	—	До 1	—	—
Этилбензол—ксилол (1 : 1), л	—	—	До 1	—
Этилбензол—кумол (9 : 1), л	До 1	—	—	—
Ксилол о-, м-, п- изомеры (1 : 1 : 1), л	—	—	—	До 1
Этилбензол—толуол (1 : 1), л	—	—	—	—
$t, ^\circ C$	20—25	20—25	20—30	20—25
$i_k, A/дм^2$	1,25	1,5	0,5—1	1—2
Реверсирование, с	—	—	—	$\tau_k : \tau_a = 55 : 5$

После приготовления электролит имеет следующий состав (М):

AlBr <sub>3</sub> . . . . .	3,0—4,2
NBr <sub>4</sub> . . . . .	0,01—0,1
толуол или бромид толуола	до 1 л

Режим осаждения:  $i_k = 20 \pm 25^\circ \text{C}$ ;  $i_k = 3,5 \text{ А/дм}^2$ ;  $t =$

Алюмоорганические электролиты в качестве основного компонента содержат  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$  и имеют состав (М):

$\text{NaF} \cdot 2\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$	1
толуол . . . . .	3,4

Режим осаждения:  $i_k \sim 100^\circ \text{C}$ ;  $i_k = 1 \text{ А/дм}^2$ ;  $i_v = 0,5 \pm 0,8 \text{ А/л}$ ; ВТ = 90—100%; электропроводность ванны 0,15 См/м; напряжение на ванне 3—30 В.

Рекомендуется осаждение в импульсном режиме: частота импульсов 50 Гц, соотношение  $\tau_k/\tau_a = 5:1$ .

При работе с  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$  необходимо соблюдать осторожность, поскольку он легко реагирует с кислородом, приводя к воспламенению продуктов, его концентрированные растворы реагируют с водой со взрывом.

Соединение  $\text{NaF} \cdot 2\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$  готовится в инертной атмосфере путем нагревания стехиометрических количеств безводного NaF и  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$  при температуре  $120^\circ \text{C}$ . После охлаждения к полученной однородной жидкости добавляют толуол.

В полученном электролите возможно получить гладкие осадки толщиной до 0,5 мм. Твердость покрытий может быть повышена анодированием. Электролит чувствителен к влаге и кислороду.

Применение органических электролитов алуминирования требует использования герметичных электролитических ванн. Разработан целый ряд электролизеров такого типа, имеющих шлюзовые камеры и позволяющих вести непрерывное осаждение алюминия на проволоку, ленту и т. п. Кроме того, имеются ванны колокольного и барабанного типа, исключающие контакт электролита с окружающей атмосферой при загрузке и выгрузке деталей.

Материалами для изготовления корпусов ванн, а также насосов, фильтров, смесителей могут служить коррозионно-стойкая сталь, никель, фторопласт, в некоторых случаях — полиметилметакрилат.

### ЭЛЕКТРОСАЖДЕНИЕ БЕРИЛЛИЯ, МАГНИЯ, ГЕРМАНИЯ

Бериллиевые покрытия отличаются высокой коррозионной стойкостью при повышенных температурах. Металлические покрытия, содержащие 93—95% Be, получены из электролита, содержащего (М):

$(\text{CH}_3)_2\text{Be}$	3
$\text{BeCl}_2$	0,2—2,3
диэтиловый эфир . . . . .	до 1 л

Режим осаждения:  $i_k = 0,1 \pm 0,15 \text{ А/дм}^2$ ; напряжение на ванне 18—25 В.

Покрытия, содержащие 70% Be и 30% V, осаждаются из 6 М раствора  $\text{Be}(\text{BH}_2)_2$  в диэтиловом эфире при комнатной температуре и  $i_k = 0,6 \text{ А/дм}^2$ .

Сплав Be—Al, содержащий до 57% Be, может быть получен в растворе  $\text{Be}(\text{AlH}_2)_2$  и  $\text{BeCl}_2$  в диэтиловом эфире при комнатной температуре и  $i_k = 0,5 \text{ А/дм}^2$ .

Гладкие и пластичные осадки магния осаждаются из эфирных электролитов в присутствии декаборана. Раствор для осаждения получают взаимодействием металла лития с декабораном ( $\text{B}_{10}\text{H}_{12}$ ), растворенным в тетрагидрофуране. Раствор состоит из двух слоев: верхний слой после отделения и насыщения безводным  $\text{MgCl}_2$  используют для осаждения магния при  $i_k = 0,1 \pm 1,0 \text{ А/дм}^2$ , катодом и анодом выходе по току ~100%. Осадки магния содержат до 1% В.

Электролит работает при отсутствии влаги и может быть откорректирован добавлением насыщенного раствора  $\text{MgCl}_2$  в тетрагидрофуране.

Германий находят широкое применение в полупроводниковых приборах. Покрытия германия обладают высокой коррозионной стойкостью.

Металлические осадки германия получены в этиленгликоле, содержащем 10—100 г/л  $\text{GeI}_2$  при  $i_k = 2,5 \text{ А/дм}^2$  и  $t = 100 \pm 150^\circ \text{C}$ ; ВТ = ~45%.

Из пропиленгликолевых ванн, содержащих (об. доля, %) 7  $\text{GeCl}_4$ , можно получить покрытия толщиной до 120 мкм, при  $t = 60^\circ \text{C}$ ,  $i_k = 20 \pm 40 \text{ А/дм}^2$ , ВТ = ~0,8%. По сравнению с этиленгликолевыми электролитами пропиленгликолевые ванны

позволяют работать с графитовыми анодами и в меньшей степени поглощают влагу из атмосферы.

### ЭЛЕКТРОСАЖДЕНИЕ ТИТАНА, МОЛИБДЕНА, НИОБИЯ

Выделение этих металлов как из водных, так и неводных электролитов чрезвычайно затруднено. Осаждение их возможно только в виде тонких пленок <1 мкм или в виде сплавов с другими металлами, причем образующиеся пленки в большинстве своем представляют смесь окислов.

Из неводных сред пленки титана (0,02 мкм) могут быть получены из растворов  $\text{TiCl}_4$  в диметилсульфоксиде или его смеси с этиловым спиртом. Анализом установлено наличие пленки до 20% Ti. Пленки титана могут быть получены также восстановлением титаноорганического комплекса в электролите следующего состава (г/л):

титаноорганический комплекс (бисацетилацетиленат тетрагидроксида титана)	20—30
диэтиловый эфир, мл . . . . .	250—750
формамид, мл . . . . .	750—250
вода, мл . . . . .	15—20

Режим осаждения: температура комнатная;  $i_k = 0,001 \pm 0,002 \text{ А/дм}^2$ ; СП = 5—8 г/(м<sup>2</sup>·ч).

Пленки молибдена получены в формамидных растворах, содержащих до 5 г/л  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  в присутствии добавок сульфат-ионов при отношении  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 : \text{SO}_4^{2-} = 100 \pm 200$  и  $i_k = 0,017 \pm 0,08 \text{ А/дм}^2$ .

Осадки молибдена совместно с его окислами осаждаются также в формамидных растворах, имеющих следующий состав (г/л):

фосфоромолибденовая кислота	50
лимонная кислота . . . . .	5—10
$\text{H}_2\text{O}_2$ (30%), мл/л . . . . .	20
$\text{NH}_4\text{Cl}$ . . . . .	10
формамид, л . . . . .	до 1

Режим осаждения:  $i_k = 2 \pm 8 \text{ А/дм}^2$ ; температура комнатная. Для осаждения ниобия рекомендуется раствор следующего состава (г/л):

$\text{NbCl}_5$	10—15
сложный эфир уксусной кислоты	20—30
растворитель до 1 л:	
метанол, об. доля, % . . . . .	35—50
бензол, об. доля, % . . . . .	75—50

Режим осаждения:  $t = 40 \pm 50^\circ \text{C}$ ;  $i_k = 0,5 \pm 1,5 \text{ А/дм}^2$ .

### ЭЛЕКТРОСАЖДЕНИЕ МЕДИ, ЦИНКА, КАДМИЯ

Осаждение этих металлов из органических электролитов может иметь определенное значение с точки зрения получения покрытий с определенными физико-химическими свойствами. Кроме того, в некоторых случаях гальванические процессы в органических средах могут быть более технологичны, чем в водных.

Для электроосаждения меди используется большое число растворителей, таких, как пиридин, фурфурол, формамид, метанол, ацетон и др.

Составы органических электролитов медианы представлены в табл. 3.

Для электроосаждения цинка используют формамидные и диметилформамидные электролиты. Осаждение цинка проводилось с целью получения защитных покрытий на уране в растворе следующего состава (г/л):

7г $(\text{CH}_3\text{COO})_2$ . . . . .	200
$\text{CH}_3\text{COOK}$ . . . . .	250
формамид, л . . . . .	до 1

Режим осаждения:  $t = 25 \pm 45^\circ \text{C}$ ;  $i_k = 0,3 \pm 0,5 \text{ А/дм}^2$ ; процесс рекомендуется вести с реверсивным током:  $\tau_k = 20 \text{ с}$ ,  $\tau_a = 10 \text{ с}$ .

Цинк осаждается из водно-диметилформамидных растворов, имеющих следующий состав (г/л):

$\text{ZnCl}_2$ . . . . .	136—273
$\text{NH}_4\text{Cl}$ . . . . .	16—147
растворитель до 1 л:	
$\text{H}_2\text{SO}_4$ , об. доля, % . . . . .	10—60
$\text{F}_2\text{O}$ , об. доля, % . . . . .	50—40

Режим осаждения: pH 1,5—5;  $t = 20 \pm 60^\circ \text{C}$ ;  $i_k = 0,1 \pm 2,5 \text{ А/дм}^2$ .

3. Составы электролитов медианы (г/л) и режимы осаждения

Компоненты электролита и режим	№ электролита		
	1	2	3
Cu $(\text{CH}_3\text{COO})_2$	60	—	—
Cu $(\text{CF}_3\text{COO})_2$	—	200	—
$\text{CuCl}_2$	—	—	40
$\text{NH}_4\text{Cl}$	—	—	40
$\text{CH}_3\text{COONH}_4$ , мл	800	—	—
Пиридин, мл	200	До 1	—
Формамид, л	—	—	60
Диметилформамид (ДМФ), мл	—	—	До 1
Диметилсульфоксид, л	—	—	До 1
$t$ , °C	50—60	25	71—93
$i_k$ , А/дм <sup>2</sup>	0,55	3—16	0,2—2,4
ВТ, %	60	100	—

4. Составы электролитов кадмирования (М) в режиме осаждения

Компоненты электролита и режим	№ электролита		
	1	2	3
CrCl <sub>3</sub> (CrCl <sub>2</sub> ), Ni NH <sub>4</sub> Cl HClO <sub>4</sub> (ρ = 1,63 г/см <sup>3</sup> ) Пигментный лазориндлин Диметилформамид, л	0,2 6,4 — — До 1	1,17 — 0,3 — До 1	0,2 — — 0,8 До
t, °C	18—25	50—	15—25
i <sub>к</sub> , А/дм <sup>2</sup>	20—25	100	1
ВТ, %	70—90	100	100

Кадмий достаточно легко может быть выделен из многих органических растворителей, так как имеет высокий положительный потенциал. Составы электролитов кадмирования приведены в табл. 4.

В электролите № 1 могут быть получены качественные осадки толщиной 120 мкм. Наводороживание стали У8А при кадмировании в электролите № 3 в 7 раз ниже, чем в стандартном водном цианистом электролите. Рассеивающая способность электролита № 3 по Хернунгу составляют около 70 %.

**ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ ХРОМА**

Электроосаждение хромовых покрытий из органических растворителей представляет значительный интерес

в связи с возможностью повышения выхода по току, улучшения физико-химических свойств осадков и снижения наводороживания основы. В этой связи большое внимание уделяется электролитам хромирования на основе солей трехвалентного хрома в диметилформамиде (ДФМ), так как они нетоксичны и в перспективе более экономичны и технологичны по сравнению с электролитами, содержащими соли шестивалентного хрома. Эти электролиты не являются чисто органическими, поскольку содержат до 50 % воды, что снижает их пожароопасность. В состав электролита также входят для стабилизации NiCl<sub>2</sub>, NaCl и H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub>. Для устранения вредного влияния на электролит выделяющийся на аноде хлор рекомендуется разделение анодного и катодного пространства пористыми диафрагмами. Анолитом служит водный раствор ацетата натрия или аммония, аноды — графитовые.

Электролиты работают при комнатной температуре, скорость осаждения хрома в 6 раз выше по сравнению со стандартными электролитами на основе шестивалентного хрома. Составы электролитов хромирования на основе трехвалентного хрома приведены в табл. 5.

Эти электролиты предназначены для осаждения блестящих декоративных хромовых покрытий толщиной 1—5 мкм.

Электролиты на основе трехвалентного хрома могут быть использованы для осаждения сплавов Cr—Ni и

Cr—Fe. Сплав Cr—Ni с содержанием хрома до 70 % можно получить из электролита следующего состава:

(М):

CrCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	1,0
NiCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0,25
NH <sub>4</sub> Cl	0,75
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>	0,16
растворитель до 1 л:	
CH <sub>3</sub> OH, об. доля, %	25
ДФМ, об. доля, %	37,5
H <sub>2</sub> O, об. доля, %	37,5

Режим осаждения: t = 70—75 °C; i<sub>к</sub> = 100—150 А/дм<sup>2</sup>.

Из указанного электролита могут быть получены покрытия толщиной до 35 мкм. Повышение концентрации метанола в растворе способствует увеличению содержания никеля в осадке, и, наоборот, при увеличении концентрации ДФМ возрастает в осадке содержание хрома. Осаждаемые покрытия являются неоднородными по своему составу.

Для осаждения сплава Cr—Fe рекомендуется следующий состав электролита (М):

CrCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	1,4
FeCl <sub>3</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0,25—0,5
NH <sub>4</sub> Cl	1,0
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>	0,67
растворитель до 1 л:	
ДФМ, об. доля, %	40
H <sub>2</sub> O, об. доля, %	60

Режим осаждения: pH 1,4—2,4; t = 20—40 °C; i<sub>к</sub> = 2—50 А/дм<sup>2</sup>; рекомендуется перемешивание.

Содержание хрома в сплаве меняется от 18 до 57 % в зависимости от плотности тока и концентрации железа в растворе, выход по току 21—46 %.

До толщины 5 мкм осадки получаются блестящими, а при большей толщине становятся матовыми.

**ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ ЖЕЛЕЗА, КОБАЛЬТА, НИКЕЛЯ**

Сведения об электроосаждении железных и кобальтовых покрытий относятся к основному к изучению механизма этих процессов, в то время как данные о получении качественных осадков весьма ограничены. Лишь осаждению блестящих никелевых покрытий уделяется достаточно внимания.

Блестящие осадки железа могут быть получены при 25 °C и плотности тока 0,5—10 А/дм<sup>2</sup> в растворе третианол-аммина, содержащем FeSO<sub>4</sub> и NaOH.

Для осаждения кобальта рекомендуется электролит следующего состава (г/л):

Co(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	100—350
HClO <sub>4</sub> (ρ = 1,63 г/см <sup>3</sup> )	160—560
ацетон	до 1 л

Режим осаждения: t = 10—40 °C; i<sub>к</sub> = 1,0—2,5 А/дм<sup>2</sup>; ВТ = 70—100 %.

В качестве растворителей для электроосаждения никеля используется уксусная кислота, ацетон, этиленгликоль, метанол. Составы органических электролитов никелирования представлены в табл. 6.

В этих электролитах осаждаются блестящие осадки никеля. Электролит № 1 обладает тем достоинством, что никелевые аноды в нем растворяются равномерно, без образования шлама.

5. Составы электролитов хромирования (М) и режимы осаждения

Компоненты электролита и режим	№ электролита			
	1	2	3	4
CrCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0,93	—	0,8	1,4
Cr(OH) <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub> ·Cl	—	1,0	—	—
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>	0,15	0,13	0,75	0,15
MgCl <sub>2</sub>	0,2	—	—	—
NH <sub>4</sub> Cl	1,0	0,93	1,5	1—1,5
NaCl	—	1	—	0,8
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	—	—	0,75	—
Цетилтриметиламмоний бромидный, г/л	—	—	—	0,01
Диметилформамид, об. доля, %	40	50	19—25	56
pH	1,2—1,4	1—2	1,6—1,0	1,1
t, °C	20	15—30	25	25
i <sub>к</sub> , А/дм <sup>2</sup>	10—20	1—20	0,5—100	20
ВТ, %	35	50	40	40

6. Составы электролитов никелирования (Г/л) и режимы осаждения

Компоненты электролита и режим	№ электролита				
	1	2	3	4	5
NiCl <sub>2</sub>	310	—	—	—	—
Ni(CF <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	—	500	80—100	—	—
Ni(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	—	—	—	200	200
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>	30	—	—	—	—
NH <sub>4</sub> Br	—	50	—	—	До 1
Ацетон, л	—	—	—	—	—
Этиленгликоль, л	До 1	—	—	—	—
Метанол, л	—	До 1	—	—	—
Формамид, л	—	—	До 1	—	—
Уксусная кислота, л	—	—	—	До 1	—
t, °C	155	50	60	20	15
pH	2,5—3,5	—	—	—	—
i <sub>к</sub> , А/дм <sup>2</sup>	2—10	6—22	0,5—2	0,1—3,0	0,15—2,0
ВТ, %	100	100	90	85—90	90

**КОНТАКТНЫЕ ПОКРЫТИЯ**

Использование органических растворителей дает новые возможности для контактного осаждения металлов и сплавов, особенно на такие активные металлы, как алюминий и магний. Основным затруднением при нанесении покрытий на эти металлы является наличие на их поверхности пленки окислов, препятствующих качественному сцеплению покрытия с основой. Использование неводной среды позволяет исключить дополнительную операцию — цинкатуру обработку и добиться высокой адгезии покрытия к основе.

Нанесение контактного покрытия сплавом In—Sn на магний, алюминий и их сплавы производится из безводного ацетамида, содержащего (М):

InCl <sub>3</sub> , безводный . . . . .	0,1—0,45
SnCl <sub>4</sub> , безводный . . . . .	0,1—0,45
ацетамид . . . . .	до 1

Режим осаждения:  $t = -148 \pm 155^\circ\text{C}$ ; за 1,5—2 мин на алюминий осаждается 8—15 мкм, на магний

40—70 мкм сплава, содержащего 12—18 % Sn.

Электролит готовится простым растворением обезвоженных хлоридов свинца и олова в ацетамиде при 90—95° С.

Контактное меднение алюминия производится в растворе следующего состава (г/л):

CuCl <sub>2</sub> . . . . .	16—20
HCl ( $\rho = 1,116 \text{ г/см}^3$ ) . . . . .	190—245
2-замещенные перимидина . . . . .	0,1—0,2
H <sub>2</sub> O . . . . .	100—200
триметилфосфат . . . . .	до 1 г

Режим осаждения: температура комнатная; за время контакта 18—30 мин осаждается покрытие толщиной 7—10 мкм.

Для контактного осаждения титана на сталь предложен раствор следующего состава (мл):

TiCl <sub>3</sub> (3 н. водный раствор) . . . . .	150—200
метанол . . . . .	800—850
бензилдиазола производные, г.ч. . . . .	0,1—0,2

Режим осаждения: температура комнатная; за время контакта 20—30 мин осаждается покрытие толщиной 5—7 мкм.

**Глава 17.**

**НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ**

К неметаллическим неорганическим покрытиям, состоящим из неорганических соединений металлов, относятся фосфатные, оксидные, хроматные и другие покрытия. Обозначение их проводится в соответствии с ГОСТ 9.073—77\*.

**ФОСФАТИРОВАНИЕ**

Химическому фосфатированию могут подвергаться углеродистые, низколегированные и среднелегированные стали, чугун, алюминиевые и магниевые сплавы, цинковые и кадмиевые покрытия и др.

Сущность химического фосфатирования состоит в обработке металлов и сплавов в подкисленных растворах однозамещенных фосфатов или монофосфатов Fe, Mn, Zn, Ba, Ca и др.

Процесс химического фосфатирования обусловлен гидролизом однозамещенных фосфатов металлов, в результате чего устанавливается равновесие между одно-, двух-, трехзамещенными фосфатами металлов и H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

Образующаяся при этом свободная H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> в процессе фосфатирования взаимодействует с основным металлом, в результате чего образуются труднорастворимые двух- и трехзамещенные фосфаты, являющиеся основной составляющей частью фосфатных пленок.

На качество фосфатных пленок оказывают влияние общая (K<sub>0</sub>) и свободная (K<sub>c</sub>) кислотности фосфатирующего раствора, состав его, подготовка поверхности металла и технологические параметры (температура фосфатирующего раствора, время обработки).

Общая и свободная кислотности фосфатирующего раствора выражаются числом точек, т. е. количеством миллилитров 0,1 н. раствора NaOH, затраченного на титрование 10 мл фосфатирующего раствора. Для определения

общей кислотности раствора титрование производится в присутствии фенолфталеина, а свободной кислотности — в присутствии метилового оранжевого (см. гл. 18).

На состав фосфатных пленок большое влияние оказывает вид катионов фосфатирующего раствора (табл. 1).

Для ускорения процесса фосфатирования в раствор вводят окислители, например NaNO<sub>3</sub>, NaNO<sub>2</sub>, Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, KBrO<sub>3</sub>, KClO, в результате чего увеличивается скорость катодного процесса.

Возрастание скорости катодного процесса в присутствии NO<sub>3</sub> вызывает увеличение скорости процесса пленкообразования и значительно уменьшает время формирования фосфатной пленки. Кроме того, в присутствии окислителей катионы Fe<sup>2+</sup> окисляются до Fe<sup>3+</sup>, которые с анионами PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

1. Влияние вида катионов на фазовый состав фосфатных пленок

Катион	Фазовый состав пленок на	
	сталь	цинк
Mn <sup>2+</sup>	$(Mn)_2Fe_2(PO_4)_4 \times 4H_2O$	$Zn_2(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ $Mn_2H_2(PO_4)_2 \times 4H_2O$
Zn <sup>2+</sup>	$Zn_2(PO_4)_2 \times 3H_2O$ $Zn_2Fe(PO_4)_2 \times 4H_2O$	$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 11H_2O$
Ca <sup>2+</sup>	$CaH_2PO_4 \times 2H_2O$ $CaHPO_4$	$Zn_2Ca_2(PO_4)_4 \times 2H_2O$ $CaH_2PO_4 \cdot 1H_2O$ $CaH_2PCl_4$
Fe <sup>2+</sup>	$Fe_2H_2(PO_4)_2 \times 4H_2O$	$Zn_2(PO_4)_2 \cdot 11H_2O$ $Zn_2Fe(PO_4)_2 \times 4H_2O$ $Fe_2H_2(PO_4)_2 \times 4H_2O$
Na <sup>+</sup>	$Fe_2(PO_4)_3 \times 8H_2O$	$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 11H_2O$

образуют  $FePO_4$ . Фосфат железа не окисляется кислородом воздуха, поэтому фосфатные пленки обладают более высокими защитными свойствами.

На качество фосфатных пленок большое влияние оказывает подготовка поверхности металла. Крупнокристаллические фосфатные пленки обычно образуются после травления в кислотах  $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $H_3PO_4$ . Эти пленки имеют также и низкие защитные свойства. Так, после травления в 3 %-ном растворе  $H_2SO_4$  образуются крупнокристаллические пленки с низкими защитными свойствами: при полном погружении в 3 %-ный раствор  $NaCl$  коррозия стали появляется через 20 ч.

Пескоструйная очистка обеспечивает получение мелкокристаллической пленки с высокими защитными свойствами: время до начала коррозии стали составляет 60—90 ч. Обработка после травления в растворе  $Na_2CO_3$  (3—5 %-ном) или в растворе  $NaHCO_3$  (5—10 %-ном) с добавкой твердого мыла (1—2 %-ного) улучшает качество фосфатной пленки.

Фосфатные пленки помимо повышенной коррозионной стойкости обладают еще целым рядом ценных свойств: адгезионной способностью, маслоемкостью, электроизоляционными и антифрикционными свойствами.

Фосфатные пленки повышают адгезию лакокрасочных покрытий, что определяется по их поведению в коррозионной среде или при механических испытаниях (удар, изгиб и т. п.).

Влияние предварительной обработки на адгезию лакового покрытия характеризуется усилием отрыва покрытия (МПа):

зачистка шлифовальной шкуркой	0,7—1,0
пескоструйная обработка	1,0—1,2
фосфатирование	2,7—2,9

Высокая прочность сцепления лакокрасочного покрытия с фосфатной пленкой и повышение их защитных свойств связаны со структурой фосфатных покрытий. Связь между фосфатной пленкой и основным металлом осуществляется через тетраэдрический фосфат-анион, один из углов которого — кислород — является общим для обеих фаз.

Структура фосфатной пленки определяется ее пористостью, маслоемкостью и антифрикционными свойствами.

Под маслоемкостью ( $mg/m^2$ ) понимают степень поглощения фосфатной пленкой наносимого на нее масла. Фосфатная пленка увеличивает степень поглощения масла примерно в 2 раза. Промасливание фосфатной пленки повышает ее защитные свойства: если на нефосфатированной стали в коррозионной камере (разбрызгивание 3 %-ного раствора хлорида натрия) обнаруживается коррозия через 0,1 ч, то на фосфатированной и промасленной — через 40—48 ч.

Наличие на поверхности основного металла фосфатных пленок, наполненных маслом или парафином, резко снижает коэффициент трения. При испытании нефосфатированной, подвергнутой шлифованию стали при напряжении 0,047 МПа схватывание наступает сразу, в то время как фосфатированная сталь в паре с такой же сталью без смазывания удовлетворительно работает в течение 95 мин. При смазывании фосфатированной стали парафином схватывание происходит не раньше чем через 50 ч. В этих условиях коэффициент трения для фосфатированной стали со смазкой много меньше, чем хромированной.

Фосфатные пленки обладают диэлектрическими свойствами, что позволяет использовать фосфатирование для получения электроизоляционного покрытия на деталях трансформаторов, генераторов и т. п. Пропитка фосфатных пленок масляными и бакелитовыми лаками значительно повышает пробивное напряжение.

Фосфатные пленки не смачиваются расплавленными металлами (Sn, Pb и др.).

В настоящее время процесс фосфатирования проводится в стационарных ваннах (окунаемых) или в струйных камерах (распыляемом).

Фосфатирование в растворе соли Мажеф. Для фосфатирования стальных деталей низкой и средней прочности ( $\sigma_B < 1400$  МПа) широко используется раствор соли Мажеф. Последними компонентами для составления раствора является монофосфат марганца и железа (II), который называется препаратом Мажеф и имеет следующий состав (%):

Fe	2,4—2,5
Mn	$\geq 14$
фосфаты (в пересчете на $P_2O_5$ )	46—52
$SO_4^{2-}$ , Cl и CaO	$\leq 0,05$ —0,07

Наиболее совершенные по защитным свойствам фосфатные пленки образуются за 80—90 мин в растворе, содержащем 30—33 г/л препарата Мажеф при температуре 96—98 °C.

Для получения качественных фосфатных пленок сбыва кислотность раствора должна составлять 28—30 точек, а свободная 3—4 точки. Повышение свободной кислотности фосфатирующего раствора удлиняет процесс фосфатирования и снижает защитные свойства фосфатной пленки, а понижение свободной кислотности способствует образованию тонких фосфатных пленок с низкими защитными свойствами. Оптимальное соотношение  $K_0 : K_c = 7 : 1$ — $8 : 1$ .

Понижение температуры удлиняет процесс образования фосфатных пленок. При этом образуются крупнокристаллические пленки с низкими защитными свойствами.

Продолжительность процесса фосфатирования ограничивается временем, в течение которого прекращается выделение водорода, и дополнительной выдержкой в течение ~10 мин.

Для приготовления раствора соли Мажеф рассчитанное количество препарата Мажеф загружают в ванну с водой, доводят раствор до кипения, после чего выключают обогрев и дают осесть осадку. Затем доводят температуру раствора до 96—98 °C и загружают стальные детали в ванну.

В слое, непосредственно прилегающем к стали, содержится двух- и трехзамещенных фосфатов железа (II) максимально. По мере удаления от стали увеличивается содержание труднорастворимых фосфатов марганца. Содержание в пленке фосфатов марганца почти в 2,5 раза выше, чем фосфатов железа (II).

С увеличением времени эксплуатации раствора соли Мажеф в нем накапливаются катионы  $Fe(II)^+$ , усиливающие шламообразование. Ввиду этого за сравнительно короткий срок раствор соли Мажеф приходится в негодность и требует замены.

Толщина фосфатной пленки, образующейся в растворе соли Мажеф,

может достигать 7—50 мкм. Фосфатные пленки имеют большую прочность сцепления со сталью; микропористую структуру (она хорошо впитывает и прочно удерживает лаки, краски, смазочные материалы); обладает высокими электроизоляционными свойствами (пробивное напряжение достигает 1000 В). Жаростойкость и электроизоляционные свойства фосфатных пленок сохраняются до ~500 °C.

После нагревания при ~350 °C фосфатная пленка теряет часть кристаллизационной воды, в результате чего ее структура изменяется и защитные свойства снижаются в 2—3 раза.

Наряду с положительными свойствами процесс фосфатирования в растворе соли Мажеф имеет и недостатки, которые ограничивают области его применения: в процессе фосфатирования происходит сильное выделение водорода, поэтому вследствие образования газовых мешков ванна непригодна для фосфатирования деталей сложной конфигурации; при фосфатировании происходит наводороживание и связанное с этим уменьшение пластичности и длительной прочности, особенно высокопрочных сталей.

При фосфатировании высокопрочных сталей обнаруживается коррозионное растрескивание в области упругих растягивающих напряжений.

Для ускорения процесса фосфатирования, уменьшения выделения водорода и окисления  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$  в растворе соли Мажеф вводят окислители  $Zn(NO_3)_2$  и др. При этом состав фосфатных пленок изменяется (табл. 2).

При фосфатировании в растворе соли Мажеф с увеличением концентрации  $Zn(NO_3)_2$  содержание железа (III) и цинка увеличивается, а содержание марганца и железа (II) уменьшается. Ускоренное фосфатирование стали рекомендуется производить в растворах, приведенных в табл. 3.

Образующиеся в растворе № 1 фосфатные пленки имеют высокие защитные свойства: время появления коррозии стали в 3 %-ном растворе  $HCl$  составляет ~30 ч.

Введение в раствор № 2 эмульгатора ОП-7 или ОП-10 способствует обезжириванию стальных деталей.

Электроизоляционная пленка, имеющая серый цвет и сопротивление в

## 2. Влияние концентрации (г/л) нитрата цинка на состав фосфатной пленки

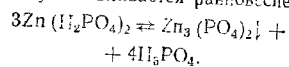
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , г/л	Состав фосфатной пленки, %					
	Zn <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	H <sub>2</sub> O
0	—	36,28	3,97	0,26	48,4	10,96
20	33,52	7,39	2,24	1,18	44,12	11,51
40	35,42	5,84	1,43	1,37	43,28	12,48
60	38,36	4,02	0,92	1,76	41,45	13,36
80	40,08	2,64	0,61	2,05	40,73	13,82
100	40,09	2,16	0,16	2,13	40,54	14,0

менее 2 МОм, образуется в растворе следующего состава (г/л):

препарат Маеф	35—45
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	45—55

Режим обработки:  $t = 90 \pm 98^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 15 \pm 20$  мин.

Фосфатирование в цинк-фосфатном растворе. В растворе монофосфата цинка устанавливается равновесие



При обработке в растворе монофосфата цинка сталь взаимодействует со свободной ортофосфорной кислотой с образованием растворимого монофосфата железа (II), в результате чего равновесие смещается в сторону образования труднорастворимого трехзамещенного фосфата цинка.

Для ускорения процесса фосфатирования в раствор монофосфата цинка вводят нитраты, которые участвуют в катодной реакции и окисляют катионы Fe<sup>2+</sup> до Fe<sup>3+</sup>. Благодаря этому в фосфатирующем растворе концентрации монофосфатов железа (II) миним-

## 3. Составы растворов (г/л) для ускоренного фосфатирования стали и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора		
	1	2	3
Препарат Маеф	30—40	30—40	30—40
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	50—60	50—70	50—70
NaNO <sub>2</sub>	—	—	4—5
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	—	—	0,1—1,0
Эмульгатор ОП-7 (ОП-10)	—	20—30	—
$t, ^\circ\text{C}$	96—98	65—80	92—96
$\tau$ , мин	10—15	20—30	8—10

мальна. Производство растворимости для двух- и трехзамещенных фосфатов железа (II) во много раз больше, чем для трехзамещенного фосфата цинка. Поэтому в первую очередь на поверхности стали образуются фосфатные пленки, основной составляющей частью которых является трехзамещенный фосфат цинка.

Для обеспечения высоких защитных свойств фосфатных пленок применяют цинк-фосфатный раствор, содержащий (г/л):

Zn(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	33—35
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	50—55
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	13—14

Режим обработки:  $t = 92 \pm 98^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 10 \pm 15$  мин.

Общая кислотность должна составлять 60—80 тонок, а свободная — в 5 раз меньше. Недостаток свободной H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> вызывает усиление шламообразования и снижает защитные свойства фосфатных пленок. Избыток свободной H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> снижает скорость роста фосфатной пленки и приводит к образованию рыхлая пленки. При недостатке свободной H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> ее добавляют в ванну, а при избытке — ZnCO<sub>3</sub>. Фосфатирование при температуре кипения раствора не рекомендуется, так как в растворе взмучивается осадок, находящийся на дне ванны, колорный, осев на поверхность стальных деталей, нарушает сплошность фосфатного слоя.

В производственной практике для составления цинк-фосфатного раствора применяется следующий способ. Предварительно в отдельной посуде приготавливают концентрат А следующего состава (г):

Zn(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	370—380
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	550—560
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	140—150
H <sub>2</sub> O	490—500

Плотность такого раствора составляет 1,56 г/см<sup>3</sup>. Цинк-фосфатный раствор составляют из расчета: 9 частей по объему (или 14 частей по массе) концентрата А растворяют в 91 части по объему воды. При составлении ванны рекомендуется применять конденсат и водопроводную воду с невысокой жесткостью.

При общей кислотности цинк-фосфатного раствора ниже 60 тонок производится корректировка концентратом Б, который имеет следующий состав (г):

Zn(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	460—470
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	470—480
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	210—220
H <sub>2</sub> O	520—530

Корректировка цинк-фосфатного раствора заключается в том, что на каждую недостающую точку на 100 л раствора добавляют 108 мл или 177 г концентрата Б.

Химический анализ пленки, образующейся при фосфатировании стали в цинк-фосфатной ванне при температуре 92—98 °С, показывает, что пленка состоит из Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O (голен) и Zn<sub>2</sub>Fe(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O (фосфоциант). Соотношение содержания фосфата цинка к фосфату железа составляет более 20. Увеличение концентрации фосфатов железа (II) вызывает рост размеров кристаллов фосфатной пленки и уменьшение ее защитных свойств.

Одновременно с образованием фосфатной пленки у поверхности стали на наружной стороне пленки наблюдается ее растворение. Это приводит к тому, что рыхлая наружных слоев фосфатной пленки больше, чем внутренних.

Основная масса пленки образуется в течение первых нескольких минут, после чего скорость роста пленки уменьшается и, начиная с 15 мин, становится малозаметной. Рост фосфатной пленки прекращается, когда скорость ее образования становится равной скорости ее растворения на наружной стороне.

С повышением свободной кислотности скорость растворения фосфатной пленки увеличивается, в результате чего скорость роста уменьшается, пленка становится рыхлая, что снижает ее защитные свойства. При уменьшении свободной кислотности усили-

вается шламообразование и защитные свойства фосфатной пленки понижаются.

На качество фосфатных пленок большое влияние оказывает температура фосфатирующего раствора. С повышением температуры раствора от 70 до 98 °С толщина фосфатной пленки увеличивается в ~1,4 раза.

Большое содержание легирующих элементов в стали, например Cr, Si, Ni, затрудняет образование фосфатных пленок. Сталь, содержащая большое количество Cr, не взаимодействует со свободной H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, и на них при химическом фосфатировании не образуются пленки.

Наличие As в фосфатирующем растворе более 0,05 % приводит к прекращению процесса фосфатирования. Соли алюминия и кальция способствуют образованию белых пятен в результате включения в фосфатную пленку труднорастворимых двух- и трехзамещенных фосфатов этих металлов.

При фосфатировании пескоструенных стальных деталей в цинк-фосфатной ванне при 92—98 °С в течение 10—15 мин образуется мелкокристаллическая фосфатная пленка толщиной около 8 мкм с удовлетворительными свойствами: при неполном погружении в водопроводную воду коррозия стали наступает примерно через 4 сут.

В табл. 6 приведены составы некоторых растворов на основе монофосфата цинка.

В настоящее время в нашей стране изготавливаются фосфатирующие концентраты на основе монофосфата цинка. Марки фосфатирующих концентратов, их назначение и способ обработки ими деталей приведены в табл. 5.

В табл. 6 приведены основные параметры технологического процесса фосфатирования с использованием фосфатирующих концентратов.

Корректировка фосфатирующего раствора на основе КФ-1 производится введением 200 г концентрата КФ-1 на 100 л раствора на каждую недостающую точку; при использовании фосфатирующего раствора на основе КФ-3 корректировка производится также концентратом КФ-1.

Корректировка фосфатирующего раствора на основе КФЭ-1 производится концентратом КФЭ-2 из расчета:



## 4. Составы цинк-фосфатных растворов (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора			
	1	2	3	4
Zn(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	30—40	—	30—40	—
ZnO	—	—	—	4—12
Zn (порошок)	—	5—8	—	—
Fe (стружка)	5	—	—	—
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	—	—	—	—
NaNO <sub>3</sub>	70—80	—	—	—
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	—	30—40	3—8	1—8
HNO <sub>3</sub>	—	—	—	12—20
NaF	2,5—3,0	—	—	—
KCl	—	1—3	—	—
KBr	—	—	8—10	—
CH <sub>3</sub> COOH	—	—	—	—
NaOH	—	—	3—4	—
K <sub>0</sub> , число точек	28—32	—	pH ~3	20—27
K <sub>c</sub> , число точек	2,5—3	—	—	1—6
t, °C	80—85	50—60	~40	50—65
τ, мин	4—6	15—20	5—10	7—10

на каждую недостающую точку на 100 л раствора добавляют 150 г КФЭ-2. При корректировке фосфатирующего раствора на основе КФЭ-3

## 5. Концентраты для фосфатирования стали

Марка концентрата, ТУ, ГОСТ	Назначение	Способ обработки	Масса фосфатного слоя*, мг/дм <sup>2</sup>	Размер кристалла, мкм
КФ-1, ТУ 6-25-4—77	Фосфатирование стале перед нанесением ЛКМ	Распыление	1,3—3,0	15—35
КФ-3, ТУ 6-08-375—77	То же	Окунание	3,0—6,0	15—35
КФЭ-1, ГОСТ 6-25-79	Фосфатирование проволоки и труб перед вытяжкой	То же	27—29	30—60
КФЭ-3, ГОСТ 6-25-31—77	Фосфатирование стале перед штамповкой (экструзионное фосфатирование с последующим промыванием)	То же	16—15	25—40

\* Здесь и далее следует понимать массу пленки, приходящуюся на единицу поверхности.

вводится 170 г концентрата КФЭ-3 на 100 л раствора на каждую недостающую точку.

Струйное фосфатирование может производиться в растворе следующего состава (г/л):

ZnO	23—25
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	25—30
HNO <sub>3</sub>	35—45
NaNO <sub>3</sub>	0,5—1,0
NaClO	0,3—0,5

Режим обработки: t = 25+30 °C; pH 2,5—2,7; τ = 3+5 мин; давление 0,3 МПа.

В состав фосфатных пленок входит кристаллизационная вода Zn<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O и Zn<sub>2</sub>Fe(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, что делает эти покрытия чувствительными к нагреву. При температуре до 150 °C отщепления кристаллизационной воды не происходит. При 200—220 °C происходит отщепление двух молекул кристаллизационной воды, в результате чего защитные свойства фосфатных пленок уменьшаются. При более высокой температуре отщепляется вся кристаллизационная вода.

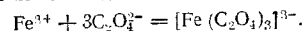
При фосфатировании в цинк-фосфатной ванне механические свойства высокопрочных сталей (30ХГСН2А и др.) не изменяются. Эти стали при фосфатировании не обнаруживают коррозионного растрескивания.

Раствор оксалатного фосфатирования. Наличие на поверхности стальных деталей даже небольшого коли-

## 6. Параметры технологического процесса фосфатирования

Марка концентрата	С концентрата, л/л	K <sub>0</sub>	K <sub>c</sub>	NaNO <sub>3</sub> , г/л	t, °C	τ, мин
		число точек				
КФ-1	25—30	10—14	0,5—0,8	0,1—0,15	50—55	1,5—2,0
КФ-3	55—40	16—18	2,5—3,0	0,15—0,2	70—75	5
	70—75	20—25	0,8—1,1	—	50—55	3—5
	70—75	20—25	0,8—1,1	—	50—55	3—5
КФЭ-1	15—40	48—50	9—17	—	90—95	8—10
КФЭ-3	35—45	19—21	1,9—2,5	0,2	55—65	10—15

чества свежесформованных продуктов коррозии затрудняет образование качественных пленок в цинк-фосфатной ванне. Один из путей снятия свежесформованных продуктов коррозии стали в процессе фосфатирования — введение оксалат-анионов C<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>, которые с трехзарядными катионами Fe(III) образуют растворимые комплексные соединения:



Однако при введении большого количества анионов C<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup> катионы цинка образуют труднорастворимый оксалат цинка ZnC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (произведение растворимости оксалата цинка составляет 1,6·10<sup>-8</sup>), и концентрация монофосфата цинка уменьшается. Поэтому в цинк-фосфатный раствор вводят оксалат цинка с избытком, который также способствует растворению свежесформованных продуктов коррозии стали.

Раствор оксалатного фосфатирования имеет следующий состав (г/л):

Zn(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	33—35
NaNO <sub>3</sub>	50—55
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	14—15
ZnC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	избыток

Режим обработки: t = 92+98 °C; τ = 15+30 мин.

Общая кислотность фосфатирующего раствора составляет 70—80 точек.

Оксалатом цинка насыщают фосфатирующий раствор и дополнительно вводят его в мешочках из капроновой ткани. По мере расходования оксалат цинка поступает из мешочков в фосфатирующий раствор.

В растворе оксалатного фосфатирования при температуре 92—98 °C в течение 15—30 мин удаляется свежесформованная ржавчина, а поверхность стальных деталей покрывается мелкокристаллической фосфатной пленкой с удовлетворительными защитными свойствами: коррозия стали в водопроводной воде при неполном погружении обнаруживается через 3 сут. В 1 л раствора оксалатного фосфатирования до корректировки можно обработать 0,3 м<sup>2</sup>. Корректировка фосфатирующего раствора производится концентратом Б.

Холодное фосфатирование. Для фосфатирования окескоструенных сталей при комнатной температуре целесообразно применять раствор следующего состава при общей кислотности его 75—95 точек (г/л):

Zn(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	60—75
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	75—100
NaNO <sub>3</sub>	0,2—1,0

О влиянии времени обработки стали на массу и защитные свойства фосфатных пленок, образующихся в указанном растворе при комнатной температуре, можно судить по данным табл. 7. Наиболее качественные фосфатные пленки образуются при фосфатировании стали в течение 30—60 мин.

Активаторами процесса холодного фосфатирования являются анионы фтора.

Холодное фосфатирование стали может производиться в растворах на основе препарата Мажеф и монофосфата цинка (табл. 8), а также в растворе

## 7. Влияние времени обработки на массу и защитные свойства фосфатных пленок

Время обработки, мин	Масса пленки, г/дм <sup>2</sup>	Время появления коррозии при неполном погружении в воду, ч
5	4,9	3
10	7,4	12
15	8,1	22
20	9,0	24
30	8,5	32
60	8,0	32

для струйного фосфатирования (см. с. 52) в течение 20—30 мин.

При приготовлении раствора № 2 сначала растворяют в воде препарат Мажеф, досыпают раствор до кипения, складывают и после отстаивания растворяют нитрат цинка. Фторид натрия предварительно растворяют в небольшом количестве кипящей воды и затем вводят в ванну фосфатирования.

**Оксидное фосфатирование.** Для получения мелкокристаллической фосфатной пленки на шлифованной и полированной поверхности применяют растворы  $H_2PO_4$  или монофосфатов металлов с добавками нитрата Ва, Sr, Са.

## 8. Составы растворов для холодного фосфатирования (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора			
	1	2	3	4
Zn( $H_2PO_4$ ) <sub>2</sub> Zr( $NO_3$ ) <sub>2</sub>	60—70 70 100	— 35—36 —	100 — —	— — —
Препарат Мажеф NaNO <sub>2</sub>	0,5— 1,0	— —	2 —	1—2 —
NaF H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ZnO HNO <sub>3</sub> NaClO	— — — — —	3—10 — — — —	6 — — — —	— — 80—85 18—21 —
K <sub>1</sub> , число точек	3—6	60—70	75— 81	911 3,7— 3,2
t, мин	15—25	1	30— 40	15—20

Обработку стальных деталей со шлифованными или полированными поверхностями ведут в растворе следующего состава (г/л):

Ва ( $NO_3$ ) <sub>2</sub> . . . . .	30—40
Zn ( $NO_3$ ) <sub>2</sub> . . . . .	20—10
Zn ( $H_2PO_4$ ) <sub>2</sub> . . . . .	8—12

При повышенных температурах в этом растворе образуются гладкие блестящие фосфатные пленки от темно-серого до черного цвета. На стальных с мартенситной структурой образуются блестящие черные пленки.

Оптимальные параметры технологического процесса оксидного фосфатирования:  $t = 80 \pm 85^\circ C$ ;  $\tau = 5 \pm 10$  мин. Образующиеся при этом фосфатные пленки имеют высокие защитные свойства: при неполном погружении в водопроводную воду коррозия стали появляется через 9—12 сут.

Толщина фосфатной пленки, образующейся при  $85^\circ C$  в течение 10 мин, составляет ~6 мкм. Для стальных деталей с жесткими допусками оксидное фосфатирование разрешается проводить при  $73 \pm 78^\circ C$  в течение 3—5 мин. При этом образуется мелкокристаллическая пленка с удовлетворительными защитными свойствами: при испытании в водопроводной воде (неполное погружение) коррозия стали наступает через ~6 сут.

Пленка, образующаяся в растворе оксидного фосфатирования при указанных режимах, состоит в основном из труднорастворимого двухзамещенного фосфата бария. Эта пленка имеет высокую термостойкость.

Рекомендуется фосфатирующий раствор следующего состава (г/л):

H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> . . . . .	4—5
Ва ( $NO_3$ ) <sub>2</sub> . . . . .	80—100
MnO <sub>2</sub> . . . . .	10—15

Режим обработки:  $t = 98 \pm 100^\circ C$ ;  $\tau = 30$  мин.

При обработке в указанном растворе на полированной поверхности стальных изделий образуется блестящая черная пленка.

Для чугунных деталей применяется раствор следующего состава (г/л):

H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> . . . . .	0,5—2,5
Ва ( $NO_3$ ) <sub>2</sub> . . . . .	80—100
MnO <sub>2</sub> . . . . .	11,8—1,2

Режим обработки:  $K_1 = 0,5 \pm 2,0$  точек;  $t = 94 \pm 98^\circ C$ ;  $\tau = 40 \pm 60$  мин.

**Универсальный раствор для фосфатирования.** Такой раствор позволяет получать мелкокристаллические фосфатные пленки на шлифованных, полированных, пескоструенных стальных деталях, а также на деталях, частично или полностью покрытых цинком или кадмием.

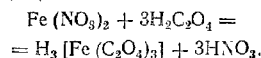
Состав универсального раствора для фосфатирования (г/л) следующий:

Zn ( $H_2PO_4$ ) <sub>2</sub> . . . . .	10—15
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> . . . . .	10—15
Mg ( $NO_3$ ) <sub>2</sub> . . . . .	50—70
препарат «Прогресс» . . . . .	4 мл/л
ZnCl <sub>2</sub> . . . . .	до насыщения

Режим обработки:  $t = 75 \pm 85^\circ C$ ;  $\tau = 5 \pm 15$  мин.

При фосфатировании в этом растворе стальных шлифованных или полированных деталей образуется мелкокристаллическая пленка. Время для появления коррозии на таких деталях при неполном погружении их в водопроводную воду составляет 8—10 сут. При температуре фосфатирующего раствора  $50 \pm 60^\circ C$  и времени обработки 5—15 мин образуются тонкие мелкокристаллические пленки толщиной ~2 мкм, которые обладают достаточно высокими защитными свойствами: при неполном погружении в воду коррозия стали наступает через 6 сут.

Обработка в универсальном растворе частично или полностью оцинкованных и кадмированных стальных деталей позволяет получать на поверхности цинка, кадмия и стали мелкокристаллические фосфатные пленки. На цинковом и кадмиевом покрытиях мелкокристаллические пленки легче образуются в присутствии комплексов  $[Fe(C_2O_4)]^{2-}$ . Поэтому в универсальный раствор вводят растворы  $Fe(NO_3)_3$  и  $H_2C_2O_4$  по 1,7—2,0 г/л каждого, при взаимодействии которых образуется оксалатный комплекс железа (III):



При обработке в универсальном растворе оцинкованных и кадмированных стальных деталей при температуре  $75 \pm 85^\circ C$  в течение 5—15 мин образуются фосфатные пленки, которые имеют более высокие защитные свойства, чем хроматные.

При испытании в 3 %-ом растворе NaCl кадмиевых покрытий, обработанных различным образом, коррозия появляется через следующие промежутки времени (сут.): 3 — без обработки; 40 — хромирование, 110 — фосфатирование.

Получение аморфных пленок. Для получения аморфных пленок на стали рекомендуется применять раствор следующего состава (г/л):

NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> . . . . .	10—15
NaNO <sub>2</sub> . . . . .	8—10
KBr . . . . .	2—5

Режим обработки:  $t = 70 \pm 80^\circ C$ ;  $\tau = \sim 1$  мин.

При фосфатировании в указанном растворе на стали образуется аморфная пленка массой 5 мг/дм<sup>2</sup>.

Масса аморфных фосфатных пленок на стали на один порядок меньше, чем масса кристаллических пленок. Поэтому защитные свойства аморфных пленок сравнительно ниже. Аморфные пленки рекомендуется применять в сочетании с полимерными покрытиями (металлопласты), которые способны выдерживать значительные деформации вследствие большой прочности сцепления фосфатированная сталь—полимер.

**Электрохимическое фосфатирование.** Оно производится в растворах на основе препарата Мажеф и монофосфата цинка (табл. 9).

## 9. Составы растворов для электрохимического фосфатирования (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора			
	1	2	3	4
Препарат Мажеф Zn( $H_2PO_4$ ) <sub>2</sub>	60—80 50— 100	— — —	— — —	— — —
ZnO NaF H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> HNO <sub>3</sub>	2—10 — — —	— — — —	25—25 — 48—50 26—26	9 — 22 —
Mg( $NO_3$ ) <sub>2</sub> NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	— — —	50—70 15—20 —	— — —	— — 25
t, °C	15—30	15—30	65—75	65— 70
i <sub>к</sub> , А/дм <sup>2</sup>	0,3— 0,5	0,3— 0,5	2—3	2—3
t, мин	10—15	3—5	5—8	15— 20

При электрохимическом фосфатировании в растворах № 1, 2 и 3 используется постоянный ток, детали заведываются на катодную штангу, а в качестве анода используются цинковые или железные пластины.

При фосфатировании в растворе № 4 применяется переменный ток: электроды проводят трехфазным током при напряжении 15—20 В. Состав № 2 рекомендуется для катодного фосфатирования цинковых и кадмиевых покрытий, а № 4 — для коррозионно-стойкой стали.

**Химическое фосфатирование цветных металлов.** Фосфатирование цинковых и кадмиевых покрытий производится в растворе оксидного фосфатирования, универсальном растворе фосфатирования и в растворах препарата Мажеф.

**Фосфатирование магния и его сплавов** производится в растворах, составы которых приведены в табл. 10.

В растворе № 1 на магниевых сплавах образуется фосфатная пленка, состоящая главным образом из труднорастворимого фосфата марганца, в то время как в растворе № 2 образуется пленка, состоящая из фосфата магния.

При обработке в растворе № 3 на магниевых сплавах систем Mg—Nd—Zr, Mg—Nd—Zr—Zr, Mg—Zn—Zr, Zr, Mg—Nd—Zr—Zr, Mg—Zn—Zr, Mg—Mn—Ce образуются мелкокристаллические фосфатно-фторидные пленки толщиной ~3 мкм, в состав которых входят труднорастворимые фосфаты и фториды бария и магния. Эти пленки на жаропрочных магниевых

10. Составы фосфатирующих растворов (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора		
	1	2	3
Ba(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	—	—	40—70
Препарат Мажеф	—	—	—
NaF	0,2—0,3	—	1—2
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	—	22	—
Zn(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	—	15	—
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	—	15	5—10
t, °C	96—98	75—85	95—98
τ, мин	30—40	5	20—30

сплавах имеют высокую термостойкость (~350 °C). С увеличением содержания бария в фосфатно-фторидных пленках их термостойкость увеличивается.

Фосфатно-фторидные пленки резко повышают адгезию лакокрасочных покрытий на магниевых сплавах.

Фосфатирующий раствор № 3 готовят в следующем порядке: сначала в ванне с водой растворяют ортофосфорную кислоту, а затем монофосфат бария и фторид натрия.

Для снятия недоброкачественных фосфатно-фторидных пленок детали обрабатывают в 20 %-ном растворе CrO<sub>3</sub> при комнатной температуре в течение 5—10 мин.

Фосфатирование можно проводить в растворе следующего состава (г/л):

Zn (H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	30—40
ZnNO <sub>3</sub>	20—30
NaF	1,8—2,2

Режим обработки: t = 15—30 °C; τ = 5—7 мин; pH 3,0—3,5.

При обработке магниевых сплавов в указанном растворе образуются фосфатные пленки с повышенной адгезией лакокрасочных покрытий.

При фосфатировании алюминия и его сплавов применяют растворы, приведенные в табл. 11.

Образующиеся в этих растворах фосфатные пленки на алюминии и его сплавах содержат 50—55 % CrPO<sub>4</sub>, 17—23 % AlPO<sub>4</sub>, 22—23 % H<sub>2</sub>O. Эти пленки аморфные, гладкие, голубовато-зеленого цвета; они имеют толщину около 3 мкм.

Титан и его сплавы обладают низкими антифрикционными свойствами и малой износостойкостью

11. Составы фосфатирующих растворов (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора		
	1	2	3
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	50—60	10—50	40—60
CrO <sub>3</sub>	7—8	4—7	5—10
H <sub>2</sub> F	4—5 мл	—	—
(40 %-ная NaF)	—	3—7	3—5
t, °C	15—30	15—30	15—30
τ, мин	5—20	5—20	5—20

вследствие высокого коэффициента трения. Эти недостатки могут быть устранены созданием на поверхности титана и его сплавов фосфатных пленок, которые облегчают холодную деформацию и волочение проволоки. Фосфатирование рекомендуется проводить в растворе, содержащем (г/л): 10—100 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> с добавками 10—100 фторидов (KF, NaF, NH<sub>4</sub>F) при t = 98±99 °C и τ = 10±30 мин.

Для фосфатирования никеля и его сплавов рекомендуется раствор следующего состава (г/л):

H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	15
NaF	13
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	200

Режим обработки: pH 2,0; t = 25±35 °C; τ = 35±45 мин.

Большое влияние на кинетику роста фосфатной пленки оказывает состояние поверхности никеля. Скорость роста фосфатной пленки на матовом никелевом покрытии гораздо больше, чем на химическом никеле. Блестящие никелевые покрытия практически не фосфатируются.

**Повышение защитных свойств фосфатных пленок.** Оно производится обработкой в растворах соединений хрома (VI), промасливанием, гидрофобизированием и окраской.

Обработку фосфатированных деталей рекомендуется проводить в растворе, содержащем 80—100 г/л Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, при t = 50±80 °C и τ = 5±10 мин; после этого проводят промывку в воде и сушку обдувкой сжатым горячим воздухом или в сушильном шкафу при 100—110 °C.

Промасливание фосфатированных деталей обычно производится веретенным или авиационным маслом, нагретым до 100—110 °C. Используется для этой цели также раствор масел в органических растворителях или эмульсия при комнатной температуре.

Для повышения коррозионной стойкости фосфатированных деталей их окрашивают.

Для повышения защитных свойств фосфатных пленок широко используется гидрофобизирование, заключающееся в получении на поверхности деталей тонкой водоотталкивающей (гидрофобной) пленки. Обычно для указанных целей используются различ-

ные кремнийорганические соединения (ГКЖ). К ним относятся метил- и этилгидрополисилоксаны.

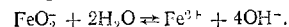
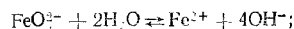
Наиболее высокими защитными свойствами обладают фосфатные пленки, обработанные этилгидрополисилоксаном (ГКЖ-94) и метилгидрополисилоксаном (ГКЖ-94М), содержащие большое число активных атомов водорода, органических радикалов C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> и CH<sub>3</sub> и имеющие силоксанную связь кремния в линейной цепи.

Уменьшение количества активных атомов водорода способствует уменьшению эффективности гидрофобизирования фосфатных пленок. Обработку ведут в 10 %-ном растворе ГКЖ-94 или ГКЖ-94М с последующей сушкой при 110—130 °C в течение 60 мин.

## ОКСИДИРОВАНИЕ

**Химическое оксидирование стали и чугуна.** В растворах едкого натра при достаточно высокой температуре сталь растворяется с выделением водорода и образованием гидроферрит-анионов: Fe + 2OH<sup>-</sup> = FeO<sub>2</sub><sup>-</sup> + H<sub>2</sub>↑. В присутствии окислителей NO<sub>3</sub> и NO<sub>2</sub> образуются также и феррит-анионы FeO<sub>2</sub>.

При наличии анионов FeO<sub>2</sub><sup>-</sup> и FeO<sub>2</sub> в щелочном растворе присутствуют катионы Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup>:



При достаточной концентрации Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup> образуется оксидная пленка, состоящая главным образом из магнетита Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. В нагретом растворе щелочи в присутствии окислителей оксидная пленка постоянно образуется и растворяется вновь.

Технологический процесс оксидирования предусматривает подготовку поверхности деталей перед оксидированием, химическое оксидирование и дополнительную обработку поверхности.

Химическое оксидирование стали и чугуна производится в нагретых растворах, составы которых приведены в табл. 12.

Раствор для химического оксидирования стали и чугуна готовят следующим образом: NaOH затворяют в сетчатые корзины или перфорированные ведра с диаметром отверстий ~3 мм

12. Составы растворов для химического оксидирования стали и чугуна в режиме обработки

Сталь и чугун	С, г/л				t, °C	τ, мин
	NaOH	NaNO <sub>2</sub>	NaNO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		
Высокоуглеродистая и чугун	550—700	50—10	200—50	—	135—145	10—30
Среднеуглеродистая	550—700	50—100	200—250	—	135—145	30—50
Низкоуглеродистая	550—700	50—100	200—250	—	145—155	40—60
Низко- и среднелегированная	550—700	50—100	200—250	—	145—155	60—90
Углеродистая: низколегированная среднелегированная	450—600 650—800	50—100 75—125	50—100 75—125	—	125—135 135—155	~30 30—60
Углеродистая, низко- и среднелегированная и чугун	600—700	—	120—160	20—60	137—143	15—30

и завешивают в рабочую ванну, наполненную расчетным количеством воды. После растворения NaOH в ванну вводят расчетное количество NaNO<sub>2</sub> и NaNO<sub>3</sub>, а затем Na<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, раствор перемешивают до полного растворения всех введенных компонентов. Уровень раствора в ванне химического оксидирования должен быть не менее чем на 350 мм ниже верхнего края ванны.

Сборка ванны разрешается включать только после полного растворения всех введенных компонентов. После включения нагрева ванны следует немедленно начать перемешивание раствора железной мешалкой. При достижении рабочей температуры в ванну загружают стальные детали, подлежащие химическому оксидированию. Срок службы раствора определяется числом оксидируемых деталей, но, как правило, в серийном производстве раствор служит около 6—7 месяцев. После этого срока его следует заменить свежим раствором. Необходимо ежедневно добавлять воду в еще не нагретую ванну, предотвратив разлом корки, которая образуется на поверхности раствора в ванне после перерыва в работе.

Во время оксидирования деталей раствор следует поддерживать в состоянии легкого кипения.

Оксидная пленка на углеродистой стали состоит из магнитного оксида Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. При оксидировании среднелегированной стали пленка состоит из Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и оксидов легирующих элементов. Цвет оксидной пленки на деталях

из углеродистых и низколегированных сталей черный с синеватым оттенком; цвет пленки, образующейся на деталях из высоколегированных сталей, от темно-серого до темно-коричневого с темно-вишневым оттенком.

На чугуне и стали, легированной кремнием, цвет пленки от золотистого до темно-коричневого.

Толщина оксидной пленки составляет ~1 мкм.

При недостатке оксидантов при данной концентрации NaOH на оксидированных деталях образуется зеленоватый налет.

После химического оксидирования стальные детали тщательно промывают в горячей воде до полного удаления остатков щелочного раствора. Промывная вода для более эффективного удаления щелочного раствора должна перемешиваться воздухом. Для периодического контроля качества промывки на поверхность оксидной пленки наносят каплю фенолфталеина. При тщательной промывке в воде капля фенолфталеина не дает розового окрашивания на поверхности оксидированной детали. При недостаточной промывке на поверхности деталей при хранении появляется белый налет.

После химического оксидирования и тщательной промывки в воде стальные детали рекомендуется промыть в нагретом (~90 °C) растворе, содержащем 30—50 г/л жидкого или ядрового хозяйственного мыла в течение 2 мин. Вместо мыльного раствора разрешается применять 20 %-ный раствор эмульсора в воде.

Сушка оксидированных деталей после промывки в растворе мыла или эмульсора производится обдувкой сжатым горячим воздухом или в сушильном шкафу.

Защитные свойства оксидных пленок ниже, чем фосфатных: при неполном погружении в воду коррозии оксидированной стали подвергается через ~0,1 сут. Поэтому для повышения защитных свойств оксидной пленки детали промасливаются путем погружения на 4—6 мин в масло (машинное, веретенное, авиационное и т. п.), нагретое до 100—110 °C, или пропирковой промасленными салфетками.

Раствор для химического оксидирования при 125—155 °C вызывает коррозионное растрескивание высокопрочных сталей. При наличии на неоксидированных стальных деталях прижогов, образующихся, например, при механическом шлифовании, также происходит коррозионное растрескивание.

Химическое оксидирование медных сплавов. Такое оксидирование меди и ее сплавов, применяющиеся для декоративной отделки и повышения коррозионной стойкости, ведется в растворе следующего состава (г/л):

NaOH	60—80
K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	14—16
Режим обработки:	t = 60 ± 65 °C; τ = 5 мин.

После химического оксидирования детали промывают в холодной и горячей воде и сушат. Образующаяся при этом пленка состоит из оксида меди (II), имеет черный цвет, обладает высокой механической прочностью и влажностойкостью. Толщина оксидной пленки ~1 мкм.

Химическое оксидирование латунных и медных покрытий производится в растворе следующего состава:

NH <sub>4</sub> OH	950 мл
SiO <sub>2</sub>	150—200 г
Режим обработки:	t = 30 ± 40 °C; τ = 10 ± 15 мин.

Латунные детали могут обрабатываться в растворе, содержащем 25 %-ный NH<sub>4</sub>OH (~80 мл/л) и SiO<sub>2</sub> (~20 г/л), при 15—30 °C в течение 3—10 мин. После этого детали без промывки в воде обрабатывают в 25 %-ном растворе NH<sub>4</sub>Cl (~160 мл/л) с добавкой SiO<sub>2</sub> (40 г/л) при той же температуре в течение 3—20 мин.

Для получения оксидной пленки коричневого цвета латунные детали обрабатываются в растворе следующего состава (г/л):

CaSO <sub>4</sub>	50
KMnO <sub>4</sub>	5

Оттенок пленки зависит от времени обработки.

Бронзовые детали обрабатываются в растворе следующего состава (г/л):

NaOH	40—60
K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	13—17
NaNO <sub>2</sub>	5—10

Режим обработки: t = 90 ± 97 °C; τ = 2 ± 3 мин.

Детали из томпака оксидируют в растворе, содержащем 120—150 мл/л NH<sub>4</sub>OH, 4—6 г/л SiO<sub>2</sub> и 2—4 г/л Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, при t = 85 ± 90 °C и τ = 5 ± 10 мин.

После промывки в воде и сушки детали протирают минеральным маслом или покрывают бесцветным лаком.

Химическое оксидирование алюминиевых сплавов. Такое оксидирование алюминиевых сплавов производится в растворе следующего состава (г/л):

Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	40—50
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	10—15
NaOH	2,5—2,5

Режим обработки: t = 30 ± 100 °C; τ = 3 ± 20 мин.

После химического оксидирования детали промывают в воде, затем для полной нейтрализации остатков щелочи и дополнительного пассивирования производится обработка в 2 %-ном растворе CrO<sub>3</sub> в течение 10—15 с при комнатной температуре. После промывки в воде детали сушат обдувкой теплым сжатым воздухом или в сушильном шкафу при ≤60 °C.

Образующаяся при химическом оксидировании алюминиевых сплавов пленка состоит из гидратированных оксидов алюминия и хрома (III).

Качество оксидной пленки проверяют внешним осмотром. Цвет пленки, полученной в щелочном растворе с хроматом натрия, от желто-серого до темно-серого в зависимости от обрабатываемого сплава. Пленка химического оксидирования повышает адгезию лакокрасочных покрытий.

### ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ (АНОДИРОВАНИЕ)

Анодное оксидирование алюминиевых сплавов. Анодное оксидирование (анодирование) — основной метод защиты от коррозии деталей из алюминиевых сплавов. Оно производится главным образом в растворах  $H_2SO_4$  или  $H_2CrO_4$ ; при этом детали подвергаются анодной поляризации.

При анодном оксидировании протекают два процесса: образование оксидной пленки на алюминированном сплаве и ее растворение с наружной стороны. Необходимым условием роста пленки является возникновение пор в результате взаимодействия оксидной пленки с кислотой и протекания тока.

Оксидное покрытие состоит из двух слоев: пористого толстого внешнего слоя и внутреннего тонкого слоя, который называется барьерным слоем. При анодном оксидировании в  $H_2SO_4$  объем пор составляет около 30% объема оксидной пленки. Повышение температуры раствора серной кислоты, взаимодействие ее с оксидной пленкой увеличивается, в результате чего пленка разрыхляется и защитные свойства ее снижаются.

Анодное оксидирование алюминиевых сплавов в  $H_2SO_4$  производится в растворе, содержащем (г/л)

$H_2SO_4$  . . . . . 180—200  
Режим обработки:  $i_a = 0,8 \pm 2,0$  А/дм<sup>2</sup>; напряжение до 24 В;  $t = 13 \pm 23$  °С;  $\tau = 15 \pm 60$  мин.

При прохождении количества электричества, равного 2,1 ККл/дм<sup>2</sup>, толщина оксидной пленки на плакированных алюминиевых сплавах составляет 6—12 мкм. Температура раствора  $H_2SO_4$  не должна превышать 25 °С, так как это приводит к образованию рыхлой пленки. Поэтому раствор  $H_2SO_4$  необходимо охлаждать с помощью специального холодильного устройства или водой и перемешивать сжатым воздухом.

Монтаж деталей из алюминиевых сплавов производится на специальных подвесках, которые изготавливают из алюминиевых или титановых сплавов. В качестве катодов используется свинец или сталь 12Х18Н9Т.

Анодное оксидирование может производиться и с применением переменного тока (однофазного или трехфазного) в растворе, содержащем (г/л)

$H_2SO_4$  . . . . . 125—150  
Режим обработки:  $i_a = 1,5 \pm 2,0$  А/дм<sup>2</sup>; напряжение 19—27 В;  $\tau = 20 \pm 30$  мин.

При прохождении количества электричества, равного 1,2 ККл/дм<sup>2</sup>, образуется оксидная пленка толщиной ~5 мкм. Для неплакированных деформированных сплавов продолжительность анодирования увеличивается до 35—47 мин при напряжении на шпале ванны до 30 В.

При анодировании переменным током после прохождения ~180 ККл через 1 л раствора  $H_2SO_4$  может происходить растравливание оксидной пленки. Для предотвращения растравливания в раствор  $H_2SO_4$  периодически добавляют  $HNO_3$ , концентрация которой должна составлять 6—12 г/л.

После анодного оксидирования детали промывают в воде, а затем производят наполнение оксидной пленки в горячей воде или в растворе бихромата калия (натрия). Наполнение водой оксидной пленки производится при 90—95 °С в течение 20—25 мин; вода имеет рН 4,5±6,3, рН поддерживается добавлением  $H_2SO_4$ .

Для поддержания постоянным рН используют раствор следующего состава (г/л):

$NH_4NO_3$  . . . . . 3,5—10  
 $(NH_4)_2(HPO_4)$  . . . . . 0,05  
Режим обработки:  $i_a = 90 \pm 95$  °С;  $\tau = 20 \pm 25$  мин.

При наполнении оксидной пленки горячей водой она гидратируется, в результате объем ее возрастает, диаметр пор уменьшается и защитные свойства повышаются.

Наполнение оксидной пленки бихроматом калия производится в растворе, содержащем (г/л)

$K_2Cr_2O_7$  или  $Na_2Cr_2O_7$  . . . . . 40—45  
Режим обработки: рН 4,5±5,0;  $t = 90 \pm 95$  °С;  $\tau = 20 \pm 25$  мин.

Штанги, на которых монтируются оксидированные детали при наполнении бихроматом калия или натрия, должны быть анодированы от стального корпуса ванны прокладками из текстолита или резины. При наличии

металлического контакта между деталями и корпусом ванны возникает гальваническая пара, вызывающая разрушение алюминированного сплава и оксидной пленки.

Ускоренный способ наполнения пленки бихроматом калия состоит в обработке в растворе следующего состава (г/л):

$K_2Cr_2O_7$  . . . . . 15  
 $NaOH$  . . . . . 3  
Режим обработки: рН 6,5—7,5;  $t = 90 \pm 95$  °С;  $\tau = 5 \pm 6$  мин.

Цвет пленки, наполненной в горячей воде, от светло-серого до темно-серого; цвет ее на деталях из литейных алюминиевых сплавов от светло-серого до темно-коричневого.

Пленка после наполнения в растворе бихромата калия или натрия имеет цвет от светло-зеленого до желто-зеленого. Цвет анодной пленки, наполненной по ускоренному способу, несколько менее желтый, чем пленки, наполненной по обычному методу. Защитные свойства анодных пленок, наполненных бихроматом калия обычным и ускоренным способами, практически одинаковы.

После наполнения анодной пленки бихроматом калия или натрия детали промывают горячей водой и высушивают на воздухе или в сушильных камерах при 40—70 °С в течение ~15 мин.

Анодирование заклепок, болтов, шайб и других мелких деталей производится в перфорированных стаканах из алюминированного сплава или винилласта. Для осуществления постоянного прочного контакта указанные детали прижимают друг к другу с помощью специальных приспособлений.

Анодное оксидирование в хромовой кислоте производится в растворе, содержащем (г/л)

$CrO_3$  . . . . . 30—55  
Режим обработки:  $t = 40 \pm 2$  °С;  $i_a = 0,2 \pm 2,5$  А/дм<sup>2</sup>; напряжение до 40 В.

Процесс анодного оксидирования в растворе хромовой кислоты следует регулировать по напряжению на клеммах ванны. После подключения ванны необходимо довести напряжение до 40 В в течение 5—10 мин и при таком напряжении вести анодирование в течение 50—65 мин. Толщина пленки составляет около 3 мкм.

Детали из гетерогенных сплавов анодируются в том же растворе при 32—36 °С и  $i_a \leq 1,6$  А/дм<sup>2</sup>. Напряжение поднимать до 45 В в течение 10—15 мин, затем анодирование вести 45—50 мин.

После анодирования в хромовой кислоте детали промывают в воде и сушат обдувкой сжатым воздухом. Цвет пленки от молочного до серого, возможны цвета побежалости. Контроль качества анодно-оксидных пленок состоит из внешнего осмотра, капельной пробы и определения толщины пленки.

Толщину анодных пленок определяют весовым методом или по приближенному напряжению. При толщине пленки 3 мкм пробивное напряжение составляет 140—170 В, при толщине 6 мкм — 220 В, при толщине 10 мкм — 300—320 В.

Толстослойному анодированию подвергаются алюминий и его сплавы для придания им большой твердости, высокой износостойкости, высоких электро- и теплоизоляционных свойств. Оптимальная толщина пленки на деталях, работающих в условиях повышенного трения, составляет 30—50 мкм, пленки, используемой в качестве теплоизоляции, ~100 мкм, электроизоляционной пленки 20—40 мкм (в зависимости от пробивного напряжения). Толстослойное анодирование происходит при низких температурах. Твердое анодирование проводится в растворе  $H_2SO_4$  при концентрации 180—200 г/л и температуре 0—7 °С. Толстые пленки можно получить при температуре до +2 °С с некоторым ухудшением их свойств. Охлаждение электролита осуществляется с помощью холодильных установок.

Плотность тока в начале процесса анодирования составляет 0,5—1,0 А/дм<sup>2</sup>, а затем повышается до 2,0—2,5 А/дм<sup>2</sup> в течение 10—15 мин. Напряжение на электродах в начале процесса составляет 20—25 В и далее по мере роста толщины пленки повышается до ~90 В. Процесс толстослойного анодирования необходимо проводить с использованием постоянного тока.

Для сплавов, содержащих 3% и выше меди, анодное оксидирование рекомендуется проводить в растворе, содержащем 500—300 г/л  $H_2SO_4$ , при температуре —3 ÷ —8 °С. В этом растворе можно анодировать и другие

сплавы. Плотность тока рекомендуется повышать от 0,5 до 2,5 А/дм<sup>2</sup> в течение 30 мин; при этом напряжении на электродах повышается до 65 В. Для сплавов, содержащих медь более 4,9 %, не рекомендуется применять толстослойное анодирование.

Продолжительность толстослойного анодирования зависит от толщины пленки. При прохождении количества электричества, равного 6 кКл/дм<sup>2</sup>, на алюминии образуется пленка толщиной ~40 мкм, а на сплаве Д16, содержащем медь, — толщиной 25 мкм. Толстослойное анодирование сплавов, содержащих до 3 % меди, может производиться в растворе следующего состава (г/л):

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> . . . . . 90—110  
H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> . . . . . 30—50

Режим обработки:  $t = 10 \pm 20^\circ\text{C}$ ;  $i_a = 3 \pm 4,5$  А/дм<sup>2</sup>, напряжение до 90 В.

При пропускании количества электричества, равного 10,5 кКл/дм<sup>2</sup>, образуется анодная пленка толщиной около 50 мкм.

Цвет толстослойных анодных пленок зависит от состава алюминиевых сплавов и режима анодирования: они бывают серыми, зелеными, черными и коричневыми.

Толщина толстослойной пленки определяется при помощи микроскопа на испорченном шлифе. При этом определяется микротвердость. Толщину пленок на плоских поверхностях можно определять с помощью приборов с индуктивным датчиком.

Помимо анодирования в растворах серной кислоты электроизоляционное анодирование производится также в растворах на основе щавелевой кислоты (табл. 13).

13. Составы растворов для электроизоляционного анодирования (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	25—35	40—60
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2—4	—
Сульфосалициловая кислота	90—110	—
$t, ^\circ\text{C}$	10—28	15—25
$i_a, \text{А/дм}^2$	1,5—3,0	2,5—3,5
Напряжение, В	До 120	До 120
$t, \text{мин}$	20—120	90—210

14. Составы растворов для эмалирования (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
CrO <sub>3</sub>	30—35	6—8
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>	1—2	8—10
H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	—	1—2
Калий титанил щавелевокислый	—	40—45
Лимонная кислота	—	1—2
$t, ^\circ\text{C}$	40—45	50—60
$i_a, \text{А/дм}^2$	0,3—1,0	До 3
Напряжение, В	40—80	0—120
$t, \text{мин}$	60	30—40

Для повышения электроизоляционных свойств анодных пленок их пропитывают изоляционным лаком.

Эмалирование — анодное оксидирование алюминиевых сплавов для получения непрозрачных эмалевидных пленок молочного цвета, напоминающих по внешнему виду эмаль, пластмассу, фарфор и т. п. Эмалированию обычно подвергаются сплавы алюминия с марганцем и магнием (АМц, АМг и др.) в растворах, приведенных в табл. 14. В процессе эмалирования заданную плотность тока поддерживают путем повышения напряжения на ванне.

В растворе № 1 в течение 5 мин напряженно позируют от 0 до 40 В; от 40 до 80 В напряжение также повышают в течение 5 мин. В течение 30 мин процесс эмалирования производится при 40 В, при 80 В — также в течение 30 мин.

В растворе № 2 напряжение от 0 до 120 В поднимают в течение 10—15 мин.

Раствор для эмалирования составляют следующим образом. Сначала растворяют калий-титанил щавелевокислый в теплой воде, добавляют щавелевую и лимонную кислоты. Затем отдельно растворяют борную кислоту. Оба раствора фильтруют и сливают в ванну эмалирования, добавляют воду до заданного объема, после чего щавелевой кислотой доводят рН раствора до 1—2.

Цветное анодное оксидирование выполняют путем напыления оксидных пленок органическими (адсорбционное окрашивание),

неорганическими красителями, осаждением в порах пленки окрасочных веществ при электролизе растворов солей металлов, а также окрашиванием анодно-оксидной пленки в процессе ее формирования.

Адсорбционное окрашивание производят после анодирования в водных растворах органических красителей. В табл. 15 приведены составы некоторых водных растворов органических красителей и время обработки для получения окрасочных оксидных покрытий ( $t = 60 \pm 80^\circ\text{C}$ ). Водный раствор органического красителя готовят следующим образом. Необходимое количество красителя растворяют в горячей воде и кипятят в течение ~15 мин, а затем фильтруют.

Большим недостатком органических красителей является их высокая светостойкость. Для повышения светостойкости после окрашивания рекомендуют обработку в растворе следующего состава (г/л):

Co (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> . . . . . 0,65—1,15  
Ni (CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> . . . . . 3,2—6,8  
H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub> . . . . . 7,5—3,5

Режим обработки:  $t = 90 \pm 100^\circ\text{C}$ ;  $t = 20 \pm 30$  мин.

Затем детали промывают в горячей воде и высушивают.

Для окрашивания оксидных пленок на алюминии под цвет золота используются водные растворы, составы которых приведены в табл. 16.

После окрашивания оксидных пленок детали промывают в воде и выдерживают в обессоленной воде при рН 4,6—6,0 и 90—98 °С в течение 20—30 мин. Для повышения коррозионной стойкости деталей на покрытие после сушки наносят тонкий слой бесцветного лака, воска или парафина.

Окрашивание неорганическими красителями оксидных пленок производится обработкой в растворах, принадлежащих к двум группам (табл. 17).

После обработки в растворе первой группы детали промывают водой и погружают в раствор второй группы. Продолжительность обработки в этих растворах составляет 5—10 мин при 15—30 °С. В порах пленки образуются труднорастворимые соединения с определенной окраской. После этого детали промывают в воде и высушивают.

Электрохимическое окрашивание пористых оксидных пленок на алюминии и его сплавах производят в растворе следующего состава (г/л):

K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> . . . . . 20—30  
MgSO<sub>4</sub> . . . . . 15—30  
(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> . . . . . 26—30  
H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub> . . . . . 20—30

Режим обработки: рН 4,3—5,0;  $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ .

Обработку производят катодным током в две стадии: сначала выдерживают при 10 В в течение 0,5 мин, а затем при 15 В в течение 1—12 мин. Продолжительность второй стадии выбирают в зависимости от требуемой окраски.

После электрохимического окрашивания производят выполнение пленки горячей водой и высушивают.

Окрашивание пленки в процессе ее формирования получило большое распространение. Способ Аноцвет-350 предусматривает анодирование алюминия и его сплавов в растворе следующего состава (г/л):

Сульфосалициловая кислота . . . . . 70—80  
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> . . . . . 4—5  
H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> . . . . . 0,1—1,0  
трилон Б . . . . . 0,1—0,3

Режим обработки:  $t = 20 \pm 23^\circ\text{C}$ ;  $i_a = 1,3 \pm 2,0$  А/дм<sup>2</sup> (на чашечках); напряжение 25—80 В;  $t = 25 \pm 50$  мин.

Цвет пленки зависит от состава сплава и условий обработки. Так, на сплаве АМГ0,5 при достижении напряжения 50 В в течение 20 мин при полном времени анодирования 30 мин пленка окрашена в янтарно-серый цвет, на сплаве АМГ1 при том же режиме анодирования пленка имеет светло-коричневый цвет.

При анодировании в H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (40—60 г/л) цвет пленки зависит от ее толщины и условий электролиза. При  $i_a = 1,5 \pm 2,0$  А/дм<sup>2</sup> и  $t = 25^\circ\text{C}$  в течение 35—40 мин образуется пленка толщиной 5 мкм, которая имеет сербрыстый цвет; при 3 А/дм<sup>2</sup> и 40 °С в течение 35—40 мин образуется желтая пленка, а при 4—5 А/дм<sup>2</sup> при 50 °С образуется коричневая пленка.

Анодное оксидирование магниевых сплавов. Оксидные покрытия на магниевых сплавах получают в щелочных и кислых растворах. При анодной

15. Составы водных растворов органических красителей

Краситель	C, г/л	t, мин	Цвет пленки
Анилиновый черный Ф	5—10	15—30	Черный
Анилиновый прямой черный З	3—5	10—20	"
Черный 2К	5—10	15—30	"
Основной коричневый	3—5	10—20	Коричневый
Ализариновый желтый Р	1—3	5—10	Желтый с зеленым оттенком
Прямой желтый	1—3	5—10	"
Кислотный хром желтый Н	1—3	5—10	"
Протравной чисто-желтый	1—3	5—10	"
Кислотный алый	2—3	5—10	Оранжево-красный
Оранжевый 2Ж	2—3	5—10	Оранжевый
Ализариновый красный С	2—5	5—10	От розового до красного
Кислотный рубиновый	3—5	5—10	Красный
Кислотный хром ярко-красный	1—5	5—10	Малиновый
Прямой красный 2С	3—5	5—10	Красный
Кислотный хром бордо	1—5	5—10	От розового до красного
Кислотный синий антрахиновый	1—5	5—10	Синий
Прямой синий М	3—5	5—10	"
Анилиновый прямой чисто-голубой	2—3	5—10	"
Метленовый голубой	2—3	5—10	Голубой
Прямой зеленый ЖХ	3—5	5—10	"
Основной ярко-зеленый	3—5	5—10	Зеленый
Основной фиолетовый	3—5	5—10	Фиолетовый

16. Составы растворов для окрашивания под золото (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора				
	1	2	3	4	5
Оранжевый 2Ж	1,0	0,1	1,0	0,1	1,6
Желтый З	0,1	0,01	—	—	0,4
Кислотный черный М	0,1	0,01	—	0,01	—
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,5	pH 6,5—7,5	pH 6,5—7,5	0,5	—
t, °C	15—30	50—70	15—30	50—70	60—65
t, мин	5—7	1—4	7—9	4—7	1—2
Цвет	Золотой	Золотой	Розово-золотой	Золотой	Золотой

17. Составы растворов для окрашивания неорганическими красителями

Первая группа растворов		Вторая группа растворов		Цвет пленки	Окрашивающее соединение
Компонент	C, г/л	Компонент	C, г/л		
K <sub>2</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	10—15	FeCl <sub>3</sub>	10—100	Синий	Fe <sub>2</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]
K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	10—15	CuSO <sub>4</sub>	10—100	Коричневый	Cu <sub>2</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	50—100	Pb(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	100—200	Желтый	PbCrO <sub>4</sub>
Pb(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	10—50	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10—50	Белый	PbSO <sub>4</sub>
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	5—10	AgNO <sub>3</sub>	50—100	Оранжевый	Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	10—50	KMnO <sub>4</sub>	10—50	Черный с желтым оттенком	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

поляризации в щелочных растворах на магниевых сплавах образуется главным образом гидроксид магния. В сплавах, содержащих легирующие элементы, могут образовываться помимо гидроксида магния также и гидроксиды этих элементов.

В табл. 18 приведены составы щелочных электролитов для анодного оксидирования магниевых сплавов. В растворе № 1 образуются пленки толщиной 7—15 мкм от серого до зеленого цвета, в растворе № 2 — пленки серого цвета.

При анодной поляризации в кислых растворах, которые содержат анионы Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> и NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, на поверхности магниевых сплавов образуются труднорастворимые соединения.

В табл. 19 приведен состав кислых растворов для анодного оксидирования магниевых сплавов.

При анодном оксидировании магниевых сплавов в кислых растворах может использоваться переменный ток. Плотность тока поддерживается постоянной вследствие повышения напряжения на ванне; при достижении рекомендуемого напряжения происходит анодирование.

Во фторидно-хроматно-фосфатном растворе (раствор № 1) при указанных режимах образуются пленки толщиной 30—50 мкм. Твердость такой пленки сопоставима с твердостью оксидных пленок на алюминии и его сплавах.

При анодном оксидировании во фторидных растворах (растворы № 2, 3) образуются пленки толщиной около 5 мкм.

При анодном оксидировании деталей из магниевых сплавов между ними и корпусом ванны не должно быть контакта.

После промывки в воде производится сушка и нанесение лакокрасочных покрытий. Покрытие, получаемое при анодировании во фторидно-хроматно-фосфатном растворе, зеленого цвета, а во фторидных растворах светло-серого.

Анодное оксидирование стали. После обезжиривания и химической активации стальные детали подвергают анодной обработке в 5% ном растворе K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> при 45—55 °C, i<sub>a</sub> = 3÷5 А/дм<sup>2</sup> в течение 10—15 мин. Затем детали промывают в воде и подвергают анодной обработке в растворе NaOH (350—

18. Составы растворов (г/л) для анодного оксидирования магниевых сплавов и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора	
	1	2
NaOH	140—160	50
Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	—	3
Фенол	3—5	—
Жидкое стекло (ρ = 1,394 г/см <sup>3</sup> )	21—25	—
t, °C	60—70	70
i <sub>a</sub> , А/дм <sup>2</sup>	0,5—10	1,5
t, мин	30	40

600 г/л) при 65—80 °C, i<sub>a</sub> = 3÷5 А/дм<sup>2</sup> в течение 10—30 мин. Оксидная пленка на стали имеет черный цвет с синим отливом.

Для стальных деталей простой конфигурации анодное оксидирование может производиться в кислом растворе, содержащем CrO<sub>3</sub> (150—250 г/л) и HBF<sub>4</sub> (1—2 г/л), при 40—50 °C, i<sub>a</sub> = 5÷10 А/дм<sup>2</sup> в течение 10—15 мин. Для повышения защитных свойств оксидных пленок после промывки и сушки детали промасливают.

Анодное оксидирование меди и ее сплавов. При анодном оксидировании детали из меди и ее сплавов обрабатываются в растворе NaOH (150—250 г/л) при 80—90 °C и i<sub>a</sub> = 0,5÷1,5 А/дм<sup>2</sup>. Катодами служат стальные листы. Перед началом работы необходима проработка электролита с медными

19. Составы растворов (г/л) для анодного оксидирования магниевых сплавов и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора		
	1	2	3
Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	60—80	—	—
NH <sub>4</sub> BF <sub>4</sub>	300—400	300—400	—
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	100—120	—	—
KF	—	—	50—60
t, °C	70—80	15—30	15—30
i <sub>a</sub> , А/дм <sup>2</sup>	5	5	5
(начальная) Напряжение, В	70—90	120—150	120—150
t, мин	30—40	20—40	20—40



анодами до получения голубой окраски раствора. Детали погружают в ванну на медных подвесках. При этом рекомендуется выдерживать детали в растворе едкого натра без тока в течение ~2 мин, а затем включать ток и вести анодное окисление. При  $i_a = 0,5 \text{ А/дм}^2$  время анодирования составляет 30 мин. При постепенном повышении плотности тока время анодирования существенно уменьшается. Рекомендуется следующий режим анодного окисления: в течение первых 5 мин  $i_a = 2 \div 5 \text{ А/дм}^2$ , следующие 5 мин  $i_a = 10 \div 15 \text{ А/дм}^2$ .

После анодного окисливания детали промывают в воде, сушат при  $\sim 100^\circ\text{C}$  и протирают салфетками, смоченными минеральным маслом. На деталях из меди и медных сплавов образуется черная пленка из оксида меди (II), имеющая толщину  $\sim 1 \text{ мкм}$ . Она обладает защитными свойствами, эластичностью и высокой механической прочностью.

Анодное окисливание фосфористой бронзы производится в растворе состава (г/л):

NaOH	400
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	50
$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	10
Режим обработки:	$t = 80 \div 85^\circ\text{C}$ ; $i_a = 2 \div 3 \text{ А/дм}^2$ ; $\tau = 20 \div 30 \text{ мин}$ .

Медь, медные покрытия и латунь окисливаются в растворе следующего состава (г/л):

NaOH	150—200
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	8—15
Режим обработки:	$i_a = 0,8 \div 1,5 \text{ А/дм}^2$ ; $\tau = 5 \div 10 \text{ мин}$ .

При анодировании меди и медных покрытий температура раствора составляет  $80\text{—}85^\circ\text{C}$ , при обработке латуни —  $60\text{—}65^\circ\text{C}$ .

Ванны для анодного окисливания изготавливают из керамики или эмалированной стали.

Анодное окисливание цинка и кадмия. Такое окисливание цинка производится в растворах, приведенных в табл. 20. Пленки, полученные в растворе № 1, имеют черный цвет, а в растворе № 2 — черный цвет с зеленым оттенком.

Для цинковых сплавов, содержащих медь и алюминий, продолжительность анодирования в растворе № 1 составляет  $40\text{—}60 \text{ мин}$ .

20. Составы растворов для анодного окисливания цинка и кадмия (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора		
	1	2	3
NaOH	20	—	100—110
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	—	60	10—15
$t, ^\circ\text{C}$	40—45	15—30	15—30
$i_a, \text{ А/дм}^2$	6—12	0,5	3—10
$\tau, \text{ мин}$	8—10	8—10	0,1—0,25

Анодное окисливание кадмия производится в растворе следующего состава (г/л):

NaOH	25—30
$\text{K}_2\text{CO}_3$	50—60
Режим обработки:	$t = 15 \div 30^\circ\text{C}$ ; $i_a = 5 \text{ А/дм}^2$ ; $\tau = 1 \div 2 \text{ мин}$ .

Анодное окисливание титановых сплавов. Анодирование титановых сплавов ведут в растворах  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $180\text{—}200 \text{ г/л}$ ) или  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  ( $50\text{—}55 \text{ г/л}$ ) при  $15\text{—}30^\circ\text{C}$ . В первом растворе  $i_a = 10 \div 12 \text{ А/дм}^2$  и  $\tau = 10 \div 15 \text{ мин}$ , во втором —  $i_a = 1 \div 1,5 \text{ А/дм}^2$  и  $\tau = 50 \div 60 \text{ мин}$ .

В процессе роста пленки в растворе щавелевой кислоты в течение 2—6 мин напряжение возрастает до  $90\text{—}110 \text{ В}$ . Дальнейшее анодирование производится при напряжении  $100\text{—}120 \text{ В}$ , а плотность тока составляет  $0,2 \text{ А/дм}^2$ . Цвет анодной пленки зависит от состава сплава.

## ХРОМАТИРОВАНИЕ

При хромировании на поверхности металлов и сплавов образуются пленки, в состав которых входят труднорастворимые хроматы. Хромирование может производиться химическим и электрохимическим методами.

Химическое хромирование. При химическом хромировании Zn, Cd, Mg, Al и их сплавов они обрабатываются в подкисленных растворах, содержащих  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  и анионы-активаторы ( $\text{F}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и т. п.).

В растворах бихроматов и хромового ангидрида, не содержащих анионов-активаторов, Zn, Cd, Al и Mg покрываются пассивной пленкой, состоящей

из малорастворимых оксидов или гидратированных оксидов основного металла и хрома, в результате чего взаимодействие металла с раствором прекращается.

В присутствии анионов-активаторов, например сульфат-анионов, возможно образование растворимых комплексных соединений хрома (III) и сульфат-анионов. Пленка в отдельных местах нарушается, в ней образуются поры, в которых осуществляется контакт основного металла с хромирующим раствором.

С увеличением времени обработки цинка и кадмия в растворе бихромата натрия, калия или аммония с добавками  $\text{H}_2\text{SO}_4$  толщина хроматной пленки увеличивается, причем основная масса пленки образуется в течение первых 20 с, после чего скорость роста уменьшается, и, начиная с  $\sim 60 \text{ с}$ , заметного роста пленки не наблюдается.

С увеличением концентрации ионов  $\text{H}^+$  скорость роста хроматной пленки сначала увеличивается, достигая максимального значения, а затем уменьшается.

Защитные свойства хроматных пленок определяются наличием в пленке труднорастворимых хроматов, являющихся эффективными пассиваторами металлов. Пассивирование металлов хромат-анионами происходит за счет образования первичной адсорбционной пленки, а также образования на поверхности металлов пленок, содержащих оксиды хрома и оксиды металлов.

Промывка хромированного цинка в горячей воде и нагрев при  $\sim 110^\circ\text{C}$  уменьшают содержание хромат-анионов, в результате чего защитные свой-

ства хроматных пленок уменьшаются. Защитные свойства хроматной пленки зависят от концентрации сульфат-анионов.

Анализ значений pH пограничного с цинком слоя 3%-ного раствора хлорида натрия показал, что в случае нехромированного цинка pH слоя раствора увеличивается, достигая некоторого постоянного значения. В случае хромированного цинка pH приэлектродного слоя раствора сначала уменьшается, а потом остается постоянным.

В табл. 21 приведены составы растворов для хромирования, а также для одновременного осветления и хромирования цинковых и кадмиевых покрытий. В растворе № 1 производится только хромирование, а в растворах № 2—5 — одновременно осветление и хромирование.

Обычно хромирование производят после обезжелезивания стальных окискованных и кадмированных деталей. Для химической активации окискованных и кадмированных деталей производится их обработка в растворе  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $5\text{—}15 \text{ г/л}$ ) при  $15\text{—}30^\circ\text{C}$  в течение 3—5 с, после чего выполняют промывку в воде и хромирование в указанных растворах.

В растворе № 5 допускается хромирование до обезжелезивания. После хромирования окискованные и кадмированные детали промывают в холодной воде и сушат обдувкой сжатым теплым воздухом. В процессе сушки хроматные пленки уплотняются.

На цинке образуются светло-зеленые радужные с красным оттенком пленки, а на кадмии — желтые пленки при хромировании окискованных и

21. Составы растворов для хромирования цинка и кадмия (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора				
	1	2	3	4	5
$\text{HNO}_3$	—	—	3—7	3—7	15—30
$\text{H}_2\text{SO}_4$	8—12	3—5	—	—	—
$\text{CrO}_3$	—	80—110	4—6	25—35	15—25
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ или $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	150—200	—	10—15	10—15	10—20
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	—	—	—	—	—
$t, ^\circ\text{C}$	15—30	15—30	15—30	15—30	15—30
$\tau, \text{ мин}$	0,1—0,3	0,05—0,1	0,5—1,0	0,5—1,0	0,1—0,5



кадмированных деталей в растворе следующего состава (г/л):

$\text{Cr}_2\text{O}_3$	13—15
$\text{MnSO}_4$	15—20
Режим обработки:	$t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ ; $\tau = 0,5 \div 0,7$ мин.

Выпускаются концентраты для хромирования под названием Ликонд, позволяющие получать на цинковых и кадмиевых покрытиях хроматные пленки с большим спектром цветовых оттенков.

В табл. 22 приведены составы растворов для химического хромирования магния и его сплавов.

В растворе № 1 хромированию подвергаются литые полуфабрикаты и готовые детали. После обработки детали в составах № 1 и 2 и промывки в воде производится исполнение в растворе  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (40—50 г/л) при температуре 90—100 °С в течение 15—20 мин.

Неметаллические неорганические покрытия образуются на деталях из магниевых сплавов при обработке в 15—20 %-ном растворе HF при 15—30 °С в течение 5 мин с последующей промывкой в воде и дополнительной обработкой в кипящем растворе следующего состава (г/л):

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	25—30
$\text{NH}_4\text{SO}_4$	25—30
$\text{NH}_4\text{OH}$ (25 %-ый)	4—6 мл/л
Режим обработки:	pH 5,6—6,6; $\tau = 15$ мин.

При этом на деталях образуется черная пленка с повышенными защитными свойствами.

22. Составы растворов для хромирования магниевых сплавов (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора				
	1	2	3	4	5
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ или $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	15—20	140—160	30—50	70—100	70—100
$\text{HNO}_3$	21—30	—	—	—	—
$\text{NH}_4\text{Cl}$	0,75—1,25	—	—	—	—
$\text{NH}_4\text{SO}_4$	—	2—4	—	—	40—50
$\text{CrO}_3$	—	1—3	—	—	—
$\text{CH}_3\text{COOH}$	—	10—22	—	—	—
Квасцы алюмокальевые	—	—	5—12	—	—
$\text{MnSO}_4$	—	—	8—12	—	—
$\text{MgSO}_4$	—	—	—	30—50	—
	—	—	—	30—50	40—50
$t, ^\circ\text{C}$	70—80	65—80	≤ 3,5	4—5	3—4
$i, \text{A/дм}^2$	—	—	15—30	15—30	15—30
$\tau, \text{мин}$	0,5—2,0	0,5—1,5	5—15	10—60	10—35

Вместо обработки в растворе HF детали из магниевых сплавов разрешается обрабатывать в 3—3,5 %-ном растворе NaF при 15—30 °С в течение 10—12 мин с последующей выдержкой в 10—15 %-ном растворе  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  при 90—100 °С в течение 30—60 мин.

После промывки в воде и сушки на хромированные детали наносят лакокрасочные покрытия.

При хромировании магниевых сплавов образуются хроматные пленки от соломенно-желтого до темно-коричневого или черного цвета в зависимости от марки сплава и технологии нанесения неметаллических неорганических покрытий.

Химическое хромирование алюминия и его сплавов производится в растворах хромового ангидрида, бихромата натрия в присутствии активаторов — анионов  $\text{F}^-$ ,  $\text{SiF}_6^{2-}$ . При обработке в растворе без активаторов образуется пассивная пленка, состоящая из оксидов алюминия и хрома (III), в результате чего процесс взаимодействия алюминиевого сплава с анионами  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  прекращается. Введение в раствор соединений хрома (VI) анионов  $\text{F}^-$  и  $\text{SiF}_6^{2-}$  приводит к раствору оксидной пленки, и созданию условий дальнейшего взаимодействия алюминия с анионами  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ .

Хромирование алюминия и его сплавов производится в растворах, состав которых приведен в табл. 23.

Цвет хроматных пленок на алюминии и его сплавах от желто-золотистого до коричнево-золотистого.

23. Составы растворов для хромирования алюминиевых сплавов (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора		
	1	2	3
$\text{CrO}_3$	3,5—4,5	3,0—3,5	—
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	3,0—3,5	—	180—200
NaF	0,8	—	—
$\text{K}_2\text{SiF}_6$	—	3,0—3,5	—
HF (40 %-ная)	—	—	1—2 мл/л
$t, ^\circ\text{C}$	15—30	15—30	15—30
$\tau, \text{мин}$	8—10	8—10	6—10

При хромировании в растворе № 3 в состав хроматной пленки входят  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  и  $\text{CrO}_4^{2-}$ .

С увеличением времени обработки в указанных растворах толщина хроматной пленки увеличивается. Через некоторый промежуток времени рост пленки прекращается, что связано с выравниванием скорости образования хроматной пленки и скорости ее растворения с наружной стороны.

Непосредственно после образования хроматной пленки и промывки ее в холодной воде она обладает сравнительно низкими механическими свойствами. Промывка пленки в горячей воде приводит к значительному ее обезвреживанию.

После промывки в холодной воде производится сушка обдувкой теплым сжатым воздухом или в сушильном шкафу при  $t \leq 70^\circ\text{C}$ .

Свежеобразованная хроматная пленка (до сушки) легко растворяется в  $\text{HNO}_3$ , в нагретом растворе хромового ангидрида, а также в растворах ортофосфорной и серной кислот с добавками хромового ангидрида. После сушки растворение хроматной пленки в указанных растворах сильно затрудняется.

Скорость коррозии хромированных алюминиевых сплавов в ~2—3 раза ниже, чем нехромированных. Хроматные пленки увеличивают адгезию лакокрасочных покрытий и продляют срок их службы.

Электрохимическое хромирование. Электрохимическое хромирование металлов и сплавов производится путем катодной, анодной или катодно-анодной поляризации в растворах, содержащих соединения хрома (VI). Наибольшее распространение получил метод катодного хромирования. На процессы, протекающие на катоде при хромировании в растворах соединений хрома (VI), большое влияние оказывают посторонние анионы, как и при электроосаждении хрома.

Катодное хромирование широко применяется для защиты от коррозии луженого железа. Обработка производится в растворе  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (25—30 г/л) при pH 4—6 и 50—80 °С;  $i_c = 5 \div 10 \text{ A/дм}^2$ ; время обработки составляет 1—2 с.

В табл. 24 приведены некоторые составы растворов для катодного хромирования.

Качественные хроматные пленки на сталях и других металлах образуются

24. Составы растворов для катодного хромирования (г/л) и режимы обработки

Компоненты раствора и режим	№ раствора				
	1	2	3	4	5
$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	2—20	—	—	—	—
$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	—	100—500	—	—	—
$\text{CH}_3\text{COOH}$	3—30	—	200—450	50	50—130
$\text{CrO}_3$	—	100—	1—3 мл/л	—	—
$\text{HNO}_3$ ( $\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$ )	—	700 мл/л	—	—	—
Анионы $\text{F}^-$	—	—	1—3	—	—
Катионы $\text{Cr}^{3+}$	—	—	10—15	—	—
$\text{H}_2\text{SO}_4$	—	—	—	30	0,05—0,5
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	—	—	—	—	—
$t, ^\circ\text{C}$	15—30	20—55	35—40	50	40—70
$i, \text{A/дм}^2$	1—10	0,6—20	40—45	20	3—15
$\tau, \text{мин}$	0,01—0,1	2—3	5—7	0,06	2—3

в насыщенном гидроксидом кадмия растворе хромата кадмия следующего состава (г/л):

CdCrO <sub>4</sub> . . . . .	140—270
Cd(OH) <sub>2</sub> . . . . .	до насы- щения

Режим обработки:  $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ ;  $i_K = 2 \pm 16$  А/дм<sup>2</sup>;  $\tau = 10 \pm 2$  мин.

При катодной поляризации в этом растворе на стали образуется хроматная пленка, состав которой состоит главным образом из дигидрохромата кадмия (CdOH)<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>.

На защитные свойства хроматных пленок большое влияние оказывает их масса. Так, при увеличении массы хроматных пленок от 4 до 10 г/м<sup>2</sup> время появления коррозии стали в соляной камере увеличивается от 4 до 11 сут.; без хромирования сталь в указанных условиях обнаруживает коррозию через 0,08 сут.

При катодной поляризации стали в растворе хромата магния (насыщенного гидроксидом магния) качественные хроматные пленки образуются в растворе следующего состава (г/л):

MgCrO <sub>4</sub> . . . . .	140—270
Mg(OH) <sub>2</sub> . . . . .	до насы- щения

Режим обработки:  $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ ;  $i_K = 1 \pm 14$  А/дм<sup>2</sup>;  $\tau = 5 \pm 2$  мин.

С увеличением концентрации хромата магния допустимая плотность тока, необходимая для получения качественных пленок, увеличивается.

После хромирования детали промывают в холодной воде и затем сушат, обдувая их сжатым теплым воздухом.

Существенный недостаток хроматных пленок, образующихся при катодной поляризации стали в растворах хромата магния и кадмия, — их сравнительно низкие механические свойства.

При катодной поляризации стали в растворах, содержащих одновременно хроматы и монофосфаты, в результате увеличения pH прикадодного слоя раствора на катоде могут совместно образовываться труднорастворимые фосфаты и гидроксохроматы. Такая хроматно-фосфатная пленка обладает повышенными механическими свойствами защитными свойствами хроматных.

Качественная хроматно-фосфатная пленка, в состав которой входят

Mg<sup>2+</sup>, CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> и Cr<sup>3+</sup>, образуется при катодной поляризации стали в растворе следующего состава (г/л):

MgCrO <sub>4</sub> . . . . .	140—270
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> . . . . .	0,5—2,0
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> . . . . .	0,2—1,0

Режим обработки: pH 6,9—7,2;  $t = 55 \pm 60^\circ\text{C}$ ;  $i_K = 6 \pm 12$  А/дм<sup>2</sup>;  $\tau = 10 \pm 15$  мин.

Цвет хроматно-фосфатных пленок желтый с зеленым оттенком. Хроматно-фосфатные пленки на стали имеют высокую стойкость к истиранию. Так, если пленки, полученные при катодной поляризации в растворе хромата магния, насыщенном гидроксидом магния, истираются через 0,5 мин, то хроматно-фосфатные пленки истираются через 130—140 мин.

Защитные свойства хроматно-фосфатных пленок на стали высокие: при массе пленки 4 г/м<sup>2</sup> время появления коррозии в камере соляного тумана (разбрызгивание 3 %-ного раствора NaCl) составляет 7 сут., при 7 г/м<sup>2</sup> — 13 сут., при 10 г/м<sup>2</sup> — 20 сут., а при 13 г/м<sup>2</sup> — 23—25 сут.

Защитные свойства хроматно-фосфатных пленок отчетливо проявляется также на цинке, кадмии, алюминии и его сплавах. Проведенные коррозионные испытания в камере соляного тумана показали, что защитные свойства хроматно-фосфатных пленок на цинковом и кадмиевом покрытии в 2—3 раза выше, чем хроматных, полученных при химическом хромировании. Защитные свойства хроматно-фосфатных пленок на алюминиевых сплавах аналогичны анодно-оксидным покрытиям при андировании в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Хроматно-фосфатные покрытия рекомендуются применять для защиты от коррозии сталей (в том числе и высокопрочных), цинковых и кадмиевых покрытий, а также алюминиевых сплавов и т. п. Катодное хромирование не сказывает влияния на пластичность, выносливость высокопрочных сталей.

Химическое и электрохимическое тонирование. Для придания медным и никелевым покрытиям голубого и синего цвета производится химическая обработка в растворе следующего состава (г/л):

Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	240—250
Pb(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> . . . . .	25—30
лимонная кислота . . . . .	25—30

Режим обработки:  $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 4 \pm 60$  мин.

При катодной поляризации медные покрытия приобретают цвет от золотистого до желтого в растворе следующего состава (г/л):

CuSO <sub>4</sub> . . . . .	30—45
NaOH . . . . .	18—30
виннокислый калий (средний)	25—30

Режим обработки:  $t_K = 0,015 \pm 0,02$  А/дм<sup>2</sup>;  $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 1 \pm 10$  мин.

Вместо виннокислого калия (среднего) можно использовать сахар-рафинад в количестве 85—90 г/л.

Для придания коричневого, красно-коричневого и сине-зеленого цвета латунные детали обрабатывают в растворе следующего состава (г/л):

NaCl . . . . .	50—70
NH <sub>4</sub> Cl . . . . .	50—70
NH <sub>4</sub> CNS . . . . .	20—45

Режим обработки:  $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ ;  $i_K = 0,01 \pm 0,02$  А/дм<sup>2</sup>;  $\tau = 1 \pm 20$  мин.

Для получения ярко-вишневого, малинового, синего и желто-коричневого цвета после обработки в указанном растворе латунные детали дополнительно обрабатываются в растворе, содержащем (г/л):

NaOH или Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> . . . . .	30—40
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> . . . . .	30—40

Режим обработки:  $i_K = 0,5 \pm 0,7$  А/дм<sup>2</sup>; затем производят повторное тонирование.

Цинковое покрытие приобретает черный цвет при химической обработке в растворе следующего состава (г/л):

Pb(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> . . . . .	15—20
ZnCl <sub>2</sub> . . . . .	15—20
NiSO <sub>4</sub> . . . . .	70—80
NH <sub>4</sub> CNS . . . . .	15—20

Режим обработки:  $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 1 \pm 3$  мин.

Оловянное покрытие «Кристаллит» окрашивается в желтый, зеленый, малиновый и синий цвет в растворе следующего состава (г/л):

CuSO <sub>4</sub> . . . . .	8—15
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> . . . . .	125—150

Режим обработки:  $t = 35 \pm 40^\circ\text{C}$ ;  $i_K = 0,005 \pm 0,010$  А/дм<sup>2</sup>;  $\tau = 3 \pm 20$  мин. В начале процесса плотность тока поддерживается 0,1—0,2 А/дм<sup>2</sup> в течение 2 мин.

## ПАССИВИРОВАНИЕ

Пассивированию подвергаются коррозионно-стойкие стали, медь, оловянные, серебряные и медные покрытия.

После удаления окисных деталей из хромоникелевых сталей типа 12Х18Н9Т подвергаются пассивированию в растворе HNO<sub>3</sub> (250—500 г/л) при 45—55°C в течение 15—20 мин, а детали из высокохромистых сталей типа 20Х13 — в растворе HNO<sub>3</sub> (180—220 г/л) с добавкой Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> или K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (20—25 г/л) при 45—55°C в течение 20—30 мин или в растворе H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (50—100 г/л) с CrO<sub>3</sub> (150—200 г/л) при температуре 70—80°C в течение 20—30 мин.

При термообработке деталей из хромистых и хромоникелевых сталей в воздушной печи могут образоваться слои с пониженным содержанием хрома в твердом растворе и, следовательно, с низким сопротивлением коррозии. При пассивировании таких деталей происходит их травление. Для повышения коррозионной стойкости таких деталей следует удалить механическим или химическим путем слой толщиной 0,15 мм.

Контроль качества поверхности после пассивирования производится путем обработки раствором CuSO<sub>4</sub> (16 г/л) с H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (10 г/л). После натирания поверхности этим раствором деталь выдерживают в течение 5—6 мин, а затем протирают насухо. Появление контактной меди на поверхности детали свидетельствует о низкой коррозионной стойкости.

Медь и ее сплавы пассивируют в растворе следующего состава (г/л):

K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> или Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> . . . . .	90—130
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	15—25

Режим обработки:  $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 0,25 \pm 0,60$  мин.

Оловянные покрытия пассивируют в растворе следующего состава (г/л):

K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> или Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> . . . . .	80—100
--	--------

Режим обработки:  $t = 80 \pm 95^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 10 \pm 20$  мин.

Серебряные покрытия для сохранения паяемости кислотными флюсами пассивируют в растворе следующего состава (г/л):

K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> . . . . .	30—50
KOH . . . . .	30—50

Режим обработки:  $t = 15 \pm 30^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 5 \pm 10$  мин. После пассивирования детали промывают в воде и сушат.

АНАЛИЗ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩЕГО  
КОМПОНЕНТА В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

**Медь.** Комплексонометрический метод.

**Необходимые реактивы.** Трилон Б — 0,05 н. раствор;  $\text{NH}_4\text{OH}$  — 12 %-ный раствор; мурексид — смесь с  $\text{NaCl}$ .

**Ход анализа.** 10 мл электролита разбавляют в мерной колбе водой до 250 мл. В коническую колбу вместимостью 250 мл отбирают аликвоту 10 мл (0,4 мл исходного электролита), добавляют 50 мл воды, около 5 мл  $\text{NH}_4\text{OH}$  (до появления синей окраски аммиака меди), 0,5 г мурексида и титруют трилоном Б до перехода буровато-желтой окраски раствора в красно-фиолетовую.

Расчет содержания (г/л) ведут по уравнению

$$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{v \cdot 0,006242k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество 0,05 н. трилона Б, израсходованного на титрование, мл; 0,006242 — теоретический титр 0,05 н. трилона Б по сульфату меди, г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,05 н. трилона Б;  $m$  — здесь и далее количество электролита, взятого для анализа, мл.

**Иодометрический метод.** **Необходимые реактивы.**  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — 0,1 н. раствор; реактив Брунса;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:5;  $\text{KF} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  — соль; крахмал растворимый.

**Ход анализа.** Отбирают 20 мл разбавленного в 10 раз электролита (2 мл исходного) в коническую колбу вместимостью 250 мл, прибавляют 50 мл воды, 25 мл  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 0,5—0,8 г  $\text{KF} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 15 мл реактива Брунса и титруют выделившийся йод  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  в присутствии крахмала (добавляют к концу титрования) до исчезновения

синей окраски раствора. Расчет содержания (г/л) ведут по уравнению

$$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = \frac{v \cdot 0,02496k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество 0,1 н.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , израсходованного на титрование, мл; 0,02496 — теоретический титр 0,1 н.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  по  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,1 н. тиосульфата натрия.

При определении  $\text{Cu}(\text{BF}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  при использовании йодометрического метода теоретический титр 0,1 н.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$  0,006354 г/мл, коэффициент пересчета с меди на борфторид 5,432.

**Никель.** Комплексонометрический метод. **Необходимые реактивы.** Трилон Б — 0,1 н. раствор;  $\text{NH}_4\text{OH}$  — 25 %-ный раствор; аммиачный буферный раствор; мурексид — смесь с  $\text{NaCl}$ ; сульфарсазена.

**Ход анализа.** Разбавляют 25 мл электролита в мерной колбе водой до 250 мл и отбирают аликвоту 10 мл (1 мл исходного электролита) в коническую колбу вместимостью 250 мл. Добавляют 50 мл  $\text{NH}_4\text{OH}$ , 0,1—0,2 г мурексида и титруют трилоном Б до изменения окраски раствора из желтой в красно-фиолетовую. При использовании сульфарсазена вместо 5 мл  $\text{NH}_4\text{OH}$  добавляют 10 мл аммиачного буферного раствора (испытываемый раствор имеет pH 9,5), 8—10 капель сульфарсазена и титруют трилоном Б до изменения окраски раствора из розовато-сиреневой в зеленую.

Расчет содержания (г/л) ведут по уравнению

$$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = \frac{v \cdot 0,014044k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество 0,1 н. трилона Б, израсходованного на титрование, мл

0,014044 — теоретический титр 0,1 н. трилона Б по  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,1 н. трилона Б.

**Весовой метод.** **Необходимые реактивы.**  $\text{NH}_4\text{OH}$  — 25 %-ный раствор;  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_6$  — 10 %-ный раствор; диметилаглиоксим  $(\text{CH}_3)_2\text{C}_2(\text{NOH})_2$  — 1 %-ный раствор (целочной или спиртовой).

**Ход анализа.** Отбирают 5 мл разбавленного в 10 раз электролита (0,5 мл исходного) в стакан вместимостью 300 мл, добавляют 100 мл  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_6$  и  $\text{NH}_4\text{OH}$  до появления слабого запаха. При использовании щелочного раствора диметилаглиоксима аммиак прибавляют до слабосидлой реакции. Раствор нагревают до 60—70 °C и добавляют 50 мл диметилаглиоксима. Выдерживают 15—20 мин в теплом месте и фильтруют осадок через фильтр «белая лента». Осадок на фильтре промывают горячей водой, сушат, осторожно (во избежание сублимации) прокалывают 30 мин при 550—650 °C и взвешивают.

Расчет содержания (г/л) ведут по уравнению

$$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = \frac{A \cdot 3,756 \cdot 1000}{m}$$

где  $A$  — масса осадка закиси никеля, г; 3,756 — коэффициент пересчета с NiO на  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

**Фотоколориметрический метод.** **Ход анализа.** 10 мл электролита отбирают в мерную колбу вместимостью 100 мл, разбавляют до метки водой. Холостая проба — дистиллированная вода. Измеряют экстинцию исследуемого раствора против холостой пробы на фотоколориметре с красным светофильтром в кювете шириной  $l = 10$  мм. Содержание сульфата никеля определяют по калибровочному графику.

**Построение калибровочного графика.** Готовят растворы, содержащие от 50 до 300 г/л  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (интервал в 50 г/л). Измеряют оптическую плотность растворов. По полученным значениям оптической плотности и соответствующим значениям содержания серноокислого никеля строят калибровочный график.

В случае борфтористоводородного электролита анализ ведут комплексонометрическим методом. Предварительно к 10 мл электролита в конической колбе на 250 мл прибавляют по 20 мл воды и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1:1), после чего выпаривают до паров  $\text{SO}_3$ . Остаток охлаждают, растворяют в теплой воде, переносят в мерную колбу вместимостью 100 мл и после охлаждения разбавляют водой до метки. Отбирают аликвоту 10 мл и титруют.

Расчет содержания (г/л) ведут по уравнению

$$\text{Ni}(\text{BF}_4)_2 = \frac{v \cdot 0,002935k \cdot 3,957 \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество 0,1 н. трилона Б, израсходованного на титрование; 0,002935 — теоретический титр раствора трилона Б по никелю, г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности; 3,957 — коэффициент пересчета на борфторид никеля.

**Хром шестивалентный.** Объемный метод (прямое титрование). **Необходимые реактивы.** Соль Мора  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \times 6\text{H}_2\text{O}$  — 0,2 н. раствор в 10 %-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; дифениламин  $\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{N}$ ; кислота фенилантрапиловая  $\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{O}_2\text{N}$ ;  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (плотность 1,7 г/см<sup>3</sup>);  $\text{H}_2\text{SO}_4$  — 1:1.

**Ход анализа.** 10 мл электролита разбавляют в мерной колбе водой до 250 мл и отбирают аликвоту 5 мл (0,2 мл исходного электролита) в коническую колбу вместимостью 500 мл. Добавляют 200 мл воды, 2 капли  $\text{C}_{12}\text{H}_{11}\text{N}$ , 2 мл  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и титруют солью Мора до перехода окраски раствора из синей в зеленую. При применении фенилантрапиловой кислоты после введения фосфорной кислоты добавляют 10 мл  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; переход окраски — из красной в зеленую.

Расчет содержания (г/л) ведут по уравнению

$$\text{CrO}_3 = \frac{v \cdot 0,001733k \cdot 1000 \cdot 1,92}{m}$$

где  $v$  — количество 0,2 н. соли Мора, израсходованной на титрование, мл; 0,001733 — теоретический титр 0,2 н. соли Мора по хрому, г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,2 н. соли Мора; 1,92 — коэффициент пересчета с хрома на хромовый ангидрид.

Перманганатометрический метод (обратное титрование). *Необходимые реактивы.*

$KMnO_4$  — 0,1 н. раствор;  
 $H_2SO_4$  — 1:4;  
 $(NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4 \cdot 6H_2O$  — 0,2 н. раствор в 10 %-ной  $H_2SO_4$ .

*Установка соотношения между 0,2 н. раствором соли Мора и 0,1 н. раствором  $KMnO_4$  (холостая проба).* К точно отмеренным 15 мл раствора соли Мора в конической колбе вместимостью 500 мл добавляют 100 мл воды, 100 мл  $H_2SO_4$  и титруют перманганатом калия до появления розовой окраски раствора, не исчезающей 1—2 мин. Вследствие неустойчивости раствора соли Мора это соотношение устанавливают ежедневно.

*Ход анализа.* Разбавляют 10 мл электролита в мерной колбе водой до 250 мл и отбирают аликвоту 5 мл (0,2 мл исходного электролита) в коническую колбу вместимостью 500 мл. Добавляют 120 мл воды, 80 мл  $H_2SO_4$  и 15 мл точно отмеренного раствора соли Мора. Окраска раствора должна измениться от желтой до зеленовато-голубой; если окраска не изменилась, добавляют еще точно отмеренное количество раствора соли Мора, оттитровывают перманганатом калия до появления бледно-розовой окраски раствора.

Расчет содержания (г/л) ведут по формуле

$$CrO_3 = \frac{(v - v_1) \cdot 0,00333k \cdot 1000}{m},$$

где  $v$  — количество 0,1 н.  $KMnO_4$ , израсходованного на титрование холостой пробы, мл;  $v_1$  — количество 0,1 н.  $KMnO_4$ , израсходованного на титрование избытка соли Мора, мл; 0,00333 — теоретический титр 0,1 н.  $KMnO_4$  по  $CrO_3$ , г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,1 н.  $KMnO_4$ .

*Хром трехвалентный.* Объемный метод. Метод основан на окислении хрома (III) в (VI) персульфатом аммония в присутствии катализатора — ионов серебра. После разрушения персульфата хромат титруют раствором соли Мора в присутствии дифениламина или фенилантрапилового

кислоты (вариант 1-й — прямое титрование) или восстанавливают раствором соли Мора, избыток которого оттитровывают перманганатом калия (вариант 2-й — обратное титрование). Содержание окиси хрома определяют по разности между общим содержанием хрома и количеством хрома (VI).

*Необходимые реактивы.*  $H_2SO_4$  — 1:4;  $H_2SO_4$  — 1:1;  $HCl$  — 1:3;  $H_3PO_4$  (плотность 1,7 г/см<sup>3</sup>);  $MnSO_4 \cdot xH_2O$  — 1 %-ный раствор;  $AgNO_3 \cdot xH_2O$  — 0,2 %-ный раствор;  $(NH_4)_2S_2O_8$  — 10 %-ный раствор;  $KMnO_4$  — 0,1 н. раствор;  $(NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4$  — 0,2 н. раствор в 10 %-ной  $H_2SO_4$ ;  $C_{12}H_{11}N$ ; кислота фенилантрапиловая  $C_{12}H_9O_2N$ .

*Ход анализа.* К аликвоте 5 мл (0,2 мл исходного электролита; разведение — см. анализ на Cr (VI)) в конической колбе вместимостью 500 мл добавляют 200 мл воды, 40 мл  $H_2SO_4$  (1:4), 2—3 капли  $MnSO_4$  и доводят до кипения; затем добавляют 10 мл  $AgNO_3$ , 20 мл  $(NH_4)_2S_2O_8$  и кипятят 15 мин до появления розовой окраски; прибавляют 10 мл  $HCl$  и нагревают до исчезновения розовой окраски.

Вариант 1-й. В охлажденный раствор добавляют 2 капли дифениламина и заканчивают по методике определения хромового ангидрида (прямое титрование). Расчет общего содержания хрома см. на с. 73.

Вариант 2-й. В охлажденный раствор добавляют 15 мл соли Мора и заканчивают по методике определения хромового ангидрида методом обратного титрования.

Расчет содержания (г/л) проводят по формуле

$$CrO_{3,общ} = \frac{(v - v_2) \cdot 0,00333k \cdot 1000}{m},$$

где  $v_2$  — количество 0,1 н. перманганата калия, израсходованного на титрование избытка соли Мора при определении окиси хрома, мл; остальные обозначения — см. анализ на Cr (VI).

Расчет содержания (г/л) проводят по формуле

$$Cr_2O_3 = (CrO_{3,общ} - CrO_3) \cdot 0,76,$$

где 0,76 — коэффициент пересчета с  $CrO_3$  на  $Cr_2O_3$ .

*Цинк.* Комплексонометрический метод. *Необходи-*

*мые реактивы.*  $NH_4OH$  — 25 %-ный раствор; трилон Б — 0,05 н. раствор; сульффарсазен; эриохром черный Т — смесь с  $NaCl$ .

*Ход анализа.* К 10 мл отфильтрованного электролита в мерной колбе вместимостью 200 мл добавляют  $NH_4OH$  до растворения образовавшихся гидратов и разбавляют водой до метки. Аликвоту 10 мл (0,5 мл исходного электролита) отбирают в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляют 50 мл воды, 0,3 г эриохрома черного Т или 1 мл сульффарсазена и титруют трилоном Б до изменения окраски раствора.

Расчет содержания (г/л) проводят по формуле

$$ZnSO_4 \cdot 7H_2O = \frac{v \cdot 0,001634k \cdot 1000 \cdot 4,398}{m},$$

где  $v$  — количество 0,05 н. трилона Б, израсходованного на титрование, мл; 0,001634 — теоретический титр 0,05 н. трилона Б по цинку, г/мл; 4,398 — коэффициент нормальности 0,05 н. трилона Б; 4,398 — коэффициент пересчета на сульфат цинка.

*Весовой метод.* *Необходимые реактивы.*  $HNO_3$  (плотность 1,4 г/см<sup>3</sup>);  $CH_3COOH$  — 80 %-ная;  $NH_4OH$  — 25 %-ный раствор;  $(NH_4)_2HPO_4$  — 10 %-ный раствор;  $(NH_4)_2HPO_4$  — 1 %-ный раствор; метиловый оранжевый.

*Ход анализа.* К 5 мл электролита в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 5 мл воды, 2 мл  $HNO_3$ , раствор нагревают и выпаривают досуха. После охлаждения доливают 100 мл горячей воды и нейтрализуют аммиаком по метиловому оранжевому до слабого запаха. Добавляют уксусную кислоту до нейтральной или слабощелочной реакции и нагревают раствор до кипения. После охлаждения добавляют 20 мл 10 %-ного  $(NH_4)_2HPO_4$  и нагревают раствор почти до кипения. Осадок отстаивают в теплом месте 30 мин, фильтруют через двойной фильтр «синяя лента», промывают горячим 1 %-ным раствором  $(NH_4)_2HPO_4$ , затем 3—4 раза холодной водой, сушат, прокалывают при 900 °С (не выше), охлаждают и взвешивают.

Расчет содержания (г/л) проводят по формуле

$$ZnO = \frac{A \cdot 0,534 \cdot 1000}{m},$$

где  $A$  — масса осадка пирофосфата цинка, г; 0,534 — коэффициент пересчета с пирофосфата цинка на окись цинка.

Окись цинка определяют также комплексонометрическим методом. Количество разбавленного раствора для титрования — 20 мл. Коэффициент пересчета с  $Zn$  на  $ZnO$  равен 1,2447.

При анализе борфтористоводородного электролита используют комплексонометрический метод. Коэффициент пересчета на борфторид цинка равен 3,65.

*Кадмий.* Комплексонометрический метод. *Необходимые реактивы.*  $NH_4OH$  — 25 %-ный;

$NH_4OH$  — 1:1; трилон Б — 0,1 н. раствор; аммиачный буферный раствор;  $H_2SO_4$  — 1:5;  $H_2SO_4$  — 1:1; кислота сульфосалициловая  $C_7H_6O_5S \cdot 2H_2O$  — 20 %-ный раствор; эриохром черный Т — смесь с  $NaCl$ ; метиловый красный.

*Ход анализа.* К 10 мл электролита в мерной колбе вместимостью 200 мл добавляют 25 %-ный  $NH_4OH$  до изменения цвета бумаги конго на красный и избыток 2 мл, охлаждают и разбавляют до метки водой. Отфильтрованный через сухой фильтр в сухую колбу раствор в количестве 10 мл переносят в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляют 20 мл воды, 2 капли метилового красного, нейтрализуют серной кислотой (1:5) и аммиаком (1:1) до окрашивания раствора в красный цвет. Добавляют 15 мл буферного раствора, 0,3 г эриохрома черного Т и титруют трилоном Б до перехода окраски раствора в синюю. Если при отделении железа и алюминия аммиаком цвет бумаги конго не изменяется, то аммиак в мерную колбу не вводят. В этом случае ход анализа следующей. К 10 мл разбавленного в 10 раз электролита в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 50 мл воды, 10 мл сульфосалициловой кислоты и 2 капли метилового красного. Раствор нейтрализуют серной кислотой (1:1) и аммиаком (1:1) до перехода окраски его в желтую, добавляют 15 мл буферного раствора, 0,3 г эриохрома черного

ного Т и титруют трилоном Б до перехода окраски раствора из фиолетового в темно-зеленую.

Расчет содержания (г/л) ведут по формуле

$$\text{CdSO}_4 \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O} = \frac{v \cdot T \cdot 1000 \cdot 2,282}{m}$$

где  $v$  — количество раствора трилона Б, израсходованного на титрование, мл;  $T$  — титр раствора трилона Б по кадмию (теоретический титр 0,1 н. трилона Б — 0,00562 г/мл, трилона Б 0,05 н. — 0,00281 г/мл); 2,282 — коэффициент пересчета с кадмия на  $\text{CdSO}_4$ .

При определении в электролите оксида кадмия коэффициент пересчета с кадмия составляет 1,142 г/мл, при определении борфторида кадмия — 0,014301 г/мл, а при определении хлорида кадмия — 2,031 г/мл. В последнем случае используют раствор 0,05 н. трилона Б, теоретический титр которого по кадмию равен 0,00281. При этом ведут анализ 25 мл разбавленного в 10 раз электролита.

**Железо.** Перманганатометрический метод. *Необходимые реактивы.*

$\text{H}_2\text{SO}_4$  (плотность 1,84 г/см<sup>3</sup>);  $\text{KMnO}_4$  — 0,1 н. раствор; смесь Циммермана—Рейнгартта.

*Ход анализа.* Отбирают 10 мл разбавленного в 10 раз электролита (1 мл исходного) в коническую колбу вместимостью 250 мл, прибавляют 90 мл воды, 5 мл серной кислоты, 20 мл смеси Циммермана—Рейнгартта и медленно титруют перманганатом калия до появления розовой окраски раствора, не исчезающей в течение 1 мин.

Содержание железа (г-ион/л) рассчитывают по уравнению

$$\text{Fe} = \frac{v \cdot 0,005585k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество 0,1 н.  $\text{KMnO}_4$ , израсходованного на титрование, мл; 0,005585 — теоретический титр  $\text{KMnO}_4$  по железу, г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности  $\text{KMnO}_4$ .

При пересчете на  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  количество железа умножают на 4,978, при пересчете на  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  умножают на 3,559.

**Олово.** Йодометрический метод. *Необходимые реактивы.*  $\text{I}_2$  — 0,1 н. раствор;  $\text{HCl}$  (плотность

1,19 г/см<sup>3</sup>);  $\text{NaHCO}_3$  — насыщенный раствор; цинк металлический гранулированный марки П0 или алюминий (стружка) марки А999; крахмал растворимый.

*Ход анализа.* Отбирают 10 мл электролита в мерную колбу вместимостью 100 мл, в которую предварительно вливают 20 мл  $\text{HCl}$ , и разбавляют водой до метки. Аликвоту 20 мл (2 мл исходного электролита) переносят в коническую колбу вместимостью 250 мл, прибавляют 20 мл  $\text{HCl}$ , 30 мл воды и 0,5 г алюминия или 1—2 г цинка. Колбу закрывают пробкой с содовым затвором (воронка Геккеля или колба с насыщенным раствором двууглекислого натрия, в который погружена отводная трубка от реакционной колбы). Раствор нагревают до полного восстановления олова. После прекращения выделения водорода раствор нагревают до полного растворения алюминия (цинка) и выделяющегося олова. Раствор быстро охлаждают, вынимают пробку с содовым затвором, добавляют 20 мл  $\text{NaHCO}_3$  и быстро титруют 0,1 н. йодом в присутствии крахмала до не исчезающей синей окраски раствора.

Расчет содержания (г-ион/л) ведут по формуле

$$\text{Sn}_{\text{общ}} = \frac{v \cdot 0,005935k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество 0,1 н. йода, израсходованного на титрование, мл; 0,005935 — теоретический титр 0,1 н. йода по олову, г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,1 н. йода.

**Комплексонометрический метод.** *Необходимые реактивы.* Трилон Б — 0,1 н. раствор;  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$  — 0,1 н. раствор;  $\text{HCl}$  — 1 : 1;  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  — 20 %-ный раствор; уротропин  $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_4$  — 20 %-ный раствор; кислеоловый оранжевый.

*Ход анализа.* Разбавляют 25 мл электролита в мерной колбе вместимостью 100 мл до метки водой и отбирают аликвоту 20 мл (5 мл исходного электролита) в коническую колбу вместимостью 500 мл. Добавляют 5 мл  $\text{HCl}$ , 15—20 мл (точно) трилона Б, 100—150 мл воды (рН 1—2 по индикаторной бумаге) и кипятят 2—3 мин. После охлаждения к раствору добавляют уксуснокислый аммоний до рН 8

(около 35 мл), 10—15 мл уротропина (до рН 5,5), 5 капель кислеолового оранжевого и оттитровывают избыток трилона Б уксуснокислым цинком до перехода желтой окраски раствора в оранжевую или малиновую.

Содержание (г-ион/л) рассчитывают по формуле

$$\text{Sn}_{\text{общ}} = \frac{(v - cv_1) \cdot 0,005935k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество 0,1 н. трилона Б, введенного в пробу, мл;  $cv_1$  — количество 0,1 н.  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$ , израсходованного на титрование избытка трилона Б, мл;  $C$  — соотношение концентрации 0,1 н. растворов трилона Б и  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$ ; 0,005935 — теоретический титр 0,1 н. трилона Б по олову, г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,1 н. трилона Б.

При анализе щелочных электролитов пробу электролита 10 мл предварительно подкисляют концентрированной соляной кислотой до слабокислой реакции по метловому оранжевому в мерной колбе на 100 мл, добавляют избыток кислоты 5 мл и разбавляют водой до метки.

Далее определение олова (IV) ведут титрованием, как указано выше. Расчет содержания стапалата натрия (г/л) ведут по уравнению

$$\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = B \cdot 2,246$$

где  $B$  — содержание олова (IV), г-ион/л; 2,246 — коэффициент пересчета с олова на стапалат натрия.

**Свинец.** Комплексонометрический метод. *Необходимые реактивы.* Трилон Б — 0,1 н. раствор;  $\text{NH}_4\text{OH}$  — 25 %-ный раствор; винная кислота  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$  — 10 %-ный раствор; аммиачный буферный раствор; эриохром черный Т — смесь с хлористым натрием; сульфарсазен.

*Ход анализа.* Отбирают 10 мл разбавленного в 10 раз электролита (1 мл исходного) в коническую колбу вместимостью 250 мл, вливают 50 мл воды, 5 мл  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$  и  $\text{NH}_4\text{OH}$  до щелочной реакции по бумаге конго. Добавляют 10 мл буферного раствора, 0,2 г эриохрома черного Т или 1 мл сульфарсазена и титруют трилоном Б до изменения окраски раствора от фиолетово-красной до синей (с эриохромом черным Т) или оранжево-красной до соломенно-желтой (с сульфарсазеном).

Содержание свинца (г-ион/л) определяют по формуле

$$\text{Pb} = \frac{v \cdot 0,01036k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество 0,1 н. трилона Б, израсходованного на титрование, мл; 0,01036 — теоретический титр 0,1 н. трилона Б по свинцу, г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,1 н. трилона Б.

**Йодометрический метод.** *Необходимые реактивы.*  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 \times 5\text{H}_2\text{O}$  — 0,1 н. раствор;  $\text{KJ}$  — 10 %-ный раствор;  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  — 10 %-ный раствор;  $\text{NH}_4\text{OH}$  — 25 %-ный раствор;  $\text{CH}_3\text{COOH}$  — ледяная;  $\text{HCl}$  (плотность 1,19 г/см<sup>3</sup>); крахмал растворимый;  $\text{NaCl}$  — насыщенный солянокислый раствор (к 1 л насыщенного раствора  $\text{NaCl}$  добавляют 200 мл  $\text{HCl}$  плотностью 1,19 г/см<sup>3</sup>).

*Ход анализа.* Отбирают 10 мл разбавленного в 10 раз электролита (1 мл исходного) в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляют 20 мл воды и нейтрализуют  $\text{NH}_4\text{OH}$  по бумаге конго до щелочной реакции. Добавляют 4 мл  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , 15 мл  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , нагревают до кипения и выдерживают на водяной бане 4—5 мин. Осадок фильтруют через фильтр «сияя лента» и промывают 3—4 раза горячей водой, подкисленной уксусной кислотой. Осадок на фильтре растворяют солянокислым раствором  $\text{NaCl}$ , собирая раствор в колбу, в которой производилось осаждение, и промывают фильтр водой 2—3 раза. К полученному раствору добавляют 5 мл  $\text{HCl}$ , 10 мл  $\text{KJ}$  и через 5 мин оттитровывают выделившийся йод тиосульфатом натрия в присутствии крахмала до исчезновения синей окраски раствора.

Содержание (г-ион/л) рассчитывают по формуле

$$\text{Pb} = \frac{v \cdot 0,00691k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество 0,1 н.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , израсходованного на титрование, мл; 0,00691 — теоретический титр 0,1 н.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  по свинцу, г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,1 н.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ .

Расчет содержания  $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$  (г/л) проводят по формуле

$$\text{Pb}(\text{BF}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = B \cdot 2,36$$

где  $V$  — содержание свинца, г-ион/л; 2,36 — коэффициент пересчета со свинца на  $Pb(BF_4)_2$ .

**Серебро.** Объемный метод. *Необходимые реактивы.*  $NH_4CNS$  — 0,1 н. раствор; железоммонийные квасцы [0,864 г подкисляют  $H_2SO_4$  (плотность 1,84 г/см<sup>3</sup>), доводят до 1 л, 10 мл полученного раствора разбавляют в мерной колбе вместимостью 100 мл];  $H_2SO_4$  (плотность 1,84 г/см<sup>3</sup>);  $HNO_3$  (плотность 1,4 г/см<sup>3</sup>);  $AgNO_3$  — 0,1 н. раствор.

*Ход анализа.* Отобранные пипеткой 3—5 мл электролита переносят в коническую колбу вместимостью 250 мл. Добавляют 15 мл  $H_2SO_4$  и 5 мл  $HNO_3$ . Упаривают раствор под тягой до появления белых паров, затем охлаждают до комнатной температуры. Добавляют 100 мл дистиллированной воды и перемешивают раствор до полного растворения осадка. Через 30—60 мин добавляют 1 мл раствора железоммонийных квасцов и титруют раствором роданного аммония до исчезновения розовой окраски.

Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$Ag = \frac{v \cdot 0,108k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество раствора  $NH_4CN$ , израсходованное на титрование, мл;  $k$  — коэффициент нормальности; 0,108 — коэффициент пересчета на содержание серебра.

**Золото.** Объемный метод. *Необходимые реактивы.*  $KJ$  — 10 %-ный раствор;  $Na_2S_2O_3$  — 0,1 н. раствор; крахмал — 1 %-ный раствор;  $HCl$  (1,19 г/см<sup>3</sup>).

*Ход анализа.* Пробу электролита с содержанием золота не более 0,01 г помещают в фарфоровую чашку, добавляют 20 мл  $HCl$  и выпаривают содержимое досуха. Содержимое чашки горячей водой смывают в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляют 2—3 мл раствора  $KJ$  и титруют раствором  $Na_2S_2O_3$  в присутствии нескольких капель раствора крахмала до обесцвечивания синего окрашивания пробы.

Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$Au = \frac{v \cdot 0,0986k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество раствора  $Na_2S_2O_3$ ,

пошедшее на титрование, мл;  $k$  — коэффициент нормальности; 0,0986 — коэффициент пересчета на содержание золота.

### АНАЛИЗ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ И ДРУГИХ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

**Цинид.** *Необходимые реактивы.*  $NH_4OH$  — 25 %-ный раствор;  $KJ$  — 10 %-ный раствор;  $AgNO_3$  — 0,1 н. раствор.

*Ход анализа.* 3—5 мл электролита помещают в коническую колбу вместимостью 150 мл. Затем добавляют 5—6 мл раствора  $NH_4OH$  и 1 мл раствора  $KJ$ . Титруют раствором  $AgNO_3$  до появления исчезающей мутн. Содержание  $KCN$  и  $NaCN$  (г/л) определяют по формулам

$$KCN = \frac{v \cdot 0,13k \cdot 1000}{m}$$

$$NaCN = \frac{v \cdot 0,098k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество раствора  $AgNO_3$ , затраченное на анализ, мл;  $k$  — коэффициент нормальности; 0,13 и 0,098 — коэффициенты пересчета на содержание  $KCN$  или  $NaCN$ .

**Пирофосфат.** Электролит медиения. *Необходимые реактивы.*  $NaOH$  — 0,1 н. раствор;  $ZnSO_4 \times 7H_2O$  — 5 %-ный раствор, нейтрализованный 0,1 н.  $NaOH$  по метиловому оранжевому; метиловый оранжевый. *Ход анализа.* К 20 мл разбавленного в 10 раз электролита (2 мл исходного) в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 40 мл воды, 3—4 капли индикатора и нейтрализуют едким натром. Добавляют 15 мл  $ZnSO_4$  и образовавшуюся кислоту оттитровывают едким натром. Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$Na_2P_2O_7 \cdot 10H_2O = \frac{v \cdot 0,0223k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество раствора  $NaOH$ , израсходованного на титрование, мл; 0,0223 — теоретический титр  $NaOH$  по  $Na_2P_2O_7 \cdot 10H_2O$ .

**Электролит цинкования.** *Необходимые реактивы.*  $HCl$  — 0,5 н. раствор; индикатор смешанный (метиловый оранжевый + метиловый синий). *Ход анализа.* К 10 мл электролита в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 50 мл воды, 5 капель индикатора и титруют соляной кислотой до перехода окраски раствора из зеленой в фиолетовую. По формуле рассчитывают содержание (г/л)

$$Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O = \frac{v \cdot 0,11151k \cdot 1000}{m} + A \cdot 0,776,$$

где  $v$  — количество 0,5 н.  $HCl$ , израсходованной на титрование, мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,5 н.  $HCl$ ; 0,11151 — теоретический титр 0,5 н.  $HCl$  по  $Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ , г/мл;  $A$  — содержание  $ZnSO_4$ , г/л; 0,776 — коэффициент пересчета с сульфата цинка на пирофосфат натрия, связанный с цинком в виде пирофосфата цинка.

**Борфторид.** Электролит медиения. *Ход анализа.* К 5 мл раствора, полученного разбавлением 25 мл в 250 мл воды, в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 50 мл воды, 5—6 капель метилового оранжевого и титруют 0,1 н.  $NaOH$  до желто-зеленой окраски раствора.

Содержание (г/л) определяют по формуле

$$HBF_4 = \frac{v \cdot 0,00878k \cdot 1000}{m} - A \cdot 0,740,$$

где  $v$  — количество 0,1 н.  $NaOH$ , израсходованного на титрование, мл; 0,00878 — теоретический титр 0,1 н.  $NaOH$  по  $HBF_4$ , г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,1 н.  $NaOH$ ;  $A$  — содержание фторбората меди, г/л (см. с. 72); 0,740 — коэффициент пересчета с фторбората меди на борфтористоводородную кислоту.

**Электролит свинцевого.** *Необходимые реактивы.*  $MgSO_4 \times 7H_2O$  — насыщенный раствор;  $NaOH$  — 0,1 н. раствор; глицерин нейтрализованный; фенолфталеин; метиловый оранжевый.

*Ход анализа.* Отбирают 5 мл разбавленного в 10 раз электролита (0,5 мл исходного) в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляют 15 мл  $MgSO_4$ , 50 мл воды и кипятят 1 ч,

используя обратный воздушный холодильник. Раствор охлаждают и титруют едким натром по метиловому оранжевому до перехода окраски раствора из розовой в желтую. К оттитрованной пробе прибавляют 8—10 капель фенолфталеина, 10 мл глицерина и титруют едким натром до появления розовой окраски раствора. Прибавляют еще 10 мл глицерина и, если розовая окраска не исчезнет, титрование считают законченным.

Содержание (г/л) определяют по формуле

$$HBF_4 = \left( v \cdot k - \frac{D}{0,008147 \cdot 2000} \right) \times 0,002195 \cdot 2000,$$

где  $v$  — количество 0,1 н.  $NaOH$ , израсходованного на титрование пробы с метиловым оранжевым, мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,1 н.  $NaOH$ ;  $D$  — содержание фторбората свинца, г/л (см. с. 77); 0,008147 — теоретический титр 0,1 н.  $NaOH$  по  $Pb(BF_4)_2$ , г/мл; 2000 — коэффициент пересчета с 0,5 мл на 1 л; 0,002195 — теоретический титр 0,1 н.  $NaOH$  по  $HBF_4$ , г/мл.

Содержание (г/л) определяют по формуле

$$H_3BO_3_{общ} = v_1 \cdot 0,006184k \cdot 2000,$$

где  $v_1$  — количество 0,1 н.  $NaOH$ , израсходованного на титрование борной кислоты (с фенолфталеином), мл; 0,006184 — теоретический титр 0,1 н.  $NaOH$  по  $H_3BO_3$ , г/мл; остальные обозначения см. выше. Расчет содержания (г/л) проводят по формуле

$$H_3BO_3_{звоб} = H_3BO_3_{общ} - (D \cdot 0,253 + E \cdot 0,7042),$$

где  $D$  — содержание фторбората свинца, г/л; 0,2530 — коэффициент пересчета с  $Pb(BF_4)_2$  на  $H_3BO_3$ ;  $E$  — содержание  $HBF_4$ , г/л; 0,7042 — коэффициент пересчета с  $HBF_4$  на  $H_3BO_3$ .

**Аммиак, сернокислый и хлористый аммоний.** Электролит медиения. *Необходимые реактивы.*  $HCl$  — 0,1 н. раствор;  $NaOH$  — 0,1 н. раствор; формальдегид  $HCHO$  — 40 %-ный раствор; фенолфталеин; метиловый оранжевый.

*Ход анализа.* Для определения аммиака 10 мл электролита разбавляют

в мерной колбе до 200 мл водой, отбирают аликвоту 10 мл (0,5 мл исходного электролита) в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляют 50 мл воды, несколько капель метилового оранжевого и титруют соляной кислотой. Содержание (г/л) определяют по формуле

$$\text{NH}_4\text{OH} = \frac{v \cdot 0,0035k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество 0,1 н. HCl, израсходованной на титрование по метиловому оранжевому, мл; 0,0035 — теоретический титр 0,1 н. HCl по  $\text{NH}_4\text{OH}$ , г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,1 н. HCl.

Содержание (мл/л) рассчитывают по формуле

$$\text{NH}_4\text{OH} = \frac{A}{\gamma \cdot B}$$

где  $A$  — содержание  $\text{NH}_4\text{OH}$ , г/л;  $\gamma$  — плотность  $\text{NH}_4\text{OH}$ , г/см<sup>3</sup>;  $B$  — содержание  $\text{NH}_4\text{OH}$ , %, соответствующее данной плотности.

Для определения сульфата аммония в раствор (после определения аммиака) добавляют 20 мл формальдегида, предварительно нейтрализованного 0,1 н. NaOH по фенолфталеину, вводят 30 мл NaOH, 4—5 капель фенолфталеина и оттитровывают избыток щелочи соляной кислотой до обесцвечивания раствора.

Расчет содержания (г/л) выполняют по формуле

$$\begin{aligned} (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 &= \\ &= \frac{(v_1 - v_2) \cdot 0,0066k \cdot 1000}{m} \\ &= A \cdot 1,885, \end{aligned}$$

где  $v_1$  — количество 0,1 н. NaOH, введенного в раствор, мл;  $v_2$  — количество 0,1 н. HCl, израсходованной на титрование избытка едкого натра по фенолфталеину, мл;  $C$  — соотношение концентраций 0,1 н. растворов NaOH и HCl (определяют титрованием 10 мл NaOH соляной кислотой по фенолфталеину);  $k$  — коэффициент нормальности 0,1 н. NaOH; 0,0066 — теоретический титр 0,1 н. NaOH по  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , г/мл; 1,885 — коэффициент пересчета с  $\text{NH}_4\text{OH}$  на  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ;  $A$  — содержание  $\text{NH}_4\text{OH}$ , г/л.

Электролит цинкования.  
Необходимые реактивы.  $\text{AgNO}_3$  —

0,1 н. раствор;  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  — 5 %-ный раствор.

**Ход анализа.** Разбавляют 5 мл электролита в мерной колбе водой до 100 мл и отбирают аликвоту 2 мл (0,1 мл исходного электролита) в коническую колбу вместимостью 250 мл. Добавляют 50 мл воды, 0,5 мл  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  и титруют нитратом серебра до появления бурой окраски осадка хромата серебра. Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$\text{NH}_4\text{Cl} = \frac{v \cdot 0,00535k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество 0,1 н.  $\text{AgNO}_3$ , израсходованного на титрование, мл; 0,00535 — теоретический титр 0,1 н.  $\text{AgNO}_3$  по  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,1 н.  $\text{AgNO}_3$ .

**Борная кислота. Необходимые реактивы.** NaOH — 0,1 н. раствор; NaOH — 20 %-ный раствор; NaOH, не содержащий  $\text{CO}_2$ , — 10 %-ный раствор; HCl — 1 : 1; HCl — 1 : 2; фенолфталеин; глицерин нейтральный.

**Ход анализа.** Отбирают 5 мл электролита в мерную колбу вместимостью 200 мл, добавляют 100 мл воды, нагревают до кипения и добавляют горячей 20 %-ный NaOH до щелочной реакции по фенолфталеину. Если в электролите присутствуют соли аммония, раствор кипятят 25—30 мин. После охлаждения раствора с осадком разбавляют раствор до метки водой и фильтруют через сухой фильтр в сухую мерную колбу вместимостью 100 мл до метки. Фильтрат (100 мл) переносят в коническую колбу вместимостью 500 мл и нейтрализуют HCl (1 : 2) до кислой реакции по бумаге конго, добавляют 8 мл HCl (1 : 1) и кипятят 30 мин с обратным воздушным холодильником для удаления  $\text{CO}_2$ . Раствор охлаждают и нейтрализуют 10 %-ным NaOH до появления розового окрашивания и затем HCl (1 : 1) до исчезновения розовой окраски. Добавляют 20 мл глицерина и титруют в присутствии фенолфталеина до устойчивого перехода окраски раствора из синей в малиновую или розовую.

Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$\text{H}_3\text{BO}_3 = \frac{v \cdot 0,006184k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество раствора NaOH, помещенное на титрование, мл; 0,006184 — теоретический титр 0,1 н. раствора NaOH по  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , г/мл;  $k$  — коэффициент нормальности.

**Сульфат. Ход анализа.** В колбу вместимостью 250 мл (при объеме окончания анализа — 750 мл) отбирают 10 мл электролита, добавляют 150 мл воды и 10 мл HCl. Затем осторожно небольшими порциями при перемешивании прибавляют 10 мл  $\text{H}_2\text{O}_2$  (цвет раствора меняется от коричневого до зеленого). Содержимое колбы нагревают при периодическом перемешивании до появления крупных пузырей, кипятят еще 5 мин, прибавляют 10 мл  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , нагревают до кипения, затем небольшими порциями при перемешивании добавляют 20 мл горячего (80—90 °C)  $\text{BaCl}_2$  и кипятят 10 мин. Осадок без выстывания отфильтровывают на двойной фильтре «сияя лента», промывают 5—6 раз горячей водой до исчезновения синеватой окраски на фильтре, сушат, прокалывают 40 мин при 700 °C, охлаждают и взвешивают.

Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$\text{SO}_4^{2-} = \frac{A \cdot 0,4115 \cdot 1000}{m}$$

где  $A$  — масса осадка сульфата бария после прокалывания;  $g$ ; 0,4115 — коэффициент пересчета с  $\text{BaSO}_4$  на сульфат-ион.

## АНАЛИЗ РАСТВОРОВ ДЛЯ ОКСИДИРОВАНИЯ И ФОСФАТИРОВАНИЯ

**Раствор щелочного оксидирования стали. Отбор проб для анализа.** Наливают 100 мл раствора при рабочей температуре ванны (140 °C) в сухую взвешенную мерную колбу вместимостью 100 мл, охлаждают, взвешивают, переливают в мерную колбу вместимостью 500 мл, разбавляют до метки водой и фильтруют в сухую колбу через кашину из фильтра или гигроскопическую вату. Температуру отбора пробы указывают в свидетельстве на результаты анализа раствора.

Количество исходного раствора (г), взятого для анализа,

$$m = \frac{a \cdot b}{b}$$

где  $a$  — навеска исходного раствора;  $g$ ;  $b$  — объем раствора, до которого производят разбавление, мл;  $v$  — количество разбавленного раствора, взятого для определения, мл.

**Ход анализа.** Для определения едкого натра отбирают 10 мл разбавленного отфильтрованного раствора (0,2 г) в мерную колбу вместимостью 100 мл и разбавляют водой до метки; 10 мл раствора переносят в коническую колбу вместимостью 250 мл, добавляют 50 мл воды, 2—3 капли фенолфталеина и титруют 0,1 н. HCl.

Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$\text{NaOH} = \frac{v \cdot 0,004k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество 0,1 н. HCl, израсходованной на титрование пробы с фенолфталеином, мл; 0,004 — теоретический титр 0,1 н. HCl по NaOH, г/мл;  $m$  — количество раствора, взятого для анализа, г.

**Раствор фосфатирования стали.** Общую и свободную кислотность (число точек) выражают количеством миллилитров точно отмеренного 0,1 н. NaOH, израсходованного на титрование 10 мл исходного раствора. Числом точек при титровании с фенолфталеином определяют общую кислотность раствора с метиловым оранжевым — свободную кислотность (содержание кислоты, не вошедшее в соединение с металлом).

**Необходимые реактивы.** NaOH — 0,1 н. раствор; фенолфталеин; метиловый оранжевый.

**Ход анализа.** К 10 мл исходного раствора в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 40 мл воды, 3—4 капли метилового оранжевого и титруют едким натром до перехода розовой окраски в желтую; добавляют 4—5 капель фенолфталеина и титруют до появления исчезающей розовой окраски раствора. Общая кислотность равна произведению  $v \cdot k$ , свободная кислотность —  $v_1 \cdot k$  ( $v$  — общее количество 0,1 н. NaOH, израсходованного на титрование с метиловым оранжевым



и фенолфталеином, мл;  $v_1$  — количество 0,1 н. NaOH, израсходованного на титрование с метиловым оранжевым, мл;  $k$  — коэффициент нормальности раствора NaOH).

Растворы для окисливания алюминиевых сплавов. Серникоислый йодный раствор. *Необходимые реактивы.* NaOH — 0,5 н. раствор; метиловый оранжевый; 20 %-ный раствор KF.

*Ход анализа.* Разбавляют в мерной колбе 10 мл электролита водой до 250 мл. К аликвоте 25 мл (1 мл исходного электролита) в конической колбе вместимостью 250 мл добавляют 25 мл воды, 2—3 капли индикатора и титруют едким натром до перехода розовой окраски раствора в желтую. Перед титрованием вводят 20 мл раствора KF.

Содержание (г/л) рассчитывают по формуле

$$H_2SO_4 = \frac{v \cdot 0,02452k \cdot 1000}{m}$$

где  $v$  — количество 0,5 н. NaOH, израсходованного на титрование, мл;  $k$  — коэффициент нормальности 0,5 н. NaOH; 0,02452 — теоретический титр 0,5 н. NaOH по  $H_2SO_4$ , г/мл.

1. Потенциалы полуваги (В) некоторых металлов, измеренные при 20 °С методом быстрой полярографии по отношению к Ag/AgCl электроду

Ион металла	Фоновые растворы							
	2M CH <sub>3</sub> COOH + 2M CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	1M NH <sub>3</sub> + 1M NH <sub>4</sub> Cl	1M KCl	1M NaF	1M HCl	1M NaOH	0.1M KNO <sub>3</sub>	0.3M триэтаноламина + 0.1M KOH
Sb <sup>3+</sup>	-0,50; -0,38	-0,12	Нет волны	-0,71	-0,13 *	-0,38; -1,16	-0,11	-0,88
As <sup>3+</sup>	-1,40; -1,00	-1,70	То же	-1,55	-0,45; -0,69	-0,24	-0,75	-0,3 **
Pb <sup>2+</sup>	-0,47	Осадок	-0,40 *	-0,42	-0,47	-0,70 *	-0,36	-0,92
Cd <sup>2+</sup>	-0,65	Осадок	-0,61 *	-0,57	-0,63 *	-0,55 *	-0,82	-0,82
Cu <sup>2+</sup>	-1,38	Осадок	-1,15	-1,1	Нет волны	-1,6 **	-1,05	Нет волны
Cr <sup>3+</sup>	Нет волны	-0,27; -1,48; -1,0	-0,98; -0,45 **	-0,30; -1,00	-1,6; То же	-0,91	-1,05; -1,37	-1,32
Fe <sup>2+</sup>	-0,10; -1,07	Осадок	-1,40 **	-1,40 **	»	Осадок	Нет волны	-0,92; -0,97
Fe <sup>3+</sup>	-0,10; -0,22; -1,07	»	Нет волны	Нет волны	»	»	»	»
Co <sup>2+</sup>	Нет волны	-1,17	-1,50	-1,43	»	»	-1,30; 1,68	Нет волны

Хромовоокислый раствор. Определение хромовой кислоты и окиси хрома производят согласно методике на с. 73,74.

**ПОЛЯРОГРАФИЯ**

Быстрое определение содержания ионов металла в электролитах и растворах проводят методом полярографии, сущность которого состоит в регистрации зависимости потенциал — плотность тока на ртутном капельном катоде. При этом величина потенциала полуваги  $E_{1/2}$  определяет тип анализируемого иона, а величина диффузионной плотности тока — его концентрацию. Для записи полярограмм используют стандартные полярограммы.

Метод полярографии применяется для анализа электролитов и осадков электролитических сплавов.

Значения  $E_{1/2}$  при определении содержания ионов различных металлов с использованием некоторых фоновых растворов приведены в табл. 1. Диффузионный ток связан с концентрацией определяемого иона зависимостью

$$i_d = 607zD^{1/2}Cm^{2/3}t^{1/6}$$

Продолжение табл. 1

Ион металла	Фоновые растворы							
	2M CH <sub>3</sub> COOH + 2M CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	1M NH <sub>3</sub> + 1M NH <sub>4</sub> Cl	1M KCl	1M NaF	1M HCl	1M NaOH	0.1M KNO <sub>3</sub>	0.3M триэтаноламина + 0.1M KOH
Cu <sup>2+</sup>	-0,05 -0,49	Нет волны	-0,21	0,0	-0,23	-0,30; -0,32	0,0	Нет волны
Mo <sup>6+</sup>	-0,68; -1,22; -1,56 -1,10	-1,05	-1,72; -0,34 **	-1,31 **	-0,10	Нет волны	-1,05	-1,35
Ni <sup>2+</sup>	-0,5 **	Нет волны	-1,83 **	-1,30 **	Нет волны	Осадок	Нет волны	Нет волны
Pd <sup>2+</sup>	-0,71 *; -1,18	-1,60	Нет волны	-0,74	0	То же	То же	То же
Se <sup>4+</sup>	-0,20	Нет волны	-0,06 *	-1,40	-1,45 *; -2,09	-0,58	-1,25; 0,0; 0,15 *	-0,58
W <sup>6+</sup>	-0,2 **; -0,8 **	То же	-1,16	-1,40	Нет волны	-0,87	Нет волны	Нет волны
Zn <sup>2+</sup>	-1,04	-1,30	-1,02	-1,07	-0,63; -0,48 **	Осадок	-1,51	-0,97
Sn <sup>2+</sup>	-0,13; -0,67	—	-0,47	-1,00 **	Нет волны	То же	Нет волны	Нет волны
Sn <sup>4+</sup>	Нет волны	—	-0,47	Нет волны	-0,47	То же	То же	То же

\* Четкая волна.  
\*\* Нечеткая волна.

где  $i_d$  — средний диффузионный ток (мкА) во время жизни капли;  $z$  — количество электронов, участвующих в превращении одного иона на электроде;  $D$  — коэффициент диффузии разряжающегося иона, см<sup>2</sup>/с;  $C$  — концентрация определяемого иона, ммоль/л;  $m$  — количество ртути, протекающее через данный капилляр в единицу времени, мл/с;  $t$  — период капания, с.

Смесь индикаторов растворяют в 500 мл спирта и добавляют раствор NaOH до появления желтой окраски. Для определения pH к 10 мл исследуемого раствора прибавляют одну каплю комбинированного индикатора. В зависимости от величины pH раствор приобретает следующую окраску: при pH2 — красную, pH4 — оранжевую, pH6 — желтую, pH8 — зеленую, pH10 — синюю.

С помощью индикаторной бумаги величину pH можно определить с точностью до 0,5. Индикаторную бумагу готовят пропитыванием фильтровальной бумаги спиртовым раствором следующего состава (г):

фенолфталеин	1,3
метиловый синий	0,9
метиловый красный	0,4
метиловый синий	0,2

Индикаторы растворяют в 1 л спирта и затем добавляют небольшое количество 0,1 н. NaOH до появления зеленой окраски раствора. После этого пропитанную индикатором бумагу вы-

**КОНТРОЛЬ КИСЛОТНОСТИ**

Калориметрический метод. Метод основан на изменении окраски растворов индикаторов или смесей индикаторов в определенном интервале изменения pH (табл. 2 и 3).

Для ориентировочного определения pH применяют комбинированный индикатор следующего состава (г):

фенолфталеин	0,1
метиловый красный	0,2
диметиловый желтый	0,3
бромтимоловый синий	0,4
тимоловый синий	0,5



## 2. Переходные интервалы pH индикаторов

Индикатор	Цвет раствора при увеличении pH в области		Переходный интервал pH
	кислой	щелочной	
Эозин	Желтый	Фиолетовый	0,0—3,0
Метиловый зеленый	»	Зеленый	0,1—2,0
Метилвиолет	»	Фиолетовый	0,1—3,2
Сафранин	Синий	Красный	0,3—1,0
Хингидриновый красный	Бесцветный	»	1,0—2,0
Метиловый желтый	Красный	Желтый	1,2—2,3
Тимоловый синий	»	»	1,2—2,8
Ализариновый желтый	»	»	1,9—3,5
Бензильдиазобензол	Розовый	»	2,3—3,3
Коио красный	Синий	Красный	3,0—3,0
Бромфеноловый синий	Желтый	Синий	3,0—4,6
Метиловый оранжевый	Красный	Желтый	3,1—4,4
Бромкрезоловый зеленый	Желтый	Синий	3,8—5,4
Метиловый красный	Красный	Желтый	4,2—6,3
п-Нитрофенол	Бесцветный	»	5,0—7,0
Бромкрезолпурпур	Желтый	Пурпурный	5,2—6,3
Лакмус	Красный	Синий	6,0—8,0
Нейтральный красный	»	Желтый	6,5—8,0
α-Нафтолфталеин	Розовый	Зеленый	7,3—8,7
Тропеолин 000	Желтый	Красный	7,6—8,9
Тимоловый синий	»	Синий	8,0—9,6
Фенолфталеин	Бесцветный	Красный	8,3—10,0
Фенилфталеин	»	Синий	9,3—10,5
Ализариновый желтый	Желтый	Красный	10,1—12,1
Тропеолин 0	»	Оранжево-коричневый	11,1—12,7
Бензопурпурин 4В	Оранжевый	Красный	13,0—14,0

## 3. Изменение окраски смешанных индикаторов

Смесь индикаторов	pH точки перехода	Цвет индикатора в области	
		кислой	щелочной
Метиловый желтый+метиловый синий	3,25	Сине-фиолетовый	Зеленый
Метиловый оранжевый+индиго кармин	4,1	Фиолетовый	Зеленый
Na-соль метилового красного+альфазурин	4,8	Пурпурный	Зеленый
Бромкрезоловый зеленый+метиловый красный	5,1	Красный	Зеленый
Метиловый красный+метиловый синий	5,4	Красно-фиолетовый	Зеленый
Na-соль бромкрезолового синего+Na-соль хлорфенолового красного	6,1	Желто-зеленый	Сине-фиолетовый
Na-соль бромкрезолового пурпурного+Na-соль бромтимолового синего	6,7	Желтый	Фиолетово-синий
Нейтральный красный+метиловый синий	7,0	Желтый	Зеленый
Na-соль бромтимолового синего+Na-соль фенолового красного	7,5	Желтый	Фиолетовый
Na-соль фенолового красного+Na-соль креолового красного	8,3	Желтый	Фиолетовый
α-Нафтолфталеин+фенолфталеин	8,9	Розовый	Фиолетовый
Фенолфталеин+тимолфталеин	9,9	Бесцветный	Фиолетовый

Снижают на воздухе. В зависимости от величины pH индикаторная бумага принимает следующую окраску: при pH 2 — красную, pH 5 — оранжевую, pH 6 — желтую, pH 7 — зеленую, pH 8 — голубую, pH 9 — синюю, pH 10 — фиолетовую.

При большом содержании солей изменение pH, полученное колориметрическим методом, может заметно отличаться от действительного значения. В этом случае опытным путем при помощи буферных растворов устанавливают так называемую солевую ошибку. Некоторые индикаторы, например тимоловый синий и метиловый красный, не дают солевой ошибки.

Для определения pH используют также индикаторные бумаги в виде специально сброшюрованных книжек. Они бывают как универсальными (с цветной шкалой pH от 1 до 10), так и предназначенными для контроля конкретно в определенном интервале значений pH.

Потенциометрический метод основан на измерении разности потенциалов между электродом сравнения и индикаторным электродом, потенциал которого зависит от концентрации водородных ионов.

Электроды сравнения обычно бывают каломельный, стандартный хингидронный или хлорсеребряный электроды. Потенциалы двух первых электродов при различных температурах приведены в табл. 4.

Потенциал хлорсеребряного электрода определяется температурой и активностью хлор-иона:

$$E_{\text{Ag}/\text{AgCl}} = 0,2224 - 0,0002T \lg a_{\text{Cl}^-}$$

Индикаторными электродами являются хингидронный, сурьмяно-окисный или стеклянный.

4. Потенциалы (В) каломельного и хингидронного электродов сравнения при различных температурах

Температура, °С	Электрод				Температура, °С	Электрод			
	каломельный		хингидронный	каломельный			хингидронный		
	0,1 н.	1 н.		насыщенный		0,1 н.		1 н.	насыщенный
15	0,3571	0,2852	0,2503	0,6916	21	0,3367	0,2838	0,2464	0,6962
16	0,3575	0,2850	0,2497	0,6925	23	0,3367	0,2835	0,2458	0,6970
17	0,3370	0,2847	0,2490	0,6933	23	0,3366	0,2833	0,2451	0,6977
18	0,3369	0,2845	0,2483	0,6940	24	0,3366	0,2830	0,2445	0,6985
19	0,3369	0,2842	0,2477	0,6948	25	0,3365	0,2828	0,2438	0,6992
20	0,3368	0,2840	0,2471	0,6955					

Хингидронный электрод представляет собой платиновую проволоку или пластинку, погруженную в испытуемый раствор, в который добавлена щепотка хингидрона. Хингидронный электрод используют для измерения pH в кислой и нейтральной областях (при pH < 8). Он неприменим в растворах сильных окислителей или восстановителей и в сильно концентрированных растворах. Для этого электрода

$$pH = \frac{(E_x^0 - E_k) - E}{0,0591 + 0,0002(t - 25)}$$

где  $t$  — температура, °С;  $E$  — величина измеренной ЭДС;  $E_x^0$  — потенциал хингидронного электрода;  $E_k$  — каломельного электрода. Разность потенциалов  $(E_x^0 - E_k)$  приведена в табл. 5.

Сурьмяно-окисный электрод представляет собой тонкую палочку сурьмы, покрытую трехокисью сурьмы  $Sb_2O_3$ , погруженную в испытуемый раствор. Интервал измерения pH от 2 до 12. С помощью этого электрода pH определяют по формулам:

в интервале 2—4

$$pH = \frac{E - E_c + 0,254 - 0,0013(t - 25)}{0,0636}$$

в интервале 5—12

$$pH = \frac{E - E_c + 0,254 - 0,0022(t - 25)}{0,0536}$$

где  $E$  — измеренная ЭДС, а  $E_c$  — потенциал электрода сравнения.

Стеклянный электрод представляет собой шарик из тонкого специального стекла, заключенный стандартным раствором

втором, в который погружена серебряная проволока, имеющая на поверхности слой хлористого серебра.

При измерении рН стеклянный электрод погружают в исследуемый раствор. Калибровку стеклянного электрода проводят с помощью стандартных буферных растворов с известной

величиной рН табл. (6 и 7), в результате чего строят график в координатах ЭДС — рН.

Измерение разности потенциалов между электродом сравнения и индифферентным электродом проводят с помощью катодных вольтметров и специальных электронных рН-меров.

5. Разность потенциалов (В) между хингидронным и каломельными электродами ( $E_{\text{Х}}^{\text{С}} - E_{\text{к}}$ )

Температура, °С	Электрод каломельный			Температура, °С	Электрод каломельный		
	0,1 н.	1 н.	насыщенный		0,1 н.	1 н.	насыщенный
15	0,3517	0,4066	0,4415	21	0,3695	0,4124	0,4198
16	0,3555	0,4075	0,4428	22	0,3603	0,4135	0,4512
17	0,3563	0,4086	0,4443	23	0,3611	0,4144	0,4526
18	0,3571	0,4095	0,4457	24	0,3619	0,4155	0,4540
19	0,3579	0,4106	0,4471	25	0,3627	0,4164	0,4554
20	0,3587	0,4115	0,4484				

6. Состав буферных растворов (мл) с рН 1,04—6,98 при 18 °С

рН	Глицин	НСI	Цитрат	NaOH	КН <sub>2</sub> РO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> НРO <sub>4</sub>
1,04	—	10,0	—	—	—	—
1,15	1,0	9,0	—	—	—	—
1,25	2,0	8,0	—	—	—	—
1,42	3,0	7,0	—	—	—	—
1,65	4,0	6,0	—	—	—	—
1,93	5,0	5,0	—	—	—	—
2,28	6,0	4,0	—	—	—	—
2,61	7,0	3,0	—	—	—	—
2,92	8,0	2,0	—	—	—	—
3,34	9,0	1,0	—	—	—	—
3,53	—	5,25	—	—	—	—
3,68	9,5	0,5	4,75	—	—	—
3,69	—	5,0	5,0	—	—	—
3,95	—	4,5	5,5	—	—	—
4,16	—	4,0	6,0	—	—	—
4,45	—	3,0	7,0	—	—	—
4,65	—	2,0	8,0	—	—	—
4,83	—	1,0	9,0	—	—	—
4,89	—	0,5	9,5	—	—	—
4,96	—	—	10,0	—	—	—
5,02	—	—	—	—	—	—
5,11	—	—	9,5	0,5	—	—
5,31	—	—	9,0	1,0	—	—
5,57	—	—	8,0	2,0	—	—
5,91	—	—	7,0	3,0	—	—
5,97	—	—	6,0	—	9,0	1,0
6,24	—	—	—	4,0	—	—
6,47	—	—	—	—	8,0	2,0
6,64	—	—	—	—	7,0	3,0
6,81	—	—	—	—	6,0	4,0
6,98	—	—	—	—	5,0	5,0
					4,0	6,0

Примечания. 1. Исходные растворы: 0,1 М НСI; 0,1 М глицин (7,505 г глицина + 5,85 NaCl на 1 л); 0,1 М цитрат натрия (21,008 г моногидрата лимонной кислоты + 200 мл 1 н. NaOH на 1 л); 0,1 н. NaOH; 1/15 М (9,078 г КН<sub>2</sub>РO<sub>4</sub> на 1 л); 1/15 М (11,876 Na<sub>2</sub>РO<sub>4</sub> на 1 л); 0,2 М борат (12,404 г Н<sub>2</sub>ВO<sub>4</sub> + 100 мл 1 н. NaOH на 1 л.)

2. Буферный раствор нужного рН можно получить смешиванием двух исходных растворов. В некоторых случаях буферные растворы известного рН приготавливаются из одного

7. Состав буферных растворов (мл) с рН 7,17—12,97 при 18 °С

рН	Глицин	НСI	NaOH	КН <sub>2</sub> РO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> НРO <sub>4</sub>	Борат
7,17	—	—	—	3,0	7,0	—
7,38	—	—	—	2,0	8,0	—
7,62	—	4,75	—	—	—	5,25
7,73	—	—	—	1,0	9,0	—
7,94	—	4,5	—	—	—	5,05
8,04	—	—	—	0,5	9,5	—
8,14	—	4,25	—	—	—	5,75
8,24	9,75	—	0,25	—	—	—
8,29	—	4,0	—	—	—	6,0
8,51	—	3,5	—	—	—	6,5
8,58	9,5	—	0,5	—	—	—
8,68	—	3,0	—	—	—	7,0
8,80	—	2,5	—	—	—	7,5
8,91	—	2,0	—	—	—	8,0
8,93	9,0	—	1,0	—	—	—
9,01	—	1,5	—	—	—	8,5
9,09	—	1,0	—	—	—	9,0
9,17	—	0,5	—	—	—	9,5
9,24	—	—	—	—	—	10,0
9,36	—	—	1,0	—	—	9,0
9,68	—	—	3,0	—	—	—
9,71	7,0	—	3,0	—	—	6,0
9,97	—	—	4,0	—	—	—
10,14	6,0	—	4,0	—	—	—
10,48	5,5	—	4,5	—	—	—
11,07	5,1	—	4,9	—	—	—
11,31	5,0	—	5,0	—	—	—
11,57	4,9	—	5,1	—	—	—
12,10	4,5	—	5,5	—	—	—
12,40	4,0	—	6,0	—	—	—
12,67	3,0	—	7,0	—	—	—
12,86	2,0	—	8,0	—	—	—
12,97	1,0	—	9,0	—	—	—

Примечание. См. примечания к табл. 6.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ

Химические методы. Капельный метод заключается в том, что покрытие растворяют последовательно наносимыми и выдерживаемыми в течение определенного промежутка времени каплями раствора (при этом используют капельницу с внутренним диаметром капилляра 1,5—2,0 мм).

Операцию повторяют до тех пор, пока на месте снятых фильтровальной бумагой каплей не обнажится сплошной участок основного металла.

Капельный метод непригоден для измерения толщины покрытия на сложных профилированных и мелких деталях, так как капля раствора не может удержаться требуемое время на испытуемом участке и растекается. Точность метода для покрытия толщиной 2 мкм и более колеблется в пределах ±30 %.

Испытание проводят следующим образом. Участок поверхности детали, на котором определяют толщину покрытия, предварительно тщательно обезжиривают венской известью, окисью магния или органическими растворителями, промывают водой и сушат фильтровальной бумагой.

Детали с верхним никелевым слоем для снятия пассивной пленки после обезжиривания прогирают ватным тампоном, смоченным раствором НСI (1 : 1), промывают водой и просушивают.

Если верхний слой контролируемого образца — хром, то его растворяют в НСI (1 : 1), причем для ускорения начала растворения рекомендуют коснуться хромированной поверхности цинковой палочкой, затем образец промывают водой и высушить. Для снятия пассивной или фосфатной пленки насивированные (хромированные), оцинкованные и кадмированные или

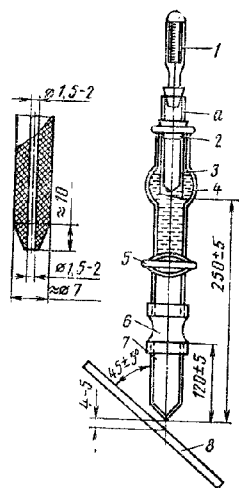


Рис. 1. Схема установки для определения толщины покрытий струйно-периодическим методом

фосфатированные оцинкованные детали перед испытанием быстро протирают ватным тампоном, обернутым марлей и смоченным раствором  $\text{HCl}$  (1:8), промывают водой и просушивают. Толщину лучше определять до пассивации и фосфатирования. После указанных операций с помощью капельницы на поверхность покрытий наносят одну каплю соответствующего раствора и выдерживают ее на поверхности в течение времени, указанного в табл. 8. По истечении этого времени каплю удаляют фильтровальной бумагой, насухо вытирают и на то же место наносят следующую каплю свежего раствора.

Нанесение капель продолжают до обнажения основного металла при одностороннем покрытии, или предыдущего слоя при многослойных покрытиях, или контактно выделенного металла, что устанавливают по изменению окраски в месте нанесения капель.

Толщина покрытий (мкм)  $\delta = (n - 0,5) \cdot \delta_n$ , где  $n$  — число капель раствора, требующееся для обнажения сплошного участка основного металла или подслоя;  $\delta_n$  — толщина покрытия, снимаемого одной каплей в течение заданного времени, мкм.

Толщина никелевых покрытий, полученных из электролитов, содержащих блескообразующие добавки,  $\delta = 0,8 (n - 0,5) \cdot \delta_n$ .

Для определения толщины покрытий на мелких деталях, а также на пружинах с диаметром проволоки менее 0,5 мм контролируемые участки рационально погружать в капли раствора, нанесенные на стекло.

Составы растворов, применяемых при капельном методе, указаны в табл. 8. Значения  $\delta_n$  при разных температурах — в табл. 9.

Струйный метод, как и капельный, предназначен для определения местной толщины покрытий на поверхностях, площадь которых не менее 0,3 см<sup>2</sup>. Этот метод не применяют для деталей, профиль которых препятствует стеканию раствора.

Толщину покрытия определяют при струйном методе по продолжительности действия растворителя, подаваемого с определенной скоростью на поверхность контролируемой детали.

Существуют два варианта струйного метода: струйно-периодический (толщину покрытий рассчитывают по времени, затраченному на растворение покрытия) и струйно-объемный (толщину покрытия рассчитывают по объему раствора, израсходованного на растворение покрытия).

**Струйно-периодический метод.** При измерении используют установку (рис. 1), состоящую из каплевой воронки 1 с краном 5. К нижнему концу воронки присоединяют при помощи резиновой трубки 2 капиллярную трубку 7, из которой должен подаваться раствор на поверхность образца 8. Капиллярная трубка 7 представляет собой толстостенную стеклянную (барометрическую) трубку длиной  $120 \pm 5$  мм с внутренним диаметром 1,5—2,0 мм. Капиллярную трубку калибруют таким образом, чтобы при полном открывании крана 5 при постоянных давлении и температуре 18—20 °С за 30 с из воронки вытекало  $10 \pm 0,1$  мл дистиллированной воды.

Постоянное давление устанавливают с помощью стеклянной трубки 3, вставленной через пробку 2 в горлышко воронки и имеющей отверстие  $a$  для поступающего в воронку воздуха. Нижний конец стеклянной трубки 3 должен находиться в растворе в постоянном

### 3. Растворы для определения толщины покрытий капельным методом

Покрытие	Основной металл или металл подслоя	Компоненты раствора	Концентрация компонента, г/л	Время выдержки одной капли, с	Признак окончательной измерения
Цинковое Кадмиевое	Сталь, медь и ее сплавы	KJ J <sub>2</sub>	200 100	60 30	Основной металл
Медное	Сталь, никель	AgNO <sub>3</sub>	44	60	Темное пятно на стали или белое на никеле
Никелевое	Сталь, медь и ее сплавы	FeCl <sub>3</sub> CuSO <sub>4</sub>	300 100	30	Розовое пятно
Серебряное	Медь и ее сплавы	1. KJ J <sub>2</sub>	400 180	60	Основной металл
		2. Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	300		
Оловянное	Сталь, медь и ее сплавы	FeCl <sub>3</sub> CuSO <sub>4</sub> HCl (1н.)	50 20 1500 мл/л	30	Розовое пятно
		HBF <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O	10 мл 2,5 мл 90 мл		
Сплав олово-свинец (ПОС)				30	Основной металл
Хромовое	Сталь, никель	HCl	325	см. примечание 3	Темное пятно
Латунное	Сталь	AgNO <sub>3</sub>	44	30	Желтое пятно

Примечания. 1. При измерении толщины серебряных покрытий наносят каплю раствора 1 и выдерживают в течение 60 с, после чего удаляют фильтровальной бумагой; затем на то же место наносят каплю раствора 2, выдерживают в течение 30 с и удаляют фильтровальной бумагой. Операции повторяют до обнажения основного металла подслоя. При расчете толщины покрытия учитывают только количество капель раствора 1, так как раствор 2 является дополнительным, применяемым для удаления йодида серебра, образующегося при растворении серебра.

2. При контроле никелевых покрытий толщиной менее 3 мкм время выдержки одной капли сокращается до 15 с.

3. При испытании хромовых покрытий капли раствора выдерживают в течение 15 с для покрытий толщиной < 1 мкм, 30 с — для покрытий толщиной < 2 мкм и 60 с — толщиной > 2 мкм.

4. При испытании латунных покрытий необходимо следить, чтобы капли контактно выделенного серебра были полностью удалены.

5. На покрытия химическим способом капельный метод не распространяется.

9. Толщина слоя различных покрытий (мкм) \*, растворяемых одной каплей

Температура раствора, °С	Цинковое (60)	Медное (60)	Никелевое (30)	Хромовое (60)	Латунное (30)	Серебряное (30)	Сплав	
							ПОС-40 (30)	ПОС-50 (30)
12	0,87	0,83	0,55	—	—	—	0,68	0,53
13	0,91	0,85	0,57	—	—	—	0,70	0,54
14	0,96	0,87	0,59	—	—	—	0,72	0,55
15	1,01	0,89	0,61	—	—	—	0,73	0,56
16	1,05	0,93	0,63	—	1,17	—	0,75	0,57
17	1,09	0,97	0,65	—	1,19	—	0,77	0,57
18	1,14	1,01	0,67	1,08	1,22	2,70	0,79	0,58
19	1,18	1,05	0,69	1,14	1,23	2,78	0,81	0,58
20	1,24	1,08	0,70	1,20	1,25	2,85	0,83	0,59
21	1,27	1,11	0,71	1,26	1,26	2,90	0,84	0,60
22	1,32	1,14	0,72	1,32	1,27	2,95	0,86	0,60
23	1,36	1,16	0,73	1,38	1,28	3,00	0,88	0,61
24	1,40	1,18	0,74	1,44	1,29	3,05	0,90	0,62
25	1,45	1,20	0,75	1,50	1,30	3,10	0,92	0,63
26	1,52	1,21	—	1,56	1,30	3,14	0,94	0,63
27	1,59	1,23	—	1,62	1,30	3,18	0,96	0,64
28	1,66	1,24	—	1,74	1,30	3,22	0,97	0,65
29	1,73	1,25	—	1,86	1,30	3,26	0,99	0,65
30	1,80	1,26	—	1,98	1,30	3,30	1,03	0,66

Примечания. 1. Толщина слоя кадмиевого покрытия, снимаемого за 30 с при температуре 12—30 °С, равна 1,2 мкм, оловянного — 0,55 мкм.

2. При толщине никелевого покрытия менее 3 мкм одна капля при температуре 18 °С снимает за 15 с слой толщиной 0,3 мкм.

3. Толщина снимаемого слоя покрытий дана для никелевых покрытий, полученных из сернистых электролитов; медных — из сернистых и цианистых; цинковых — из аммиачных и цианистых; серебряных — из цианистых и роданистосинеродистых; сплавов олово-свинец — из борфтористоводородных.

\* В скобках дано время выдержки, с.

10. Растворы для определения толщины покрытий струйным методом

Покрытие	Основной металл или металл подслоя	Компоненты раствора	Концентрация компонента, г/л	Признак окончания измерения
Цинковое	Сталь	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> CuSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ин.)	70 7 70 мл/л	Розовое пятно
Кадмиевое	Сталь, медь и ее сплавы	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> HCl	17,5 17,5	Основной металл
Медное	Сталь	FeCl <sub>2</sub> CuSO <sub>4</sub>	300 100	Розовое пятно
	Цинковый сплав			Черное пятно
Никелевое	Никель	FeCl <sub>2</sub> CuSO <sub>4</sub>	300 100	Белое пятно
	Сталь			Розовое пятно
	Медь и ее сплавы			Розовое или желтое пятно

Продолжение табл. 10

Покрытие	Основной металл или металл подслоя	Компоненты раствора	Концентрация компонента, г/л	Признак окончания измерения
Хромовое	Никель	HCl	220 мл/л	Белое пятно
	Сталь	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> FeCl <sub>2</sub> CuSO <sub>4</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	100 мл/л 60 30 100 мл/л	Розовое пятно
Серебряное	Медь и ее сплавы, никель	KJ J <sub>2</sub>	250 7,5	Основной металл
Медное, сплав медь-цинк (латунь)	Сталь	FeCl <sub>2</sub> HCl CH <sub>3</sub> COOH SbCl <sub>3</sub>	150 150 мл/л 250 мл/л 31	Черное пятно
Свинцовое	Сталь	Кислота метанитро-бензойная	36	Блестящее пятно
	Медь, Латунь	KNO <sub>3</sub> NaOH	72 53	Красное пятно Желтое пятно
Оловянное	Сталь, медь и ее сплавы	FeCl <sub>2</sub> CuSO <sub>4</sub> HCl	15 30 60 мл/л	Нестраемое розовое пятно
Сплав олово-свинец	Медь и ее сплавы	HBF <sub>4</sub>	142	Основной металл

Примечания. 1. При определении толщины хромового покрытия перед началом измерения для разрушения пассивного слоя следует коснуться поверхности детали цинковой палочкой, смоченной в применяемом растворе.

2. При затруднениях в определении конца растворения медных покрытий на стали после появления блестящего розового пятна контактно выделяющейся меди или незадолго до конца растворения (до появления темного пятна) на испытуемый участок периодически наносит из пипетки каплю 1,5 %-ного раствора треххлористой сурьмы в соляной кислоте (1:1). Признаком окончания растворения покрытия является появление темного пятна через 2—3 с после нанесения раствора. До нанесения капли раствора и перед продолжением испытания струей испытуемый участок протирают фильтровальной бумагой.

3. Пленку листового серебра, образующуюся при растворении серебряного покрытия, испытывают струей испытуемый участок протирают ватным тампоном, смоченным раствором тиосульфата натрия, а затем фильтровальной бумагой.

4. При определении толщины покрытия для сплава олово-свинец через покрытие пропускают ток 10 мА.

5. На химические никелевые покрытия струйный метод не распространяется.

положении на расстоянии  $250 \pm 5$  мм от конца капиллярной трубки 7. В трубку 3 вставлен термометр 1.

Прибор готовят для измерения следующим образом: воронку 4 на три четверти наполняют приготовленным раствором, открывают кран 5 воронки и заполняют капиллярную трубку 7. Закрывают кран 5. Горлышко воронки закрывают резиновой пробкой 2. Открывают вновь кран 5 и дают возможность раствору вытекать из воронки до тех пор, пока не начнется равномерное засасывание пузырьков воздуха в воронку через трубку 3, что указывает на установившееся в ней постоянное давление. Для удаления пузырьков воздуха из резиновой соединительной и капиллярной трубок сжимают соединительную трубку 6 при открытом кране 5. Перед началом работы проверяют скорость истечения раствора из капиллярной трубки.

Подготовленный описанным образом прибор укрепляют на штативе так, чтобы конец капиллярной трубки был расположен на расстоянии 4—5 мм от испытываемой поверхности и угол между осью капилляра и поверхностью детали (или в случае криволинейной поверхности, касательной к ней) составлял  $45 \pm 5^\circ$ .

Перед началом определения измеряют температуру раствора; в момент открывания крана 5 включают секундомер; через некоторое время кран закрывают; останавливают секундомер и смотрят, не изменилась ли окраска поверхности в месте падения струи. Если окраска не изменилась, то снова открывают кран и включают секундомер. Так поступают до тех пор, пока в месте падения струи не появится признак окончания измерения. Растворы, применяемые для измерений, и признаки окончания измерения указаны в табл. 10.

При последующих измерениях, когда известно примерно число секунд, в течение которых растворяется данное покрытие, перерывы в измерениях делают возможно реже. Число секунд, в течение которых кран 5 открыт, суммируют.

При измерении толщины многослойных покрытий отдельно отмечают время, затраченное на растворение каждого слоя покрытия, и подсчитывают толщину, как указано ниже.

Толщина покрытия, мкм:  $\delta = \delta_t \cdot t$ , где  $\delta_t$  — толщина покрытия, снимаемого за 1 с, мкм;  $t$  — время, затраченное на растворение покрытия, с.

Значения  $\delta_t$  для различных покрытий приведены в табл. 11.

При расчете толщины в формулу вводят поправочные коэффициенты в виде множителя, равного 1,35 для медных покрытий из цианистых электролитов; 0,7 для кадмиевых из сернокислых электролитов; 1,09 для хромовых блестящих из стандартного электролита; 1,2 для хромовых блестящих из саморегулирующихся электролитов; 1,04 для хромовых матовых из саморегулирующихся электролитов и 1,3 для хромовых матовых из тетрахроматных электролитов.

При расчете толщины никелевых покрытий из электролитов с блескообразующими добавками в формулу вводят коэффициенты, указанные в табл. 12.

**Струйно-объемный метод.** Он заключается в определении объема раствора, израсходованного на растворение покрытия под действием струи, которая вытекает из бюретки с определенной скоростью ( $10 \pm 0,5$  мл в течение 30 с) и падает на поверхность детали под углом  $45^\circ$ .

Установка для измерения состоит из бюретки объемом 50 мл (цена деления 0,1 мл) со стеклянным краном, к которому резиновой трубкой присоединяют капиллярную трубку. Капиллярную трубку калибруют таким образом, чтобы при полном открывании крана за 30 с при температуре  $18-20^\circ\text{C}$  из бюретки вытекало  $10 \pm 0,1$  мл дистиллированной воды.

При измерении фиксируют температуру раствора и открывают полностью кран бюретки. Через некоторое время кран закрывают и смотрят, не изменилась ли окраска поверхности в месте падения струи. Если окраска не изменилась, то снова открывают кран, и так поступают до тех пор, пока окраска поверхности в месте падения струи не изменится.

Для измерений используют растворы, приведенные в табл. 10; об окончании измерений судят по указанным в таблице признакам.

При измерении толщины многослойных покрытий отдельно фиксируют объем раствора, затраченного на рас-

11. Толщина слоя (мкм) различных покрытий, растворяемых за 1 с

Температура, °C	Цинковое	Кадмиевое	Медное	Медное*	Никелевое	Хромовое	Серебряное	Медно-цинковое	Свинцовое	Оловянное
10	0,493	0,180	—	—	—	—	—	—	—	—
11	0,500	0,185	—	—	—	—	—	—	—	—
12	0,515	0,190	0,538	0,443	0,236	—	—	0,443	—	—
13	0,530	0,195	0,568	0,470	0,262	—	—	0,470	—	0,909
14	0,542	0,201	0,602	0,498	0,294	—	0,320	0,498	—	0,930
15	0,560	0,207	0,641	0,526	0,333	0,094	0,340	0,526	—	0,952
16	0,571	0,211	0,685	0,560	0,376	0,101	0,355	0,560	—	0,976
17	0,589	0,217	0,735	0,594	0,424	0,109	0,367	0,594	—	1,100
18	0,610	0,223	0,794	0,629	0,467	0,120	0,380	0,629	—	1,026
19	0,630	0,229	0,862	0,664	0,493	0,131	0,390	0,664	0,907	1,053
20	0,645	0,235	0,926	0,699	0,521	0,139	0,403	0,699	0,980	1,081
21	0,670	0,241	0,980	0,734	0,546	0,147	0,413	0,734	1,020	1,111
22	0,690	0,247	1,042	0,768	0,575	0,156	0,420	0,768	1,058	1,143
23	0,715	0,253	1,099	0,802	0,606	0,164	0,431	0,802	1,087	1,176
24	0,740	0,260	1,163	0,836	0,641	0,169	0,439	0,836	1,124	1,212
25	0,762	0,265	1,220	0,870	0,671	0,174	0,450	0,870	1,149	1,250
26	0,775	0,272	1,266	—	0,709	—	—	—	1,176	1,290
27	0,790	0,279	1,333	—	0,741	—	—	—	1,205	1,333
28	0,808	0,286	1,389	—	0,769	—	—	—	1,220	—
29	0,824	0,294	1,429	—	0,800	—	—	—	—	—
30	0,833	0,302	1,471	—	0,833	—	—	—	—	—

Примечание. Значения толщины даны для никелевых покрытий, полученных из сернокислых электролитов; медных — из сернокислых и сернокислых с подделом меди, полученных из цианистых электролитов; кадмиевых — из цианистых электролитов; цинковых — из цианистых, сернокислых, аммиачных и цианистых электролитов.

\* Раствор, содержащий треххлористую сурьму.

12. Поправочные коэффициенты для блестящих никелевых покрытий при определении толщины струйно-периодическим методом

Время, с	Поправочный коэффициент для покрытий из электролитов с добавками			
	1,4-бутидиола	кумарина и л-толуолсульфамида	натриевой соли 2,6-2,7-нафталиндисульфокислоты и формалина	натриевой соли 2,6-2,7-нафталиндисульфокислоты
0—20	1,2	1,6	1,3	1,5
20—40	1,1	1,4	1,0	1,4
40—80	1,0	1,3	0,9	1,3
80—100	0,9	1,2	0,8	—

творение каждого слоя покрытия; полученные значения суммируют и подсчитывают толщину (мкм) по формуле

$$\delta = \delta_p V,$$

где  $\delta_p$  — толщина покрытия, растворимого 1 мл раствора, мкм (табл. 13);  $V$  — объем раствора, затраченного на определение толщины, мл.

При расчете толщины в формулу вводят поправочные коэффициенты в виде множителя, равного 0,7 для кадмиевых покрытий из сернокислых электролитов, 1,35 для медных покрытий из цианистых электролитов; при расчете толщины никелевых покрытий, полученных из электролитов с блескообразующими добавками, в формулу расчета вводят коэффициенты, указанные в табл. 14, во всех остальных случаях множитель равен 1.

Погрешность измерения при струйно-объемном методе при толщинах покрытия более 2 мкм (цинк, кадмий и никель — до 30 мкм, медь до 50 мкм) колеблется в пределах  $\pm 15\%$ .

**Кулонометрический метод.** Основан на анодном растворении покрытий под действием стабилизированного тока. О конце растворения покрытия судят по скачку потенциала, наблюдающегося при обнажении основного металла или металла подслоя. Интервал измеряемых толщин 0,1—100 мкм, относительная погрешность  $\pm 10\%$ .

**Физические методы.** Метод прямого измерения заключается в определении размеров детали до и после нанесения покрытия. Для измерений используют микрометр или оптический микрометр. Микрометр позволяет измерять только значительные толщины покрытий, так как погрешность измерений достигает  $\pm 10\%$ .

Метод измерения массы заключается во взвешивании детали до и после покрытия. Этот метод применим только для мелких деталей, которые можно взвесить и измерить с достаточной степенью точности.

Толщину покрытия (мкм) можно рассчитать по следующей формуле:

$$\delta_{ер} = \frac{p}{S\rho 10},$$

где  $p$  — масса покрытия, г;  $S$  — площадь поверхности,  $\text{дм}^2$ ;  $\rho$  — плотность,  $\text{г/см}^3$ .

Увеличение массы на 1 г металла и на 1  $\text{дм}^2$  поверхности соответствует следующей толщине покрытия (мкм):

цинк . . . . .	14,3	хром . . . . .	15,4
кадмий . . . . .	11,6	олово . . . . .	13,7
медь . . . . .	11,2	серебро . . . . .	9,5
никель . . . . .	11,5	золото . . . . .	6,1

Зависимость массы осадков от толщины покрытия и плотности металла дана в табл. 15.

**Магнитный метод.** Отрывной магнитный метод основан на измерении силы отрыва магнита от поверхности испытуемой детали. Приборы, принцип работы которых основан на магнитном методе измерения толщины покрытий, делятся на приборы с постоянными магнитами, силу отрыва от детали (или притяжения) которых измеряют при помощи пружинных динамометров, и приборы с электромагнитами, силу отрыва от детали которых измеряют по изменению силы тока намагничивания.

Отрывной магнитный метод рекомендуется применять для измерения немагнитных покрытий на ферромагнитной основе или в случае резкого различия магнитных свойств покрытия и основы.

Измеренная сила притяжения магнита является функцией толщины покрытия. При ферромагнитных покрытиях (никель или железо) на немагнитном основном металле сила притяжения магнита возрастает с увеличением толщины покрытия, при немагнитных или никелевых покрытиях по стали сила притяжения магнита уменьшается с увеличением толщины покрытия.

Толщину покрытия на испытуемых деталях определяют с помощью приборов различных типов, в частности таких как ИТЛ-5, ИТП-200, ЭТ-4, ИТП-1, ИТП-1А.

Толщиномер, принцип работы которых основан на магнитном отрывном методе, просты по конструкции и портативны. Имеются также приборы карандашного типа. Предел измерения этими приборами 0—50 мкм. Наибольшая погрешность измерения достигает  $\pm 10\%$ ; продолжительность измерения 5—6 с.

В условиях крупносерийного и массового производства, когда покрытию подвергают однотипные детали с аналогичными свойствами и технологической обработкой, приборы, принцип

13. Толщина слоя покрытия, растворимого 1 мл раствора, при определении ее струйно-объемным методом

Температура, °С	Покрытие						словянское
	цинковое	кадмиевое	медное	медное *	никелевое	латунное	
10	—	—	—	—	—	1,587	—
11	—	—	—	—	—	1,682	—
12	1,465	0,886	2,268	1,777	1,995	1,777	2,778
13	1,501	0,900	2,370	1,872	1,091	1,972	2,825
14	1,540	0,914	2,481	1,967	1,211	1,967	2,882
15	1,597	0,929	2,604	2,062	1,355	2,062	2,941
16	1,610	0,943	2,747	2,173	1,510	2,173	2,994
17	1,645	0,957	2,915	2,284	1,681	2,284	3,058
18	1,688	0,971	3,115	2,396	1,832	2,396	3,125
19	1,740	0,986	3,344	2,507	1,908	2,507	3,185
20	1,776	1,000	3,546	2,618	1,996	2,618	3,257
21	1,845	1,014	3,717	2,726	2,070	2,726	3,333
22	1,895	1,029	3,906	2,834	2,151	2,834	3,401
23	1,945	1,043	4,065	2,941	2,242	2,941	3,484
24	1,990	1,057	4,255	3,048	2,347	3,048	3,571
25	2,033	1,071	4,425	3,155	2,433	3,155	3,650
26	2,080	1,086	—	—	2,520	—	—
27	2,126	1,100	—	—	2,620	—	—
28	2,173	1,114	—	—	2,720	—	—
29	2,219	1,129	—	—	2,820	—	—
30	2,266	1,143	—	—	2,920	—	—

Примечание. Значения толщин даны для никелевых покрытий, полученных из сернокислых электролитов, медных — из сернокислых, кадмиевых — из цианистых, цинковых — из цианистых, сернокислых, аммиачных и цинковых электролитов.

\* Раствор содержит треххлористую сурьму.

14. Поправочные коэффициенты для блестящих никелевых покрытий при определении толщины струйно-объемным методом

Объем раствора, мл	Поправочный коэффициент для покрытий из электролита с добавками			
	1,4-бутидиола	кумарина и п-толуолсульфамида	натриевой соли 2,6—2,7-нафталиндисульфокислоты и формалина	натриевой соли 2,6—2,7-нафталиндисульфокислоты
0—6,7	1,2	1,6	1,3	1,5
6,7—13,4	1,1	1,4	1,0	1,4
13,4—26,8	1,0	1,3	0,9	1,3
26,8—33,3	0,9	1,2	0,8	—

15. Зависимость массы осадков \* от толщины покрытия и плотности металла  $\rho$ 

$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Масса осадка, мг/см <sup>2</sup> , при толщине покрытия, мкм												
	0,2	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	30
1	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	2	4
2	0,04	0,10	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	3,0	4	6
3	0,06	0,15	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,4	3,0	4,5	6	9
4	0,08	0,20	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	6,0	8	12
5	0,10	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	7,5	10	15
6	0,12	0,30	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,8	6,0	9,0	12	18
7	0,14	0,35	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	5,6	7,0	10,5	14	21
8	0,16	0,40	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,0	12,0	16	24
9	0,18	0,45	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	7,2	9,0	13,5	18	27
10	0,20	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	15,0	20	30
11	0,22	0,55	1,1	2,2	3,3	4,4	5,5	6,6	8,8	11,0	16,5	22	33
12	0,24	0,60	1,2	2,4	3,6	4,8	6,0	7,2	9,6	12,0	18,0	24	36
13	0,26	0,65	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	7,8	10,4	13,0	19,5	26	39
14	0,28	0,70	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4	11,2	14,0	21,0	28	42
15	0,30	0,75	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	12,0	15,0	22,5	30	45
16	0,32	0,80	1,6	3,2	4,8	6,4	8,0	9,6	12,8	16,0	24,0	32	48
17	0,34	0,85	1,7	3,4	5,1	6,8	8,5	10,2	13,6	17,0	25,5	34	51
18	0,36	0,90	1,8	3,6	5,4	7,2	9,0	10,8	14,4	18,0	27,0	36	54
19	0,38	0,95	1,9	3,8	5,7	7,6	9,5	11,4	15,2	19,0	28,5	38	57
20	0,40	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0	30,0	40	60

\* Масса, отнесенная к единице поверхности покрытия.

работы которых основан на магнитном отрывном методе, вследствие их сравнительной компактности можно рекомендовать для контроля покрытий непосредственно в цеховых бюро.

**Индукционным магнитным методом** измеряют магнитный поток, проходящий в сердечнике электромагнита. Магнитный поток, как и сила притяжения магнита, является функцией толщины покрытия. При контроле толщины немагнитного покрытия на крупных стальных деталях с различными магнитными свойствами целесообразно применять приборы, принцип работы которых основан на изменении магнитного потока в цепи.

К индивидуальным относится прибор ТПО, при помощи которого можно вести автоматизированный контроль толщины покрытий на мелких деталях в условиях массового производства. Прибор ТПО предназначен для измерения толщины немагнитных и слабомагнитных (никелевых) покрытий на деталях из ферромагнитных материалов.

Приборы этого типа: МНП-10, НТ-10Н, МТ-30Н, МТ-31Н, МТ-40НУ, а также толщиномер по стали ТС-1. Эти приборы имеют датчики переносного типа, позволяющие измерять толщину

покрытия на сложных по форме деталях, даже на труднодоступных участках и в отверстиях. Влияние магнитных свойств, формы и размеров деталей на показания приборов компенсируют установкой нуля прибора по детали без покрытия.

Метод вихревых токов сводится к следующему. Если деталь из металла поместить в переменное электромагнитное поле, создаваемое катушкой индуктивности, то в поверхностном слое детали появляются вихревые токи, поле которых, взаимодействуя с полем катушки, приводит к изменению ее полного сопротивления. Величина этого изменения зависит от размеров, конфигурации, качества поверхности детали и электрических свойств материалов покрытия и детали, а также от конструктивного исполнения прибора. Измеряя полное сопротивление катушки датчика с помощью специальных измерительных и усилительных схем, можно контролировать параметры детали, в частности, толщину покрытия.

Приборам, принцип работы которых основан на методе вихревых токов, целесообразно контролировать толщину немагнитных металлических, слабомагнитных (никелевых) и неметалли-

ческих покрытий, нанесенных на немагнитные металлы, а также и немагнитных металлических покрытий, нанесенных на неметаллы (диэлектрики).

Радиоактивный метод основан на обратном рассеянии (отражении)  $\beta$ -излучения. Мерой интенсивности отраженного (рассеянного) излучения служит сила тока, возникающего в ионизационной камере.

Для использования отраженного излучения необходимо, чтобы толщина детали была больше толщиной рассеяния: толщина покрытия — меньше толщины рассеяния; атомный номер металла покрытия должен отличаться от атомного номера металла основы не менее чем на 2.

Отечественной промышленностью выпускается изотопный  $\beta$ -микромер для измерения толщины покрытий драгоценными металлами. Имеются также импортные приборы («Бетаметр», «Бетаэкоп»). Пределы измерения приборами, выпускаемыми отечественной промышленностью, 0—100 мкм.

Преимущества радиоактивного метода следующие: возможность контроля покрытия без контакта с поверхностью детали, длительный срок службы датчика, возможность автоматизации процесса контроля.

Универсальный радиоизотопный толщиномер покрытий на изделиях ТПРУ-1 обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогичными приборами: имеет стационарные и переносные датчики, меньшую погрешность измерения, большее быстродействие и др. Кроме измерения толщины покрытий, он может быть использован для определения процентного состава двухкомпонентных покрытий.

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ

**Прочность сцепления.** Качественные методы. Они в основном связаны со значительной деформацией образцов или деталей. Поэтому эти способы применяются для выборочного контроля прочности сцепления покрытия с основой.

**Метод полирования.** Поверхность покрытия полируют не менее 15 с. Для полирования применяют круги из бязи и других материалов, пасты — кро-

кусную, хромовую и др. Скорость полирования 20—30 м/с. После полирования на контролируемой поверхности не должно наблюдаться вздутия или отслаивания покрытия.

**Метод намотки** (для определения прочности сцепления покрытий на проволоке). Проволоку диаметром до 1 мм навивают на стержень, диаметр которого равен внутреннему диаметру проволоки; проволоку диаметром более 1 мм — на проволоку того же диаметра таким образом, чтобы образовалось 10—15 плотно прилегающих один к другому витков. Пружинки диаметром проволоки до 1 мм контролируют при растяжении, диаметром более 1 мм — растягиванием пружины на двойную длину. После контроля на поверхности покрытия не должно наблюдаться отслаивания покрытия.

**Метод нанесения сетки карандаш.** На поверхность контролируемого покрытия стальным острым инструментом наносят четыре—шесть параллельных линий глубиной до основного металла, на расстоянии 2,0—3,0 мм одна от другой, и четыре—шесть параллельных линий, перпендикулярных первым. На контролируемой поверхности покрытия не должно наблюдаться отслаивания покрытия.

**Метод изгиба.** Детали с покрытием подвергают изгибу под углом 90° в обе стороны до излома. В месте излома покрытие не должно отслаиваться.

**Метод вдавливания.** При проверке пригодности листового материала к глубокой деформации (штамповка) применяют пресс Эриксона. Результаты испытаний считают хорошими, если трещины появляются при одинаковой глубине вдавливания на образцах с покрытием и без него, причем при образовании трещин на образце с покрытием не обнаруживается отслаивания покрытия от основы.

**Метод удара.** Для оценки сцепления используют боек, падающий с определенной высоты. Прочность сцепления тем выше, чем больше ударов бойка выдерживает испытуемый участок поверхности отслаивания.

**Метод нагрева.** Детали с покрытием нагревают в течение 0,5—1,0 ч и охлаждают на воздухе. Нижне приведенная температура нагрева ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ) деталей из различных материалов с необходи-

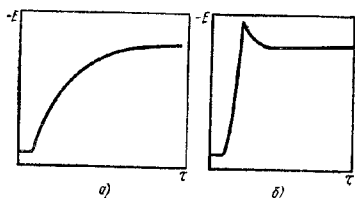


Рис. 2. Изменение потенциала катода ( $E$ ) во времени ( $t$ ) после включения поляризующего тока:  
а — хорошее сцепление покрытия; б — плохое сцепление покрытия

мыми покрытиями, за исключением цинковых, кадмиевых, оловянных, свинцовых, а также сплавов олово—свинец:

алюминий и его сплавы	190
магний и его сплавы	125
медь и ее сплавы	250
сталь и чугуны	350
титан и его сплавы	210
цинк и его сплавы	140

Допускается понижение температуры нагрева для деталей, имеющих швы, ланниных припои с температурой плавления ниже указанной.

Для цинковых и кадмиевых покрытий температура нагрева должна быть 180—200 °С; для оловянных, свинцовых и покрытий сплавом олово—свинец 140—160 °С. После нагрева на контролируемой детали не должно наблюдаться вздутия или отслаивания покрытия.

Электрохимический метод. Для изучения прочности сцепления покрытий можно использовать электрохимический метод А. Т. Вагряна. Сущность метода заключается в том, что по значению величины поляризации в момент включения тока определяется активная часть поверхности катода, на которой происходит осаждение металла, что и характеризует степень сцепления электролитического покрытия. Образец в качестве катода помещают в электролит, из которого происходит осаждение металла покрытия, и определяют изменение поляризации в первый период после включения тока.

Если в момент включения тока поляризация имеет повышенное значение, уменьшающееся в процессе электролиза, то это указывает на малую долю

активной поверхности и, следовательно, на плохую сцепляемость. Если же поляризация растет после выключения тока, то это свидетельствует об активной поверхности и о хорошем сцеплении покрытия с основой (рис. 2).

Еще один электрохимический метод заключается в следующем. Образец в качестве катода помещают в электролит, представляющий собой 5% раствор едкого натра или едкого кали при относительно высоком напряжении в ванне (около 10 В). Выделенный на катоде атомарный водород диффундирует сквозь покрытие, скапливается в местах дефектов на пограничной поверхности, а при дальнейшем насыщении образует пузыри. Если покрытие выдерживает насыщение водородом более 15 мин без образования пузырей, то можно считать, что они имеют хорошее сцепление с основой.

Количественные методы. **Метод отрыва.** Метод заключается в осаждении металла на торцевой части цилиндрического образца и последующем отделении покрытия на разрывной машине. На рис. 3 приведена схема отрыва покрытия от основы. Отношение силы, необходимой для отрыва, к площади характеризует прочность сцепления покрытия с основным металлом. Недостатки такого способа заключаются в необходимости осаждения толстых покрытий, пригодных для испытания, и сложности подготовки

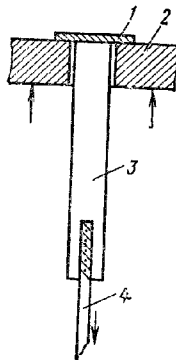


Рис. 3. Схема катода для испытания прочности сцепления:  
1 — покрытие; 2 — стальная пластина;  
3 — стальной цилиндр; 4 — болт

образца после электролиза к испытанию, так как катод обрабатывают на станке для получения выступающих краев покрытия, за которые он удерживается при испытании на разрыв.

Для никелевых покрытий на сталь применяют следующий метод. Плоский анодированный образец погружают в специальный раствор, который при определенном меднении понижает сцепление электролитического слоя меди с основным металлом. Толщина медного слоя должна быть не менее 300 мкм. Участок медного покрытия с ослабленным сцеплением отгибает под прямым углом и определяют силу, необходимую для отрыва никелевого покрытия от основного металла. Метод основан на том, что сцепление между слоями никеля и меди больше, чем между никелевым слоем и сталью. Этим методом испытывают медные слои асбестовых плат, нанесенные на синтетические материалы. Метод применим и для других металлических покрытий.

Метод, основанный на отрыве от покрытия торцов штифтов или шпилек, заключается в следующем. В основной материал вставляют несколько конических шпилек из одинакового материала (рис. 4). Суженные концы шпилек образуют с поверхностью основного материала единую плоскость, на которую наносят покрытие. Сцепление определяется силой  $P$ , необходимой для извлечения шпилек из плиты основного материала и, следовательно, для отрыва от покрытия.

Недостаток метода — трудность изготовления образцов для испытаний. **Метод среза.** Испытания покрытия на срез или скол (рис. 5) пригодны главным образом для толстых покрытий. Применение метода ограничено вследствие сложности изготовления образцов, которые должны быть выполнены таким образом, чтобы на основном материале оставалась только частичка покрытия прямоугольной или квадратной формы размером несколько квадратных миллиметров. Кусок плоского материала из закаленной стали используют как пуансон, сдвигающий оставшийся на основном материале кусочек покрытия, причем верхний край пуансона и верхний край основного

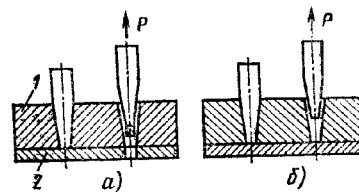


Рис. 4. Схема испытания на прочность сцепления по методу отрыва торцов штифтов:

а — хорошее сцепление; б — плохое сцепление; 1 — основной металл; 2 — покрытие

материала должны совпадать. Если затем сжимать пробку и пуансон в вертикальном направлении, то основной материал, а также частица покрытия уплотнятся, и их высота уменьшится, а закаленный пуансон сохранит при этом свою исходную высоту. К тому моменту, когда сила сцепления кусочка покрытия не сможет больше противостоять действующей на него через пуансон силе, кусочек отпадет от основного металла. Отношение действующего на поверхность образца усилия или разности высот нагруженного и ненагруженного образца к поверхности сцепления определяет прочность сцепления.

**Метод деформации.** Метод заключается в сжатии го торцам цилиндрических образцов, имеющих покрытие на боковой поверхности. Диаметр образцов 10—20 мм, высота 25—35 мм. Сжатие проводят на прессе таким образом, чтобы высота цилиндра уменьшалась на 1/10—1/5 часть. При этом плохо сцепленное покрытие либо отслаивается, либо растрескивается и отшелушивается. Критерием прочности

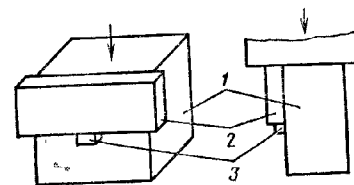


Рис. 5. Схема испытания прочности сцепления на срез или скол:  
1 — основной металл; 2 — штамп; 3 — часть покрытия



сцепления является разница массы образца до и после испытания. Метод применяется для определения прочности сцепления хромовых, железных и никелевых покрытий.

Пористость покрытий. Коррозионные методы измерения пористости электролитических покрытий заключаются в том, что для выявления пор испытуемый образец обрабатывают специальным раствором, который, не действуя на металл покрытия, реагирует через поры с металлом основы и образует хорошо видимые продукты реакции. Полученные таким образом точки коррозии подсчитывают, наблюдая их невооруженным глазом или при увеличении (через лупу либо микроскоп). Точки коррозии на поверхности могут регистрироваться и при испытаниях в атмосферных условиях, или в камерах влажности, либо солевого тумана.

Наиболее распространен метод обнаружения пор при помощи реактивов, дающих с основным металлом окрасившиеся соединения. Универсальный реагент в этом отношении — раствор красной кровяной соли  $K_4Fe(CN)_6$ , который, реагируя с ионами железа, образует турбибулеву синь, с ионами меди — железосинеродистую медь, с ионами никеля — железосинеродистый никель. Индикатор — железосинеродистый калий — применим для определения пористости медных, никелевых, хромовых, оловянных, никелевых, серебряных и золотых покрытий.

Способы проведения испытаний могут быть различными. В некоторых случаях испытуемый образец погружают на время в соответствующий раствор, затем его вынимают и подсчитывают число появившихся окрасившихся точек. Иногда испытуемую поверхность смачивают с помощью тампона или накладывают на нее фильтровальную бумагу, смоченную специальным раствором, или пасту определенного состава.

Метод наложения фильтровальной бумаги применим для определения пористости катодных металлических покрытий на стали, меди и ее сплавах, на деталях простой формы, если профиль их поверхности допускает наложение фильтровальной бумаги. На обезжиренную поверхность детали накладывают фильтровальную бумагу, пропитанную раствором специального

состава (табл. 16). Бумагу накладывают таким образом, чтобы между поверхностью детали и бумагой не оставались пузырьки воздуха. После снятия бумагу с отпечатками пор в виде точек или пятен промывают струей дистиллированной воды и просушивают на чистом стекле.

При испытании медных покрытий бумагу снимают через 20 мин, при испытании однослойных никелевых покрытий на стали — через 5 мин, для всех остальных типов покрытий, кроме оловянных, — через 10 мин.

Для выявления пор, доходящих до меди и латуни, фильтровальную бумагу с отпечатками пор после промывки накладывают на чистое стекло и на нее равномерно наносят раствор, содержащий 40 г/л  $K_4Fe(CN)_6$ . При этом желтые точки (следы никеля) исчезают, после чего бумагу промывают струей воды и сушат на стекле. Оставшиеся на бумаге красно-бурые и синие пятна (следы пор до меди и стали) подсчитывают.

При определении сквозных пор до никеля бумагу дополнительно обрабатывают аммиачным раствором диметилглиоксима (2 г диметилглиоксима в 1 л 12,5%-ного водного раствора аммиака). После образования в местах пор точек или пятен ярко-розового цвета, характерного для никеля, фильтровальную бумагу промывают струей воды и сушат на стекле. При этом следы пор до стали и меди бледнеют и не мешают подсчету числа пор до никеля.

Указанные составы растворов можно применять также при проверке пористости серебряных и золотых покрытий на меди, латуни и никеле.

Пористость покрытий с верхним слоем хрома определяют не ранее чем через 30 мин после окончания процесса хромирования. При большом числе пор хромовых покрытий по омедненной стали, меди и ее сплавам следы пор до меди и латуни не полностью отпечатываются на бумаге, и следует считать красно-бурые точки на самой детали.

Метод нанесения пасты применим для определения пористости металлических покрытий на стали, меди, алюминии, цинке и их сплавах, а также неметаллических неорганических покрытий на алюминии и его сплавах на деталях

Таблица 16. Составы для определения пористости покрытия методом наложения бумаги

Покрытие	Основной металл или металл подслои	Компоненты раствора	Концентрация, г/л	Время выдержки в растворе, мин	Признак пористости
Никелевое одно- и многослойное (никель — хром, медь — никель — хром)	Сталь	$K_4Fe(CN)_6$	10	10	Синие точки — поры до стали
				10	Красно-бурые точки — поры до меди Желтые точки — поры до никеля
Хромовое одно- и многослойное (никель — хром)	Медь и ее сплавы	$NH_4Cl$ $NaCl$	30 60	5	Синие точки — поры до стали
				10	Красно-бурые точки — поры до меди
Никелевое одно- и многослойное (медь — никель, никель — медь — никель)	Сталь	$K_4Fe(CN)_6$ $NaCl$	10 20	10	Синие точки — поры до стали Красно-бурые точки — поры до меди Желтые точки — поры до никеля
				20	Синие точки — поры до стали
Медное		$K_4Fe(CN)_6$ $NaCl$	10 5	60	Синие точки — поры до стали
Оловянное		$K_4Fe(CN)_6$ $NaCl$	10 5	60	Синие точки — поры до стали

любых форм и размеров; особенно целесообразно применение этого метода для сложнопрофилированных деталей.

Деталь обезжиривают, затем кистью, пульверизатором, окунанием или другим способом наносят на ее поверхность пасту. Пасту следует наносить равномерным слоем и выдерживать на поверхности не более 10 мин. Расход пасты 0,5—1,0 г/дм<sup>2</sup>. После проведения контроля пасту удаляют гремящей водой, деталь сушат и производят повторное определение пористости на том же участке поверхности. На испытуемой поверхности покрытия подсчитывают число окрашенных участков, соответствующих числу пор. За результат измерения принимают среднее арифметическое значение трех измерений. Полученную пористость относят к единице поверхности.

Для мелких профилированных деталей при определении пор, доходящих до стали, рекомендуют применять метод заливки раствором. Испытуемую деталь заливают специальным раствором. Раствор готовят следующим образом: 20 г желатин заливают дистиллированной водой до набухания, после чего нагревают на водяной бане до образования коллоидного раствора. Затем к раствору желатина прибавляют раствор из 10 г  $K_4Fe(CN)_6$  и 15 г  $NaCl$ . К полученному раствору добавляют воду для доведения объема до 1 л. Сосуд с раствором хранят в темном месте. Раствором можно пользоваться до тех пор, пока он не начнет темнеть, что является признаком его разложения.

Деталь перед испытанием тщательно обезжиривают. После заливки деталь должна находиться в покое 5 мин, после чего ее поверхность осматривают

и подсчитывают на ней точки. Для крупных деталей вскруг испытуемого участка делают бортики из мendeleeвской замазки и в образовавшуюся емкость заливают раствор. Следы пор обнаруживают невооруженным глазом по выявившимся на поверхности детали синим точкам.

Для контроля пористости оловянных покрытий на стали кроме метода наложения применяют метод смазывания. Оба метода дают одинаковую точность определения. При методе смазывания применяют раствор следующего состава (г):

$K_4Fe(CN)_6$ . . . . .	2
Желatina . . . . .	20
$H_2SO_4$ (0,5 н.) . . . . .	10 мл
$C_2H_5CN$ . . . . .	200 мл

Деталь смазывают кисточкой дважды. Поры подсчитывают через 10 мин.

Для ускорения процесса растворения металла в порах иногда испытуемый образец подвергают анодной поляризации. В некоторых случаях для выявления пор вместо анодной применяют катодную поляризацию. Последнюю используют в случае низкой электропроводности поверхностного слоя, в частности после анодного окисления, когда в результате большей проводимости основного металла осажденные металлы происходят в порах. Кроме того, возможно выявление пор при катодной поляризации по числу пузырьков водорода, выделяющихся в порах вследствие более низкого перенапряжения водорода на основном металле.

Анодную поляризацию выявляют поры оловянного покрытия на меди и латуни. Анодную обработку проводят в растворе, содержащем 10 г/л  $K_4Fe(CN)_6$  и 10 г/л  $Na_2SO_4$ , при плотности тока  $0,35 \pm 0,05$  А/дм<sup>2</sup> в течение 5 мин; катод — свинцовая пластинка. Для крупных деталей можно применять накладку из четырех—шести слоев марли, пропитанной этим же раствором. Деталь соединяют с положительным полюсом источника постоянного тока; отрицательный полюс присоединяют к свинцовой пластинке, которую кладут на пропитанную раствором марлю.

Анодную поляризацию применяют и при контроле пористости цинковых и кадмиевых покрытий. В этом случае используют также универсальный ин-

дикатор, а анодную обработку проводят для того, чтобы железо через поры реагировало с индикатором. Подготовленную деталь погружают в ванну с раствором, содержащим 40 г/л  $K_4Fe(CN)_6$  и 2 г/л  $K_2SO_4$ , который можно заменить сернокислым магнием в том же количестве.

Деталь соединяют с положительным полюсом источника тока (если необходима подвеска, то она должна быть оцинкована или кадмирована). Отрицательным полюсом служит свинцовая пластинка. Электролиз ведут при напряжении  $4 \pm 0,4$  В в течение 5 мин, после чего деталь вынимают, промывают водой и высушивают фильтровальной бумагой или потоком теплого воздуха. В местах пор после испытания появляются синие точки. Затем определяют число пор на 1 см<sup>2</sup>.

Электрографический метод является некоторой разновидностью метода коррозионного испытания с наложением тока. Сущность его заключается в том, что при определенном потенциале металл основы растворяется через поры покрытия, и продукты растворения образуют при взаимодействии с индикатором окрашенный рисунок, характеризующий распределение пор по поверхности.

При использовании этого метода на фотографическую бумагу, служащую подложкой, накладывают фильтровальную бумагу, смоченную соответствующим электролитом. Затем подложку желатинированной стороной накладывают на очищенную сухую поверхность образца, зажимают между двумя электродами в прессе и включают ток. Через 15 с подложку отделяют и проявляют соответствующим реактивом (см. табл. 16). В местах пор образуются окрашенные пятна с резко очерченными границами (четкость электрограммы определяется давлением пресса, которое должно составлять 0,1—0,2 МПа).

Для электрографического исследования неперпендикулярных проб используются два метода. В одном случае деталь заливают гипсом и после его отверждения помещают в ванну с электролитом. Гипс достаточно проницаем для того, чтобы на его внутренней стороне появился отпечаток пор. После электролиза гипсовую форму разрезают. В другом случае совет-

ную деталь покрывают слоем  $K_4Fe(CN)_6$ , пропитываемым электролитом, окрашенным индикатором. Образованные с желатиновым слоем перетолстые электролитическую ванну. В результате желатиновым слое будут окрашены дефектные места. Рассмотренные методы определения пористости не могут быть использованы для пористых хромовых покрытий, пористость которых в виде каналов частично анодного травления покрытия (см. гл. 7). Наиболее простой метод оценки пористости хромовых покрытий — визуальный, заключающийся в исследовании окрашенной поверхности с помощью дуны или микроскопа, и сравнения ее с эталонными образцами.

Для проверки пористости можно использовать также метод контактных отпечатков, который заключается в обработке покрытия специальной пастой с исследуемой фиксирующей пор покрытия с помощью фотобумаги. Получение отпечатков на фотобумаге основано на взаимодействии сернистого натрия, содержащегося в пасте, с бромистым серебром фотобумаги с образованием сернистого серебра (черный цвет). Для получения на бумаге достаточно четких отпечатков пасту необходимо тщательно уплотнить в каналах и порах и полностью удалить с горизонтальных участков между ними. Состав пасты: 15 мл раствора  $Na_2S$ , 10 г талька, 2 капли глицерина.

Для покрытия с малой степенью пористости применяют 20 %-ный раствор  $Na_2S$ , для покрытий со степенью пористости 20 % используют 50 %-ный раствор.

Вместо талька можно применять мел, графит и другие индиферентные материалы. Степень пористости покрытия в процентах определяют по градуировочной кривой (рис. 6) подсчетом числа горизонтальных участков (плато), приходящихся на единицу площади поверхности хромового покрытия, с помощью стеклянной микро-решетки, разделенной на квадратные миллиметры.

Подсчет количества плато на 1 мм<sup>2</sup> можно проводить с помощью микроскопа при увеличении в 100—150 раз.

В прямой зависимости от пористости находится так называемая маслосем-

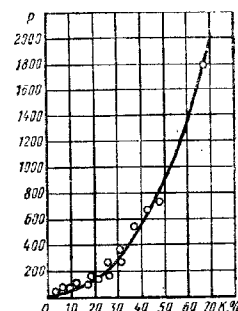


Рис. 6. Градуировочная кривая для определения пористости хромовых покрытий (P — количество плато на 1 мм<sup>2</sup>, K — степень пористости)

кость хромовых покрытий. Маслосемкость можно определить весовым и капельным методами. При весовом методе определяют массу впитавшегося масла (цилиндрическое масло № 2 или авиационное МС), отнесенную к 1 дм<sup>2</sup> хромового покрытия. С этой целью взвешенный образец пропитывают маслом в течение 1—1,5 ч при температуре 80 °С, затем тампоном снимают масляную пленку и вновь взвешивают.

Капельным методом маслосемкость определяют по продолжительности впитывания капли очищенного керосина в каналы и поры покрытия. Для обеспечения постоянства размеров капель, наносимых из пипеток на поверхность покрытия, необходимо калибровать пипетку. При диаметре выходного отверстия пипетки около 0,8 мм масса одной капли керосина равна примерно 13 мг. Высота падения капли не должна превышать 1 см.

Для расчета абсолютной маслосемкости (количество масла, поглощенного на 1 дм<sup>2</sup> поверхности) изготовляют эталоны. На этих эталонах определяют маслосемкость весовым и капельным методами и строят градуировочную кривую.

Микротвердость. Ее определение проводят с помощью прибора ПМТ-3, принцип работы которого основан на вдавливании алмазной пирамиды в покрытие.

Применяемый при испытании на микротвердость алмазный наконечник представляет собой правильную четы-

решающую пирамиду с углом между противоположными гранями при вершине  $\alpha = 136^\circ \pm 26'$ . Гради пирамиды должны быть тщательно отполированы и не должны иметь трещин, царапин и других поверхностных дефектов.

При подготовке поверхности испытуемого образца необходимо принять меры предосторожности против возможного изменения его твердости вследствие нагрева или наклепа поверхности в результате механической обработки.

Испытание проводят при температуре  $26 \pm 5^\circ\text{C}$ . Необходимость испытания при другой температуре должна быть указана в инструкции. Рабочая поверхность алмазной пирамиды и испытуемая поверхность образца должны быть при испытании сухими (без смазки).

Микротвердость  $T$  покрытия определяют делением нагрузки  $P$  на условную площадь боковой поверхности  $F$  полученного отпечатка:

$$T = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2},$$

где  $P$  — нагрузка на пирамиду;  $\alpha = 136^\circ$  — угол между противоположными гранями пирамиды при вершине;  $d$  — длина диагонали отпечатка после снятия нагрузки, мм.

Микротвердость электролитического покрытия можно определять двумя путями: вдавливанием алмазной пирамидки либо перпендикулярно слою покрытия, либо в торец покрытия. Предпочтительнее способ вдавливания перпендикулярно слою покрытия, так как в этом случае не надо готовить микрешлифы. Кроме того, в случае вдавливания пирамиды в торец покрытия толщина его должна быть больше 10 мкм (при диагонали отпечатка 10 мкм), а в случае вдавливания перпендикулярно слою покрытия глубина погружения алмазной пирамиды с углом при вершине  $136^\circ$  составляет 10; 7 = 1,3 мкм, и следовательно, измерение можно выполнить при меньшей толщине покрытия.

Продолжительность выдержки под нагрузкой не должна быть менее 5 с. Для прибора ПМТ-3 длительность спуска индентора принимают не менее 15 с.

Для правильного определения микротвердости электролитических покрытий необходимо также знать минимальную толщину слоя покрытия, при которой металл не будет оказывать искажающего влияния на точность измерений. Это особенно важно, если металл основы мягче металла покрытия.

Минимальная толщина покрытия, при которой обеспечивается правильное измерение микротвердости, зависит от твердости покрытия и основы, а также от применяемой нагрузки при вдавливании.

Внутренние напряжения. Собственные, или внутренние, напряжения металлов делят на внутренние напряжения 1, 2 и 3-го рода.

Напряжения 1-го рода — макронапряжения существуют в пределах, по меньшей мере, одного миллиметра, т. е. охватывают несколько кристаллов, постоянны по величине и по направлению. В зависимости от направления их действия различают напряжения сжатия и напряжения растяжения.

Напряжения 2-го рода — микронапряжения существуют в пределах одного кристаллита, постоянны по величине и по направлению, но между кристаллитами они различны.

Внутренние напряжения 3-го рода реализуются в пределах атома.

Внутренние напряжения покрытий являются их важной технической характеристикой, определяющей ряд свойств, таких, как пористость, микротвердость и т. д. Внутренние напряжения могут быть измерены различными методами.

Метод гибкого катода. Один конец узкой и, по возможности, толстой металлической полоски, с одной стороны имеющей гальваническое покрытие, закрепляют неподвижно, оставив второй ее конец свободным. На стороне пластинки без изоляции осаждают металл, причем в металлическом покрытии возникает внутреннее напряжение, которые вычисляют по формуле

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{E_0 \delta_0^2 x}{3l^2 \delta_{\text{п}}},$$

где  $E_0$  — модуль упругости пластинки без гальванического покрытия;  $\delta_0$  —

толщина пластинки без покрытия;  $\delta_0$  — толщина покрытия;  $l$  — длина пластинки;  $x$  — отклонение свободного конца пластинки от первоначального положения.

Один из вариантов схем этого метода показан на рис. 7. На свободном конце пластинки, рядом с зеркальцем находится якорек  $b$  из железной проволоки, который входит в катушку соленоида. Через соленоид пропускают ток.

В магнитном поле соленоида якорек намагничивается и втягивается внутрь соленоида силой, пропорциональной квадрату силы тока, протекающего через соленоид. Эту силу тока устанавливают такой, чтобы сумма сил, действующих на пластинку, равнялась нулю. При этом сила тока, протекающего через соленоид, становится мерой собственного микронапряжения в осажденном слое. Луч света, отраженный от зеркала, укрепленного на пластинке, показывает на световой шкале величину отклонения свободного конца пластинки от исходного положения.

Метод гибкого катода используют и при визуальном наблюдении смещения конца катода с помощью микроскопа или проекции катода на экран. Метод спирального контрактометра. Широко используемый спиральный контрактометр Бреннера и Сендероффа также основан на принципе деформации полоски. Основной частью этого прибора является спирально изогнутая металлическая полоска (рис. 8). Деформация, т. е. закручивание спирали, передается особой системой указателю. Внутренние напряжения гальванического покрытия вычисляют с помощью следующего уравнения:

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{E_0 \delta_0^2 \Delta \alpha}{12 R l \delta_{\text{п}}},$$

где  $E_0$  — модуль упругости катода;  $\delta_0$  и  $\delta_{\text{п}}$  — соответственно толщина катода и покрытия;  $\Delta \alpha$  — угол закручивания спирали;  $R$  — радиус закручивания спирали;  $l$  — количество витков спирали.

Метод измерения деформации после окончания электролиза. Образцы в виде нескольких тонких пластинок зажимают в прободержателе и нано-

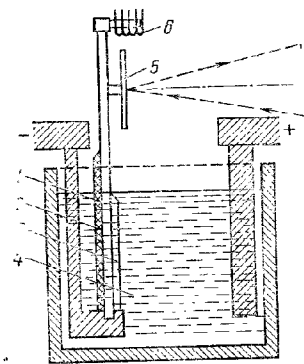


Рис. 7. Схема установки для измерения внутренних напряжений: 1 — ленточный катод; 2 — изолирующий лак; 3 — гальваническое покрытие; 4 — электролит; 5 — зеркало; б — якорек из железной проволоки, входящий в соленоид

сят с одной стороны пластинки защитный лак. На другую сторону пластинки осаждают покрытие и затем измеряют получившийся прогиб на устройстве, показанном на рис. 9. Чтобы шуп не деформировал тонкую пластинку, устройство снабжено сигнальной лампой, зажигающейся в момент прикосновения шупа к пластинке. Для этого случая используют следующую расчетную формулу:

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{4}{3} \frac{E_0 \delta_0^2 a}{\delta_{\text{п}}^2},$$

где  $a$  — измеренная стрела прогиба.

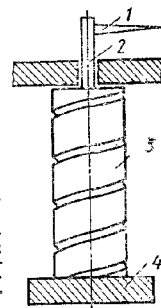


Рис. 8. Схема спирального контрактометра: 1 — указатель; 2 — стержень прибора; 3 — спирально изогнутая металлическая полоска; 4 — основание

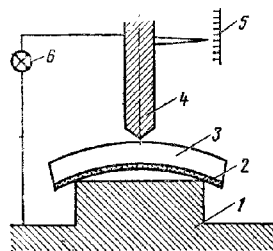


Рис. 9. Устройство для измерения деформации катода;

1 — плата основания; 2 — гальваническое покрытие; 3 — пластинка основного металла; 4 — измерительный шуп; 5 — шкала; 6 — сигнальная лампа

Метод растяжения-сжатия катода. Метод измерения растяжения или сжатия ленточного катода, жестко закрепленного с одного конца, реализован в приборе IS-meter, выпускаемом в ЧССР. В качестве ленточного катода обычно применяют медную фольгу длиной 100—110 мм, шириной 5 мм и толщиной 0,02 мм. Регистрацию деформации катода ведут либо с помощью специальной стрелы, связанной со свободным концом катода, либо с помощью индикатора часового типа (рис. 10). Внутренние напряжения

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{E \delta_{\text{м}}}{2l \delta_{\text{л}}} \Delta,$$

где  $E$  — модуль нормальной упругости материала катодной ленты;  $\delta_{\text{м}}$  — толщина катодной ленты;  $\delta_{\text{л}}$  — толщина осаждаемого металла (покрытия);  $\Delta$  — деформация катода;  $l$  — длина катодной ленты.

Защитная способность. Для оценки защитной способности гальванических покрытий используют следующие основные критерии:

количество коррозионных поражений (точек) после определенного времени испытаний; время до появления первого коррозионного поражения; время до появления определенного количества коррозионных поражений; определенная доля поверхности, занятая продуктами коррозии; определение степени потускнения

или изменения цвета поверхности покрытия.

При испытании образцов или деталей с защитными покрытиями обращают внимание на цвет продуктов коррозии. Например, продукты коррозии железа — бурого цвета, алюминия, цинка, кадмия — белого цвета, меди — сине-зеленого и т. д.

Испытания ведут как в лабораторных, так и в естественных условиях — путем выдержки образцов в атмосфере, почве, речной или морской воде.

Наиболее широко применяют лабораторные испытания следующих видов:

погружением в агрессивные растворы, в том числе в 3%-ный раствор NaCl;

циклическим переменным погружением образцов (20—30% времени в коррозионной среде, 70—80% — в атмосфере);

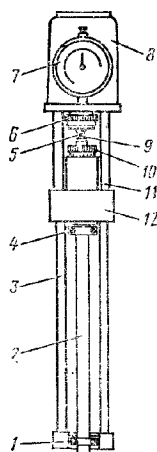


Рис. 10. Прибор для измерения внутренних напряжений; IS-meter (прибор Дворжака—Вржебля):

1, 4 — зажимы для крепления образца; 2 — образец; 3, 11 — рамка прибора, покрытая тефлоном; 5 — наконечник измерительного устройства; 6 — кольцо для установки наконечника измерительного устройства; 7 — измеритель деформации, градуированный в мкм; 8 — защитный колпачок; 9 — наконечник устройства для предварительного натяжения катода; 10 — кольцо для установки наконечника устройства для предварительного натяжения; 12 — защитный кожух

испытанием в камере при 100% влажности;

испытанием в камере распыления солевого тумана.

В широком применении находят методы испытаний, получившие названия КАСС и Корродкот.

При испытании по методу КАСС применяют раствор, содержащий 5% (масс. доли) NaCl, подкисленный уксусной кислотой до значения pH 3,1—3,3. В течение всего времени испытания производят непрерывное распыление указанного раствора таким образом, чтобы на горизонтальной поверхности коллектора площадью 80 см<sup>2</sup> за 1 ч улавливалось 0,75—2,0 мл. Распыление прерывают лишь для повторного исследования образца. Температура испытательной камеры составляет 50°C. Размеры камеры не оговорены.

Солевой раствор содержит также 0,264 г/л SiCl<sub>4</sub>.

Распыление раствора во время испытания производят непрерывно. Средний массовый расход раствора на 80 см<sup>2</sup> поверхности коллектора составляет 1,0—2,0 мл.

Испытание по методу Корродкот применяют для проверки никель-хромовых покрытий или покрытий медь-никель-хром по стали и цинковым отливкам в условиях имитирующей воздействие дорожной грязи. После испытания повреждения покрытия, доходящие до основного металла, определяют по местному выступанию продуктов коррозии. Испытание проводят в следующем порядке.

1. Очищают детали при помощи спирта, диэтилового эфира, ацетона или керосина.

2. Наносят на образец равномерный тонкий слой (около 50 мкм) Корродкот-пасты. Пасту наносят вручную кисточкой или пульверизацией.

Корродкот-паста имеет следующий состав (г):

FeCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0,99
Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 3H <sub>2</sub> O	0,21
NH <sub>4</sub> Cl	6,0
каолин	180
вода дистиллированная или полностью обессоленная	300 мл

Хлорид железа, нитрат меди и хлорид аммония растворяют в 50 мл воды, затем добавляют каолин и остальные 250 мл воды. Все компонен-

ты размешивают до состояния пасты. Хорошо зарекомендовал себя каолин, отвечающий следующим параметрам:

содержание глины, масс. доля, %	93 ± 5
остаток на сите 0,075 мм, не более	0,10
общая щелочность (в виде K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O), масс. доля, %	не более 6,50

3. Просушивание пасты на образце при комнатной температуре и относительной влажности ниже 50% в течение 1 ч.

4. Выдержка образца во влажной камере при 38°C и 80—90% относительной влажности воздуха. На деталях не должно быть никакого отложения конденсата. Во время испытания влажный воздух пропускают через соответствующий прибор для обеспечения равномерной температуры. Продолжительность этой влажной выдержки составляет 16 или 20 ч.

5. Не снимая выдержки образцы вынимают из камеры, очищают от пасты при помощи проточной воды и чистой, мягкой салфетки или пластмассовой губки. Допускается применение слабого абразива.

6. Так как в результате очистки (см. п. 5) продукты коррозии удаляются, необходимо снова вызвать места повреждений. Это можно осуществить путем испытания в солевом тумане в течение 4 ч, выдержки в течение 24 ч во влажной камере при 100% относительной влажности воздуха (при комнатной или умеренно повышенной температуре) или путем какого-либо другого способа, предназначенного для выявления коррозии основного металла.

Корродкот-испытание может быть проведено с некоторыми изменениями. Наиболее существенным изменением является конденсирование воды на испытуемых образцах. Если требуется провести несколько испытательных циклов по 16 или 20 ч, то после каждого цикла образцы отмывают от пасты, а затем наносят ее вновь. Обычно бывает достаточно одного или двух циклов.

Корродкот-испытание применяют преимущественно для производственного контроля, так как результаты этих испытаний получают быстрее, чем при климатических испытаниях.

### КОНТРОЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАЛЛА

Определение допустимой катодной плотности тока. Допустимая катодная плотность тока — это максимально возможная плотность тока, при которой получаются покрытия без дефектов. Допустимая плотность тока определяется визуально по внешнему виду покрытия на образце (цвет, блеск, структура и т. п.) и зависит от состава электролита.

Для определения допустимой плотности тока по результатам одного эксперимента может быть использована ячейка Хулла (рис. 11), в которой катодная пластина АВ расположена под углом к аноду СД.

Размеры сторон ячейки зависят от ее объема. Для ячейки объемом 250 мл:  $a = 64$ ,  $b = 48$ ,  $c = 102$ ,  $d = 127$ ,  $h = 65$  мм. Для ячейки объемом 1000 мл:  $a = 85$ ,  $b = 120$ ,  $c = 127$ ,  $d = 212$ ,  $h = 85$  мм.

После электроосаждения покрытия в течение 1 ч при заданной силе тока  $I$  (А) определяется длина участка бездефектного покрытия (расстояние  $x$  в мм).

Допустимая плотность тока  $i_k$  (А/дм<sup>2</sup>) определяется для ячейки Хулла объемом 250 мл по формуле

$$i_k = 1,3,3 [1 - 0,434 \ln(x/10)];$$

для объема 1000 мл по формуле

$$i_k = 1,5,1 [1 - 0,434 \ln(x/10)].$$

Определение рассеивающей способности электролитов. Для оценки рассеивающей способности предложены различные показатели. Выбор показателя

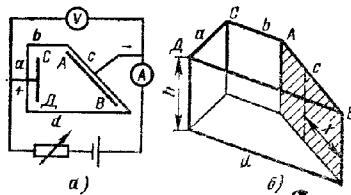


Рис. 11. Схема установки для определения допустимой плотности тока: а — схема установки; б — ячейка Хулла; СД — анод; АВ — катод;  $b$ ,  $d$  — боковые стороны;  $x$  — длина пластины с качественным покрытием;  $h$  — высота ячейки;  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  — стороны ячейки

зависит от используемого метода определения рассеивающей способности, в первую очередь от типа ячеек.

В лабораторных условиях широко применяются ячейки с плоскопараллельными электродами, шелевые с угловым катодом, ячейки Хулла, с шайборазборными электродами (например, прибор Оденна).

При использовании ячеек с плоскопараллельными электродами рассеивающую способность электролитов можно оценить по величине двух основных факторов:  $K$  — отношению расстояния между анодом и катодом из двух катодов, находящихся на различном удалении от анода, и  $M$  — отношению масс осаждаемых металлов на катодах.

С этой целью используют следующие показатели:

$$PC_1 = \frac{K - M}{K} 100\%;$$

$$PC_2 = \frac{K - M}{K - 1} 100\%;$$

$$PC_3 = \frac{K - M}{K + M - 2} 100\%;$$

$$PC_4 = \frac{K - 1}{M - 1} 100\%;$$

$$PC_5 = \frac{K}{K + M - 1} 100\%.$$

Для определения рассеивающей способности с помощью шелевых ячеек (рис. 12, в), ячеек с угловым катодом (рис. 12, а) и ячеек Хулла (рис. 12, б) используется показатель

$$PC_6 = \frac{M_{i \min} \cdot n}{\sum_{i=1}^n M_i} 100\%;$$

где  $M_{i \min}$  и  $M_i$  — изменение массы наиболее удаленной пластины катода и каждой из пластин;  $n$  — число пластин.

Катод в ячейках представляет набор одинаковых по площади пластины или фольгу, которую затем разрезают на  $n$  полос одинаковой ширины. Допускается разделить поверхность фольги на две части в определенном соотношении площадей, например 1 : 10, при этом полоса наиболее удаленной части фольги должна иметь меньшую площадь,

При использовании шелевой ячейки (рис. 12, в) можно использовать также показатель

$$PC_7 = \frac{\sum M_n - 2,615}{5,385} 100\%.$$

При использовании ячеек с шайборазборными электродами (рис. 12, г) также применяется показатель  $PC_6$ . В этом случае  $M_{i \min}$  — изменение массы наиболее удаленной шайбы от

анода,  $\sum_{i=1}^n M_i$  — суммарное изменение масс всех шайб, а  $n$  — число шайб. Кроме того, рассеивающую способность электролитов можно характеризовать электрохимическими параметрами:

$$FC_8 = l - \frac{1}{\rho} \frac{dE}{dI},$$

где  $l$  — расстояние между электродами, см;  $\rho$  — удельное электросопротивление раствора, Ом·см;  $dE/dI$  — изменение потенциала катода при изменении плотности тока (Ом·см<sup>2</sup>).

Выравнивающая и микровыравнивающая способность электролитов. Различные в скоростях электроосаждения на микронеровностях поверхности катода приводят к различному микрораспределению металла (рис. 13). Равномерное (исадельное) микроосаждение соответствует случаю одинаковой скорости осаждения на выступах и впадинах (рис. 13, а). При положительном выравнивании (антивыравнивании) наиболее высокая скорость осаждения наблюдается на микровыступах (рис. 13, в). Для количественной оценки выравнивающей и микровыравнивающей способности эффект микровыравнивания (положительный или отрицательный) связывают с микрораспределением осадка по толщине и затем сравнивают с первичным (геометрическим) распределением тока. Обычным объектом, с помощью которого определяют выравнивающую способность (ВС), является пологий синусоидальный профиль с длиной волны синусоиды 50–100 мкм и амплитудой, в 10–20 раз меньшей длины волны. После электроосаждения металла на такой профиль изготавливают поперечный шлиф и из-

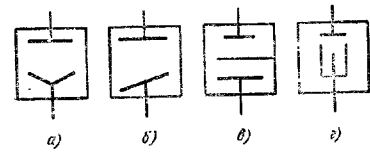


Рис. 12. Схемы ячеек для измерения  $FC$  электролитов

меряют под микроскопом соответствующие параметры. Возможно для этой цели проводить съемку профилеграмм до и после нанесения покрытий. Расчет выравнивающей способности ведут по формуле

$$BC = - \frac{l}{2\pi d_{cp}} \ln \frac{h_0}{h_c},$$

где  $l$  — длина волны синусоиды;  $h_0$  и  $h_c$  — амплитуда синусоиды до и после электроосаждения;  $d_{cp}$  — средний (расчетный) толщина слоя металла. Если отношение  $h/h_0$  близко к единице, то можно воспользоваться одним из следующих соотношений:

$$BC = - \frac{l}{2\pi d_{cp}} \frac{h - h_0}{h_0} = \frac{l}{2\pi d_{cp}} \frac{h_0 - h}{h_0}$$

( $BC = 0$  соответствует равномерному распределению металла,  $BC > 0$  — положительному выравниванию,  $BC < 0$  — отрицательному микровыравниванию).

Микровыравнивающая способность может быть рассчитана аналогично обычной выравнивающей способности, с учетом того, что в качестве ближнего катода принимается вершина микровыступа, а в качестве дальнего катода — дно микроуглубления.

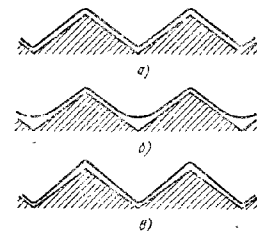


Рис. 13. Схема микрошлифов пологого синусоидального профиля: а — равномерное микроосаждение; б — положительное выравнивание; в — отрицательное выравнивание (антивыравнивание)

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ И СТАЦИОНАРНЫЕ ВАННЫ

Все недостатки поверхностей деталей, поступающих в гальванический цех, перед нанесением покрытий устраняют механической, химической или химико-механической обработкой.

К механической обработке прежде всего следует отнести полирование и шлифование.

### ШЛИФОВАЛЬНО-ПОЛИРОВАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

К этому виду оборудования относятся: станки общего и специального назначения для обработки деталей вручную; шлифовально-полировальные полуавтоматические и автоматические установки; галтовочные барабаны; вибрационные установки.

Шлифовально-полировальные станки для ручной обработки могут быть одно- и двухшпиндельные, ленточные и станки специального назначения.

Наибольшее распространение в гальванических цехах получили двухшпиндельные универсальные шлифовально-полировальные станки (рис. 1).

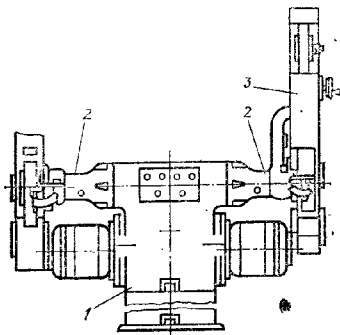


Рис. 1. Универсальный шлифовально-полировальный станок:  
1 — станция; 2 — шлифовальные бабки;  
3 — механизм натяжения ленты

Конструктивно эти станки состоят из станины, на которой закреплены электродвигатели, шлифовальные бабки со шпинделями для насадки шлифовально-полировальных кругов или ленты, механизм натяжения ленты, станция включения-выключения электродвигателя, механизм подачи пасты.

От шкива электродвигателя через клиноременный ступенчатый или бесступенчатый вариатор вращение передается на шпиндель.

В универсальных станках устанавливают два электродвигателя, обеспечивающих автономную работу на каждом шпинделе.

Применяются также станки, на которых установлен только один электродвигатель. В этом случае вращательное движение на оба шпинделя передается двумя ременными передачами от одного двигателя.

На левую бабку универсального шлифовально-полировального станка монтируют защитный кожух, а на шпиндель насаживают полировальный круг. На правую бабку устанавливают механизм натяжения ленты.

Станки такого типа предназначены для полирования плоских, сферических и профилированных поверхностей.

Использование бесконечной шлифовальной ленты повышает производительность труда, кроме того, полирование лентой позволяет обрабатывать поверхность более сложной конфигурации.

Шлифовально-полировальные станки большим ассортиментом выпускаются отечественной и зарубежной промышленностью.

Наиболее широко применяется в гальванических цехах оборудование, выпускаемое Дербентским заводом шлифовальных станков. Этот завод выпускает универсальные станки различной мощности и размеров. Технические характеристики таких станков приведены в табл. 1.

### 1. Технические характеристики универсальных полировальных станков

Модель станка	Мощность электродвигателя, кВт	Частота вращения шпинделя, об/мин	Диаметр контактного ролика или полировального круга, мм	Расстояние между контактными роликами, мм	Размеры ленты (длина × ширина), мм
3А852	0,75—1,0	1420—2250	200	480	2900 × 50
3853	1,7—2,2	1270—3050	315	1280	3500 × 70
3854	4,5—5	1000—2800	450	1400	3700 × 100
3854А	4,5—5	1000—2800	400	1400	3500 × 100
3855	7,0	800—1350	500	1600	4000 × 140

На рис. 2 приведена схема настольного ленточно-полировального станка НЛПС, предназначенного для полирования и зачистки наружных поверхностей деталей различной формы.

При полировании лентой детали могут обрабатываться как на валу или контактом ролика, так и на свободном участке ленты.

Станок состоит из подставки-станции, электродвигателя, вала, натяжного устройства ленты с роликами, телескопической штанги и кожуха. К кожуху подводится система вытяжной вентиляции. При помощи специальной пружины лента во время работы всегда находится в натянутом состоянии.

При обработке фасонных деталей шлифование производят на среднем контактном ролике, профиль которого должен соответствовать профилю обрабатываемой детали.

На рис. 3 показана схема станка модели 3824, предназначенного для шлифования и полирования перескакивающих криволинейных поверхностей.

Обрабатываемую деталь 7 с приспособлением 8 для ее крепления устанавливают на шпинделе 9 станка. Со шпинделем жестко связаны рычаг 12 и ролик 13, который контактирует с копиром 14 поворота шпинделя. Плотный контакт шпинделя с копиром обеспечивается пружиной 11. Лента приводится в движение шкивом 1 с окружной скоростью 15 м/с. Подача на врезание рабочего копира с лентой выполняется при помощи пиноли 3. Окончание обработки фиксируется переключателем 4 и рычагом 5, жестко закрепленными на пиноли.

Технические характеристики универсальных ленточных станков, приведены в табл. 2.

Станция установок крепится к тяжелой фундаментной плите, при помощи которой они устанавливаются в настольном варианте.

Трудоемкость шлифовально-полировальных операций составляет более 50 % трудоемкости всех операций при гальванообработке. Этот процесс усложняется при обработке крупногабаритных сложнопрофилированных деталей, на поверхность которых требуется наносить защитно-декоративные покрытия.

Применение автоматических и полуавтоматических установок, сиректн-

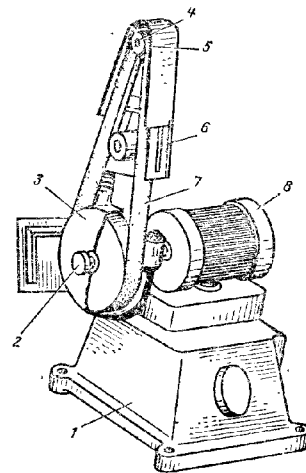


Рис. 2. Настольный ленточно-полировальный станок НЛПС:

1 — станция; 2 — вал; 3, 5 — кожухи;  
4 — натяжное устройство; 6 — ролик;  
7 — абразивная лента; 8 — электродвигатель

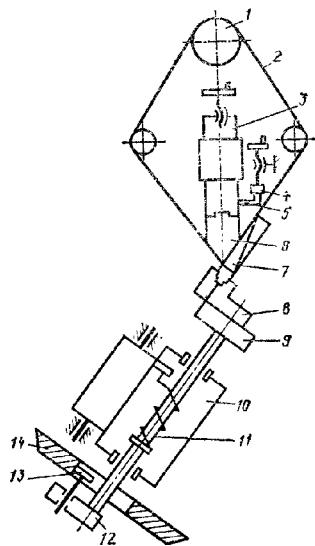


Рис. 3. Кинематическая схема шлифовально-полировального станка модели 3B24:

1 — шкив; 2 — абразивная лента; 3 — пиннолы; 4 — переключатель; 5 — рычаг; 6 — рабочий копир; 7 — обрабатываемая деталь; 8 — приспособление; 9 — шпиндель; 10 — дюлька; 11 — пружина; 12 — рычаг; 13 — ролик; 14 — копир

рованных под конкретную деталь серийного или массового производства, а также автоматических линий, которые можно налаживать на режимы обработки однотипных или разнотипных по форме деталей, снижает трудоемкость этих операций.

## 2. Основные данные универсальных ленточных станков различных моделей

Параметры	ЗБ 890	ЛСП	НЛПС
Размеры абразивной ленты, мм:			
длина	1600	1650	1690
ширина	160	50	50
Диаметр ведущего ролика, мм	132	350	220
Скорость ленты, м/с	10; 14; 20; 28	30	30
Мощность приводного двигателя, кВт	3,3/4,1	1,7	1,0
Габаритные размеры, мм:			
длина	900	—	500
ширина	735	—	350
высота	1635	—	810

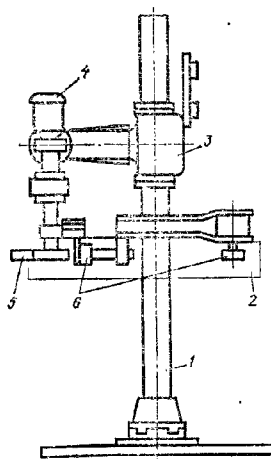


Рис. 4. Схема шлифовально-полировальной головки

Основным агрегатом некоторых автоматических линий являются универсальные шлифовально-полировальные головки (рис. 4), состоящие из основания со стойкой 1, по которой движется траверса 3. Траверса может перемещаться вертикально и вращаться вокруг стойки на 360°.

На траверсе укреплен электродвигатель 4. На шпиндель головки через редуктор устанавливается шлифовальный инструмент 5. В качестве шлифовального инструмента может быть использован шлифовальный круг или абразивная лента. При использовании абразивной ленты головка дополнительно снабжается устройством 6 для

натяжения ленты и защитным кожухом 2. Через защитный кожух осуществляется отсасывание пыли.

Переустановка универсальной головки с работы шлифовальным кругом на шлифовальную ленту не представляет трудностей. Натяжение ленты производится при помощи пневмоустройства.

Универсальные головки в необходимом количестве устанавливаются около транспортного устройства, которое в специальных приспособлениях передвигает детали относительно шлифовального инструмента, укрепленного на головке. При выходе из строя головки может быть заменена другой.

В зависимости от формы транспортного устройства автоматические линии с универсальными головками могут быть конвейерные и карусельные. Скорость движения транспортного устройства в них зависит от вида обработки и регулируется в пределах 1,8—7 м/мин.

Линии с универсальной головкой применяются на заводах автомобильной промышленности для шлифования длиномерных деталей (бампер, решетка радиатора и др.). В этих автоматических линиях устанавливается до 50 универсальных головок.

Установка головок производится по наружной или внутренней стороне конвейера, а при необходимости головки ставят с двух сторон конвейера.

Управление линией осуществляется с пульты, где контролируется работа каждой головки.

При работе универсальной головки предусмотрена периодическая подача жидкой пасты на полировальные круги при помощи специальных pistolостов-распылителей.

Автоматические линии с универсальными головками имеют высокую производительность, надежны в работе, легко налаживаются для обработки разнотипных деталей. Эти линии целесообразно применять при массовом и крупносерийном производстве для деталей с нешлифованной поверхностью.

Галтовка\* предназначена для очистки поверхности металла от коррозии,

\* По ГОСТ 23505—79 рекомендуется применять термин жидкостно-абразивная обработка.

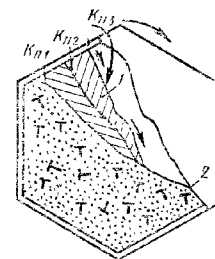


Рис. 5. Схема процесса галтовки деталей в шестигранном барабане:

1 — активная зона; 2 — мертвая зона;  $K_{л1}$ — $K_{л2}$  — поверхность отрыва деталей и исполнителя от стенки барабана

окалтины, а также позволяет снимать заусенцы и закруглять острые кромки. Галтовка в основном используется для очистки деталей, полученных литьем и штамповкой.

В качестве оборудования используются галтовочные барабаны многогранной и цилиндрической формы. Оптимальные результаты обработки достигаются при использовании шестигранных барабанов.

Частота вращения барабана определяется размером и конфигурацией деталей, их количеством в барабане и характером абразивного наполнителя.

В шестигранном барабане при вращении всегда возникает (рис. 5) «мертвая» зона 2, где детали и зерна абразивного материала практически не перемещаются относительно друг друга, и активная зона 1, в которой происходит процесс очистки.

По конструкции галтовочные барабаны можно разделить на консольные (колокольные), герметичные, перфорированные, специальные.

Барабаны различны по форме, отличаются по устройству для загрузки и выгрузки деталей, а также по расположению оси вращения.

Для обработки мелких деталей применяют барабаны с внутренними перегородками, при этом барабан может быть двух- и трехкамерный.

Крупногабаритные детали обрабатываются в специальных многокамерных барабанах, где в каждой камере помещаются одна-две детали. Чем больше диаметр барабана, тем больше давление оказывают детали друг на друга



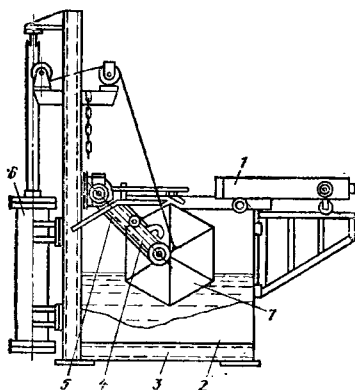


Рис. 6. Установка для гидрополирования алюминиевых деталей

и на абразивный материал в тем интенсивнее протекает процесс обработки.

Для барабанов большого диаметра частоту вращения снижают; так, для диаметра 0,5 м частота вращения должна составлять 30—40 об/мин, для диаметра 0,8 м — не более 25 об/мин. При обработке тяжелых и крупногабаритных деталей частота вращения должна быть 12—15 об/мин. В тех случаях, когда в качестве наполнителя используют мягкие материалы (опилки, фетр, кожу и др.), а также когда необходимо снять большой слой металла, целесообразно использовать барабаны большого диаметра.

При обработке твердыми материалами (дробью и др.) используют барабаны малого диаметра.

В цилиндрических барабанах обработка деталей идет значительно медленнее, чем в граненых, так как путь и скорость перемещения деталей в таких конструкциях меньше, чем в многогранных.

Барабаны со смещенной осью относительно геометрической создают интенсивное движение и перемещение деталей. При такой конструкции барабана детали совершают сложное движение с различными скоростями во времени.

Скорость шлифования и шероховатость обрабатываемой поверхности определяются соотношением длины ба-

рабана к его диаметру. Так, для барабана диаметром 200—500 мм отношение длины к диаметру должно составлять не менее 2, для диаметров 500—600 мм — 1,5.

Для получения поверхности с меньшей шероховатостью применяют перфорированные полировальные барабаны, работающие в жидкости. В перфорированном барабане жидкая фаза улучшает процесс полирования деталей при постоянной промывке (рис. 6). Установка состоит из рамы 3, двух баков 2, в которых на подвесках 4 помещен шестигранный перфорированный барабан 7.

Для подъема и опускания барабана в ванну имеется подъемный механизм с пневмоприводом 6. За счет смещения цапф цепной передачи 5 барабану сообщается сложное вращение. Загрузка и выгрузка деталей и наполнителей обеспечивается с помощью тележки 1 с поддоном. Масса деталей, загружаемых в барабан, составляет до 40 кг. Барабан приводится в движение с частотой вращения 28 об/мин.

Применение данной установки снижает трудоемкость полирования алюминиевых деталей в 2 раза.

Широко применяется вибрационная обработка, которая имеет широкие технологические возможности и высокую производительность. Высокая интенсивность и экономичность вибрационных процессов обусловлены возможностью обработки одновременно всей поверхности большого количества деталей.

Сущность вибрационной обработки в абразивной среде состоит в том, что протекает процесс механической или химико-механической обработки поверхности деталей за счет большого числа соударений абразивного материала рабочей среды с деталями.

Обрабатываемые детали загружаются в резервуар, в котором имеется рабочая среда. Вся система подвергается вибрации, в результате которой возникают сложные колебания резервуара, деталей и обрабатываемой среды. Рабочая среда и обрабатываемые детали начинают интенсивно перемещаться и медленно вращаться. Вибрация передается от стенок рабочей камеры прилегающим слоям рабочей среды, которые передают ее следующему слою, и т. д.

В процессе обработки детали непрерывно меняют положение в рабочей среде и проходят различные зоны рабочей камеры. Такое движение деталей обеспечивает равномерную обработку всех ее поверхностей, контактирующих с частицами рабочей среды. Воздействие на обрабатываемую деталь одновременно множеством частиц в различных направлениях способствует удержанию ее во взвешенном состоянии, исключая таким образом грубые впадины и повреждения деталей.

Скорость обработки во многом зависит от частоты и амплитуды вибрации.

В промышленных установках частота вибрации может изменяться в пределах 15—50 Гц.

С увеличением амплитуды колебаний резко увеличивается съем металла с поверхности деталей. Поэтому в зависимости от материала детали, ее геометрических размеров и жесткости определяется амплитуда колебаний системы. Для промышленных установок амплитуда колебаний может изменяться от 0,5 до 9 мм. Увеличение амплитуды колебаний выше оптимальной приводит к повышению шероховатости поверхности детали, а для тонких деталей к короблению.

К числу основных параметров, характеризующих рассматриваемый процесс, относятся: скорость частиц рабочей среды (0,3—1 м/с), ускорение (20—150 м/с<sup>2</sup>), сила микроударов (15—30 Н и более); контактное давление (150—1500 МПа); среднее приращение температуры в зоне микроударов (20—700 °С) при средней температуре в рабочей камере 30—40 °С.

Область применения вибрационной абразивной обработки весьма широка, например, очистка поверхности деталей сложной формы от окалины, остатков формовочной смеси, следов коррозии; снятие заусенцев и скругление острых кромок на профилированных и мелких деталях; полирование и шлифование поверхности сложнопрофилированных деталей. Кроме того, виброабразивная обработка позволяет упрочнять поверхность деталей, повышая их микротвердость; наносить покрытия приработочными материалами, такими, как дисульфид молибдена; удалять облой с пластмасс; производить очистку деталей от жировых загрязнений и т. д.

Особый эффект достигается при обработке поверхности сложных тонкостенных деталей, которые другим методом обработать практически невозможно.

Рабочая среда выбирается в зависимости от назначения операции и способа ведения процесса (сухой, мокрый).

В качестве жидкости при виброабразивной обработке используются водные растворы химических соединений с добавками моющих, травильных, ленообразующих, пассивирующих и других веществ. Рабочая жидкость циркулирует через рабочую камеру непрерывно или впрыскивается периодически.

Для вибрационной обработки используются станки и установки, имеющие следующие основные узлы: механизм загрузки-выгрузки деталей и рабочей среды; рабочую камеру; вибратор; станину-основание.

Принципиальная конструктивная схема вибрационной установки ВМИ-1004А показана на рис. 7.

Станина 1 опирается амортизаторами 3 на деревянное основание 2. На станине смонтированы цилиндрические и С-образные пружины, на которые опирается вибрационная платформа 5 с инерционным вибратором, состоящим из вала 4 и четырех пар дебалансов. На верхней плоскости виброплатформы закреплен рабочий резервуар 6 со сменным экраном-вставкой 12. Вал вибратора соединен гибкой муфтой 7 с выходным валом трехступенчатой коробки передач 8, на которой установлена плита с электродвигателем. В л электродвигателя приводит в движение входной вал коробки передач через клиноременную передачу 10. Установка закрыта кожухом 11. Резервуар 6 соединен с отстойником 15 трубопроводами 13 (нагнетательным) и 14 (сливным). Основание 2 выполнено из массивных дубовых брусков в виде рамы. На верхней плоскости рамы закреплены стальные чашки для свободной установки в них амортизаторы 3.

Станина 1 представляет собой чугунную плиту массой 2800 кг с приливами для закрепления на них опорных пружин и цапф. Большая масса плиты необходима для обеспечения устойчивой работы установки на всех режимах.



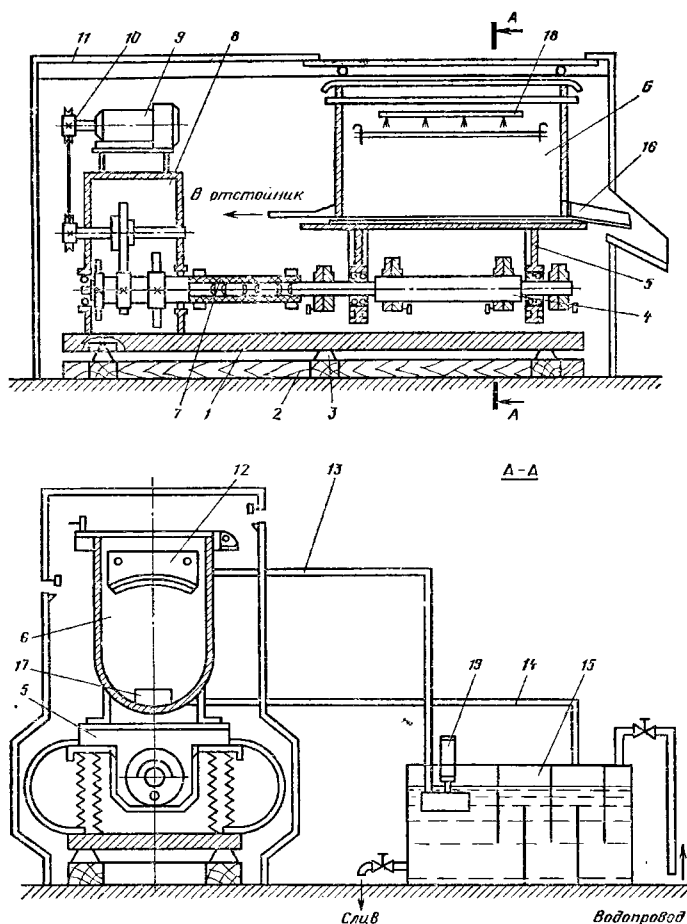


Рис. 7. Конструктивная схема вибрационной установки ВМИ-1004А

Наличие деревянного основания с резиновыми амортизаторами и массивной станины позволяет устанавливать вибромашину ВМИ-1004А непосредственно на полу цеха без фундамента, дополнительных креплений и исключает передачу вибрации стоящему рядом оборудованию.

Резервуар б изготавливается из коррозионно-стойкой листовой стали и имеет

U-образную форму. В боковой его стенке имеется разгрузочный люк с быстродействующим замком и лоток 16, а внутри — сливная воронка с решеткой 17, через которую производится слив отработанного раствора в отстойник 15. Сверху резервуар закрыт крышкой. При выполнении грубых очистных операций в верхнюю часть резервуара ставится экран-

вставка 12. Рабочий раствор подается в резервуар вибрационной установки электронасосом 19. Для подачи раствора при обработке деталей в условиях непрерывной циркуляции жидкости в верхней части резервуара имеется дождевальное устройство 18. Вибромашина ВМИ-1004А повышает производительность на очистных операциях в 2—3 раза в сравнении с существующими аналогичными установками, позволяет применять химически активные и агрессивные растворы, полностью использовать объем резервуара на отделочных операциях.

На рис. 8 представлена рабочая камера вибрационного станка ВУ-200. Она состоит из U-образного в сечении резервуара 1 прямоугольной формы, крышки 2, разгрузочного люка 3, приемного лотка 4, люка 5 для отвода жидкости, ребра жесткости 6, бобышек 7. Внутренняя часть рабочей камеры облицована износостойким материалом.

Изменение формы сечения рабочей камеры путем скругления одной из ее стенок способствует ускорению процесса обработки, так как исключаются дополнительные завихрения в верхней части камеры.

Гидроабразивная обработка поверхности металла осуществляется

в специальных установках, в которых гидроабразивная смесь, увлекаемая сжатым воздухом, с большой скоростью направляется на очищаемую поверхность детали.

Соотношение абразивного материала и воды (по объему) в гидроабразивной смеси составляет 1 : 2—1 : 6.

Существует несколько типов установок для гидроабразивной обработки, которые по способу доставки абразивной смеси к объекту очистки делят по принципу эжектирования (пневмоэжекторные), выдавливания абразивной смеси сжатым воздухом, подачи абразивной смеси насосом, раздельной подачи смеси воздуха с песком и водой к соплу.

На рис. 9 показана установка, работа которой основана на принципе эжектирования абразивной смеси. В смеситель 3 заливается вода и абразив при непрерывном вращении мешалки 2. Таким образом, в бункере создается гидроабразивная смесь. Сжатый воздух подается в струйный аппарат 6. В нем создается разрежение, которое обеспечивает подачу абразивной смеси по шлангу 4. Сопло струйного аппарата направлено к поверхности поворотного стола 11.

В смесительной камере струйного аппарата абразивная жидкость сме-

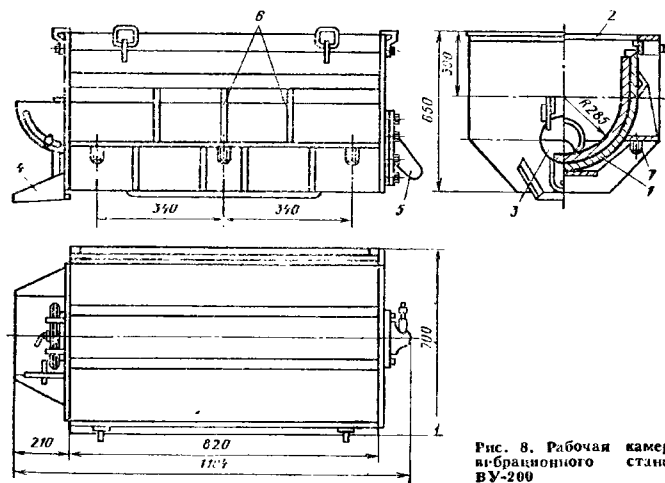


Рис. 8. Рабочая камера вибрационного станка ВУ-200

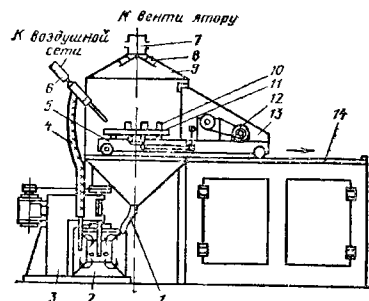


Рис. 9. Гидроабразивная установка, работающая по принципу эжектирования абразивной смеси:

1 — шланг; 2 — мешалка; 3 — смеситель; 4 — засасывающий шланг; 5 — тележка; 6 — струйный аппарат; 7 — горловина; 8 — отражатель; 9, 13 — камеры; 10 — обрабатываемые детали; 11 — поворотный стол; 12 — электродвигатель; 14 — рельсы

соединяется со сжатым воздухом, сообщаям ей дополнительную кинетическую энергию.

Абразивная жидкость захватывается сжатым воздухом и с большой скоростью проходит выходное сопло струйного аппарата, а отработанная жидкость стекает в смеситель 3.

Поворотный стол 11 с деталями 10 устанавливается на специально тележке 5, которая при помощи электродвигателя 12 с редуктором может перемещаться по рельсовому пути в камере.

Эжекторные гидроабразивные установки потребляют значительно меньше энергии на подачу абразивной смеси в струйный аппарат, в результате чего КПД снижается до 10—12%.

На рис. 10 показана схема установки для абразивной смеси сжатым воздухом.

Установка состоит из камеры 8, бака 1, соединяющего с абразивной жидкостью, которая подается сжатым воздухом по шлангу к струйному аппарату 12. Жидкость распыляется сжатым воздухом, поступающим к аппарату по шлангу 15. Отработанная жидкость стекает в бункер 3 камеры 8. После использования всей жидкости находящаяся в баке, доступ воздуха в бак прекращается и при помощи трехходового крана, и полость бака сообщается с атмосферой.

Клапан 2 под действием жидкости опускается, и жидкость возвращается в бак. Очищаемые детали закрепляются на плите 14 и поочередно специальным устройством 13.

Рабочая камера освещается рефлектором и снабжена системой вытяжной вентиляции.

Бак оснащен мешалкой 19, которая вращается от электродвигателя 18 при помощи ременно-шестеренной передачи.

После заполнения бака жидкостью и абразивом в соотношении (по массе) 1:4 клапан 2 поднимается рукояткой 4 с омощью троса и плотно прижимается к седлу перекрывая абразивный канал. В закрытом положении действует давление 0,5—0,6 МПа.

Установка, работающая по принципу разницы давлений жидкости и

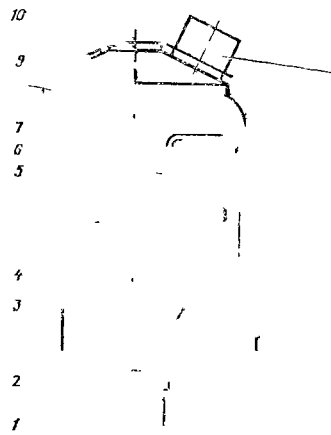


Рис. 10. Гидроабразивная установка, работающая по принципу разницы давлений жидкости и абразива:

1 — бак; 2 — клапан; 3 — бункер; 4 — рукоятка; 5 — смотровое отверстие; 6 — дверь; 7 — окно; 8 — камера; 9 — камера; 10 — вершина; 11 — рельсы; 12 — струйный аппарат; 13 — специальное устройство; 14 — плита; 15 — шланг; 16 — шланг; 17 — шланг; 18 — электродвигатель; 19 — мешалка

### 3. Технические характеристики гидроабразивных установок

Параметры	Установка		
	пневмоэжекторная с вращающимся столом	работающая по принципу выдавливания абразивной смеси	работающая по принципу подачи абразивной смеси насосом
рабочее давление воздуха, МПа	0,35	0,5—0,6	0,4—0,6
расход воздуха, м³/мин	1,5	0,8—1,0	0,8—1,0
емкость резервуара для рабочей жидкости, л	100	1700	1700
количество компонентов на одну загрузку:			
песка, дм³	30	—	—
воды, л	75	—	—
мощность электродвигателя, кВт	0,75—1,0	1,0	2,6
габаритные размеры, м	1,5×3,75×2,2	—	2,1×2,0×2,9

бейным насосом, состоит из двух рабочих камер, в которые помещают защищаемые детали. Через промывочную камеру вода подается насосом в рабочую камеру, а абразивная смесь из смесителя при помощи центробежного насоса — к струйным аппаратам. На выходе из струйного аппарата абразивная смесь подхватывается струей сжатого воздуха и направляется на обрабатываемые детали. Отработанная абразивная смесь и раствор из промывочных камер стекают в сливные бункеры, из которых далее самотеком возвращаются в смеситель.

Для подачи абразивной жидкости из смесителя в рабочую камеру применяются насосы типа С-854 и С-855. Трущиеся части этих насосов изолированы от соприкосновения с абразивной смесью. Это обеспечивает их высокую надежность и позволяет применять повышенную концентрацию абразива в рабочей жидкости, тем самым создавая условия для высокой производительности установки.

Наиболее эффективны и экономичными являются установки, работающие по принципу раздельной подачи песка, воды и воздуха к соплу. Эти установки состоят из двухкамерного несструйного аппарата и устройства для подачи воды и песка. Давление сжатого воздуха составляет 0,4—0,6 МПа.

Конструкция двухкамерного несструйного аппарата позволяет наполнять его песком без прекращения работы.

После выравнивания давления в верхней и нижней камерах открываются

нижний загрузочный конус, и песок поступает в нижнюю камеру. При расходе воды из верхней камеры и в случае необходимости ее наполнения без остановки процесса сжатый воздух подается в нижнюю камеру. Под давлением воздуха закрывается нижний загрузочный конус, и песок поступает из нижней камеры в смеситель и далее по шлангам увлекается воздухом и направляется к соплам.

Сжатый воздух подается в аккумуляторы воды, и вода под давлением по концевой щели попадает в рабочие сопла. Песок поступает в рабочее сопло по центральному каналу. При выходе из сопла струи их смешиваются, и образующаяся смесь воды и песка с большой скоростью направляется на очищаемую поверхность деталей.

В процессе обработки можно смыть ошкрябанный участок от абразива и водной пленки обдувать воздухом.

Интенсивность установок для жидкостно-абразивной обработки зависит от количества абразива в жидкости, расхода и давления сжатого воздуха, а также от угла наклона струи к очищаемой поверхности.

Оптимальный угол наклона струи к очищаемой поверхности составляет 30—60°.

Технические характеристики таких установок приведены в табл. 3.

### ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ВАННЫ

Основным оборудованием в общем процессе гальванообработки деталей является стационарная гальваническая ванна. В зависимости от нахо-

ждения в технологической цепи и назначения стационарная ванна может иметь различную форму, размеры и оснащение.

Назначение и конструкция стационарной ванны определяются как общими признаками, присущими всем гальваническим ваннам, так и спецификой конкретной операции, для которой данная ванна предназначена.

Общим для всех стационарных ванн является, как правило, ее прямоугольная форма, одинаковый материал, из которого их изготавливают, т. е. листовая низкоуглеродистая сталь, наличие штуцеров, обеспечивающих слив раствора.

Различие в конструкции стационарных ванн определяется прежде всего характером процесса, для которого применяется данная ванна, составом раствора, его pH, а также особенностями технологического процесса, требующими подогрева или охлаждения электролита, перемешивания, качания штанг, непрерывной фильтрации, наличия различных физических факторов (ультразвук, магнитное поле, проток электролита и т. п.).

В зависимости от состава раствора применяются различные виды футеровочных материалов. Габаритные размеры ванн определяются величиной поверхности одновременно загружаемых деталей и плотностью тока.

Ванны обезжиривания. В подготовке поверхности деталей важное место отводится обезжириванию, при котором удаляются с поверхности металла жиры животного и минерального происхождения, а также различные загрязнения (шлифовальные и полировальные пасты, консервационные смазки и др.), образующиеся на поверхности деталей при изготовлении, хранении и транспортировке.

В зависимости от вида и степени загрязнения выбираются определенные обезжиривающие растворы, а соответственно метод и оборудование.

Обезжиривание проводят непосредственно погружением деталей в ванну с химическим раствором, электрохимически (на аноде и на катоде), струйным способом, в парах органических растворителей.

Детали с высокой степенью загрязнения обычно проходят обезжиривание дважды. Предварительное обезжиривание

ванне предназначено для снятия шлифовальных и полировальных паст, консервационных смазок, масел. Наиболее эффективным методом снятия загрязнений является обработка в органических растворителях.

Обезжиривание непосредственно перед осаждением гальванического покрытия проводится в щелочных растворах.

Кроме указанных способов обезжиривание проводят струйной очисткой, погружением в ванны для отмочания и другими методами.

Основным оборудованием для обезжиривания деталей в гальваническом цехе является стационарная ванна.

Ванна для химического обезжиривания представляет собой прямоугольную емкость (рис. 11), сваренную из низкоуглеродистой стали, которая снабжена вентиляционными бортовыми отсосами, змеевиком или теплоэлектронагревателями (ТЭН), барботером или другими устройствами для перемешивания.

В конструкции некоторых ванн в верхней части имеются карманы для удаления жировых загрязнений с зеркала электролита. Дно ванны должно иметь уклон в сторону сливного штуцера для удаления образующейся шламы. В некоторых конструкциях предусматривается для этих же целей в виде вставки двойное дно. Для удобства загрузки подвешивают детали на ваннах для химического обезжиривания устанавливают штанги. Ванна снабжена теплоизоляцией.

Ванны для электрохимического обезжиривания в отличие от ванн для химического обезжиривания дополнительно снабжены токоподводящими катодными и анодными штангами, слотированными на бортах ванны. Штанги устанавливаются на изоляторах.

Процесс электрохимического обезжиривания проводится обычно с чередованием анодной и катодной обработки, поэтому у ванн устанавливаются переключатели для ручного или автоматического переключения полярности тока.

Ванна для электрохимического обезжиривания устанавливается на опорных электроизоляторах в соответствии с ГОСТ 19797—80.

Ванны для электрохимического обезжиривания конструкции Минсельхозмаша показаны на рис. 12.

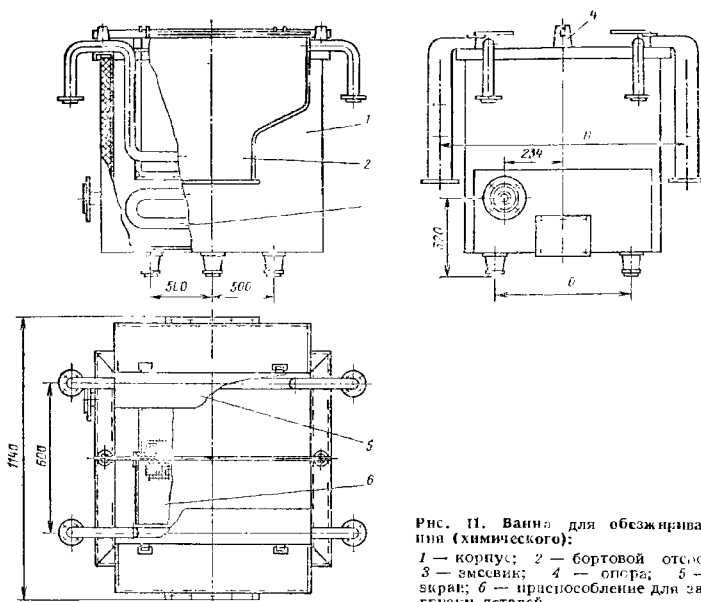


Рис. 11. Ванна для обезжиривания (химического):

1 — корпус; 2 — бортовой отсос; 3 — змеевик; 4 — отпара; 5 — вентиль; 6 — приспособление для загрузки деталей

При обезжиривании путем отмачивания деталей с загрязнениями применяют стальные сварные баки прямоугольной или цилиндрической формы. Детали монтируют на подвески или укладывают в специальные корзинки, а затем загружают в указанные емкости с раствором.

В том случае, если применяются кислотные растворы, ванны футеруют, а теплонагревательные устройства изготавливают из кислотостойких материалов или футеруют свинцом.

Очистка органическими растворителями может проводиться погружением или в парах растворителя.

На рис. 13 приведена принципиальная схема установки для обезжиривания деталей вступными растворителями. Установка содержит рабочую камеру 1, в нижней части которой расположен нагреватель 2, а в верхней — система конденсаторов 3 для улавливания паров растворителя. В нижней части камеры 1 расположен промежуточный конденсатор 4. Рабочая камера имеет зоны мойки, обез-

жиривания и выпаривания. В верхней части камеры размещен желоб 5 для стока конденсата через трубопровод 6 в сборник 7, снабженный указателем 8. Герметичность камеры обеспечивается крышкой 9. Зона выпаривания камеры 1 соединена с герметичной емкостью 10, выполненной в виде шифона, с помощью трубопровода 11, который смонтирован в камеру непосредственно над нагревателем.

Растворитель находится в емкости 10, и часть его (10—15%) поступает в зону выпаривания камеры 1 и заполняет ее до уровня трубопровода 11. В конденсаторы 3 и 4 подает хладагент, что обеспечивает уравнивание и конденсацию паров при снятой крышке 9.

Обрабатываемую деталь или корзину с деталями подвешивают к внутренней стороне крышки 9, опускают в рабочую камеру, герметично закрывают крышку. Далее отключают подачу хладагента в камеру 1, а по трубопроводу 12 в емкость 10 подают сжатый газ. Растворитель нагревается

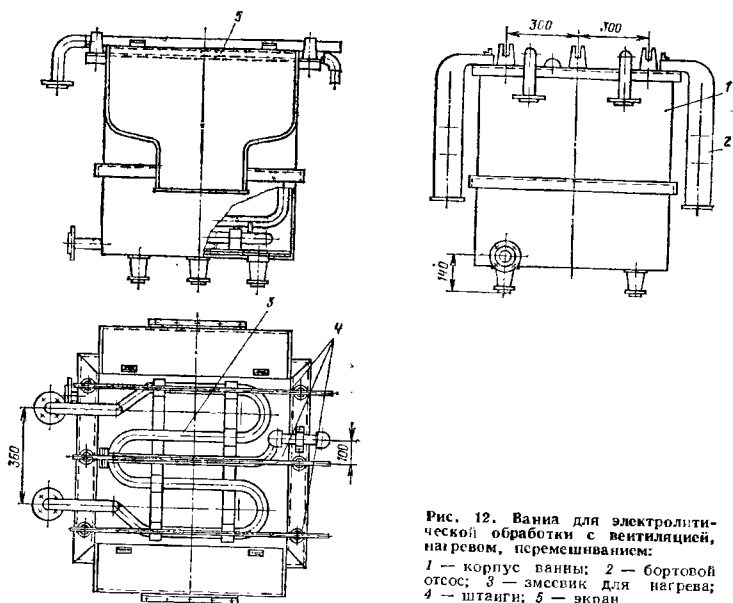


Рис. 12. Ванна для электролитической обработки с вентиляцией, нагревом, перемешиванием:  
1 — корпус ванны; 2 — бортовой отсос; 3 — змеевик для нагрева; 4 — штанги; 5 — экран

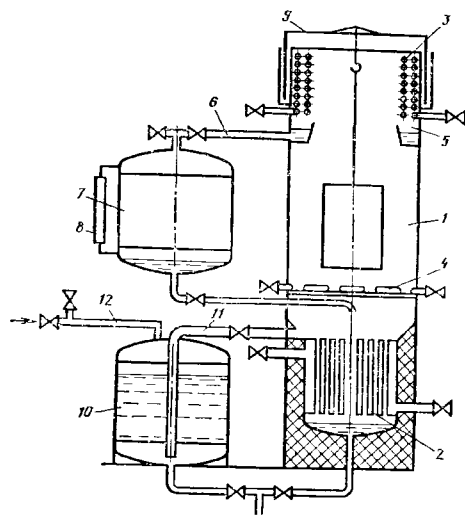


Рис. 13. Схема установки для мойки и обезжиривания деталей легучими растворителями

в камеру I и заполняет весь ее объем. После выдержки изделия в растворе сжатый газ выпускают из емкости 10, которая через трубопровод II заполняется растворителем, поступающим из камеры I. Растворитель, оставшийся в зоне выпаривания, при помощи нагревателя 2 разогревают до температуры кипения. Образующиеся пары проникают сквозь щели конденсатора 4, попадают на поверхность изделия, где конденсируются, и поступают обратно в зону выпаривания. Часть паров конденсируется в конденсаторе 3 и по желобу 5 ствывается в сборник 7, а затем опять поступает в камеру I.

После выдержки изделия в парах растворителя нагреватель 2 выключают, а в конденсатор 4 подает хладагент. При этом поступление паров в зону обработки изделия прекращается. Камеру открывают, с крышки

снимают бак для моющего раствора. Работа на установке может осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режиме.

Техническая характеристика установки типа УПН-6 приведена ниже:

производительность, кг/ч	100—120
мощность, кВт	11,37
габаритные размеры очищаемых деталей, мм:	
максимальные	40×80×80
минимальные	3,5×3,5×50
количество барабанов	2
частота вращения барабана, об/мин	11
число программ	3
емкость бака, л	200
габаритные размеры установки, мм	796×885×1598
масса, кг	340

Для очистки профилированных деталей средних размеров применяются установки типа МСА-2 (для струйной очистки), технические характеристики которых даны ниже:

	МСА-2	МСА-2У
производительность, кг/ч	100—150	
габаритные размеры очищаемых деталей, мм	80×80×200	∅ 120×200
количество корзин	17	
скорость конвейера, м/мин	0,105; 0,157	0,212; 0,476
емкость ванны, л	200	330
тип насоса гидросистемы	Н-180	Н-90
нагрев раствора и воздуха	электрический	
время нагрева раствора до рабочей (50—60 °С) температуры, мин	30	70
оптимальная температура, °С	60—86	50—82
концентрация раствора, %	0,3—0,6	1,0—2,0
габаритные размеры, мм:		
рабочей камеры	1570×755×1800	
бака	8 00×610×1030	
масса, кг:		
рабочей камеры	800	
бака	160	

снимают обрабатываемые изделия, а затем операции промывки и обезжиривания повторяются. При загрязнении растворителя производят его регенерацию путем выпаривания и конденсации на конденсаторах 3 с последующим удалением масла и других загрязнений из камеры I и емкости 10.

Разработаны и изготовлены механизированные моечно-сушильные установки моделей УПН, МСА, КМСУ, предназначенные для очистки деталей растворами синтетических моющих средств.

Установка УПН-6 предназначена для мойки и сушки деталей из черных и цветных металлов. Установка выполнена в виде рабочей камеры с встро-

енным баком для моющего раствора. Конвейерные моечно-сушильные установки комбинированного действия типа КМСУ-4, КМСУ-5, предназначенные для очистки крупногабаритных деталей, состоят из следующих основных секций: приводной, трех моечных и замыкающей. Детали поочередно проходят операции: загрузки (выгрузку) 0,5—1,0 мин, мойку 3—6 мин, сушку 4—10 мин. Для подогрева моющего раствора в каждом баке установлено шесть электрических нагревательных секций (типа СЭВ-3У) мощностью по 3,75 кВт каждая. Конвейерная сушка деталей производится в сушильной камере при температуре 100—120 °С. Нагрев воздуха электрический. Температура раствора и

воздуха поддерживается автоматически.

Техническая характеристика установок типа КМСУ приведена ниже:

производительность (в зависимости от скорости конвейера), число подвесок в час	31-46
максимальные габаритные размеры очищаемых деталей, мм	490×280×380
емкость одной моечной секции, л	600
время и г ева:	
р створа, ч	1-2
во духа, мин	15-20
скорость конвейера, м/мин	0,40; 0,63
установленная мощность, кВт	111,4
габаритные размеры установки, мм	5410×1400×2650
масса, кг	4500

**Ванны травления.** Стационарные ванны химического и электрохимического травления отличаются от ванн обезжиривания наличием кислотостойкой футеровки стенок, дна и теплонагревателей.

Ванны травления в зависимости от состава раствора изготавливаются из низкоуглеродистой стали и коррозионно-стойкой марки 12Х18Н10Т. Ванны, изготовленные из низкоуглеродистой стали, футеруются внутри пластиком. Теплонагреватели изготавливаются из стали 12Х18Н10Т или в отдельных случаях применяются сталь 06ХН28МДТ и графит. Барботеры изготавливаются из тех же сталей, а также из полнуглерода.

Ванны химического травления имеют, как правило, одну штангу, которая располагается над ванной, параллельно длинным стенкам, и служит для подвески приспособления с деталями. Ванна устанавливается на стальные опоры.

Ванна электрохимического травления оснащена токоъемными катодными и анодными штангами, которые монтируются на бортах ванны. Ванна устанавливается на электроизоляторах, снабжена бортовыми отсосами и в отдельных случаях откидывающимися крышками.

**Ванны промывки.** Такие ванны, предназначенные для удаления с деталей и подвески переносимого раствора, устанавливаются после каждой технологической операции. Промывка деталей может производиться непосредственным погружением их в ванну с вод и струйным способом.

Для метода непосредственного погружения используются ванны с непроточной водой (ванны улавливания), с проточной водой, с различными способами перемешивания и без него, а

также ванны многоступенчатой промывки.

Ванны с непроточной водой (уловители) применяют для улавливания

растворов, содержащих драгоценные металлы, и высокотоксичных растворов (хромовая кислота, цианиды и др.). После ванны с растворами высокотоксичных веществ устанавливается одна ванна непроточной промывки, после ванны серебрения — две, после золочения — три ванны улавливания.

Во всех остальных случаях применяют ванны с проточной водой и перемешиванием. Перемешивание можно осуществлять путем качания штанги и перемещения подвески, подачи проточной воды, ультразвуком, сжатым воздухом.

Наиболее высокое качество промывки достигается путем наложения ультразвука. Этот способ применяется редко, так как он наиболее дорогостоящий, а применяемое ультразвуковое оборудование требует высокой квалификации обслуживающего персонала.

Наиболее эффективным является способ перемешивания воды сжатым воздухом.

Ванна промывки с барботером показана на рис. 14.

Сжатый воздух, очищенный от масел, подается в барботер, который представляет собой эжевик или изогнутую под 90° трубу, в нижней части которой имеется множество мелких отверстий. Воздух от сети или автономного компрессора подается в барботер с расходом 0,2 л мин на 1 л воды.

Проток воды в ванне промывки осуществляется путем подачи ее в донную часть ванны и слива через специальные карманы, патрубки или штуцера, установленные на высоте поддержания уровня воды в ванне.

Ванны для холодной промывки изготавливают из несортной стали. В зависимости от объема толщины стенок составляет 3—8 мм. Ванна снабжена

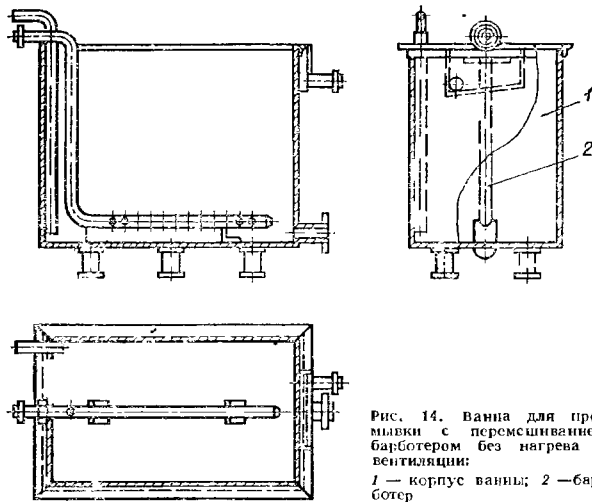


Рис. 14. Ванна для промывки с перемешиванием барботером без нагрева и вентиляции:  
1 — корпус ванны; 2 — барботер

переливным и сливным штуцерами. Вода подается через трубу, опущенную в ванну, выходные отверстие которой устанавливается на расстоянии 50—100 мм от дна.

В ванне монтируется барботер или другое устройство для перемешивания воды.

Ванна для горячей промывки дополнительно оснащена стальным эжевиком для нагрева воды и теплоизоляцией. В том случае, если температура промывки выше 60 °С, на ванну устанавливаются бортовые отсосы вытяжной вентиляции. Ванна для горячей промывки показана на рис. 15.

В настоящее время большое распространение получили ванны двух- и трехступенчатой промывки (каскадные). Эти ванны главным образом используются в технологическом цикле автоматических линий. В каскадных ваннах применяется схема проточной и иротируется с промывки. При проточной промывке движение воды из ванны в ванну производится в одном направлении с деталями. В схеме противоточной промывки направления движения воды и деталей противоположны. Противоточная схема промывки наиболее экономична и позво-

ляет снизить расход воды более чем в 4 раза.

Конструкция ванны двухкаскадной промывки показана на рис. 16. В ванне трехкаскадной промывки предусмотрены три отсека, разделенных двумя внутренними перегородками.

Ванны каскадной промывки могут быть снабжены футеровкой из пластика, барботером, эжевиком для нагрева в одном из отсеков ванны.

Наиболее высокая эффективность и экономичность достигается методом струйной промывки. Струйный метод промывки обеспечивает ускорение процесса промывки, уменьшает себестоимость, улучшает условия труда, экономит производственную площадь. Этот метод находит все большее распространение при создании новых автоматических гальванических линий.

Ванны для осаждения покрытий. Гальванические ванны, предназначенные для осаждения металла, изготавливают путем сваривания из листовой стали. Для гальванических процессов, протекающих при комнатной температуре, оснащение ванн практически одинаково и мало чем отличается от описанных выше ванн электрохимического обезжиривания.

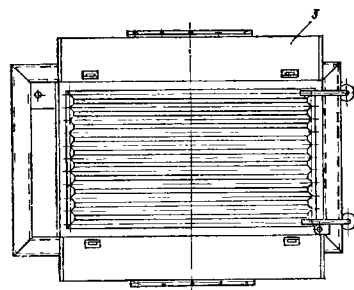
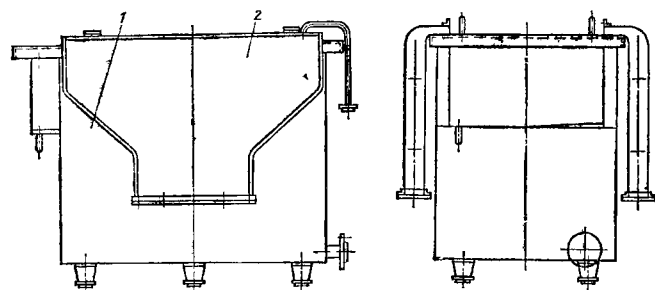


Рис. 15. Ванна для промывки с нагревом и вентиляцией:  
1 — корпус ванны; 2, 3 — бортовой отсос

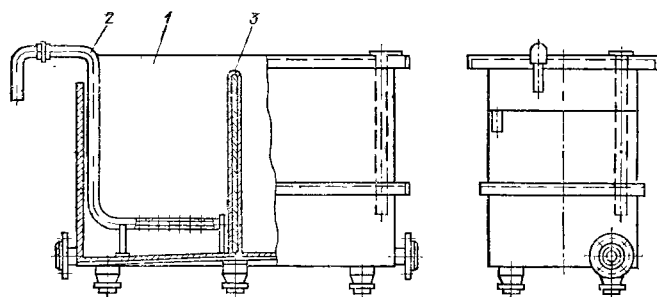


Рис. 16. Ванна двухкаскадной промывки с перемешиванием:  
1 — корпус ванны; 2 — бортовой отсос; 3 — разделительная перегородка

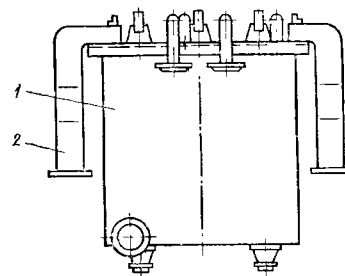
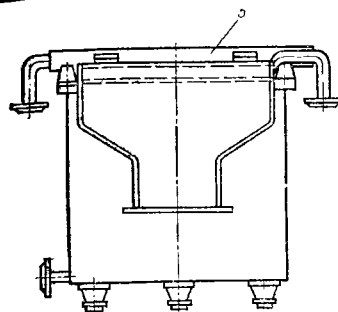
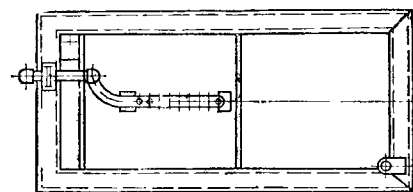
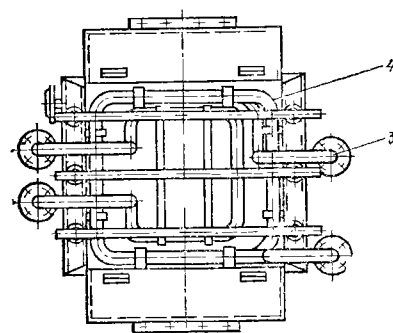


Рис. 17. Ванна электрохимической обработки металлов с вентиляцией и нагревом и охлаждением в дой без перемешивания:  
1 — корпус ванны; 2 — бортовой отсос; 3 — змеевик для нагрева; 4 — змеевик для охлаждения; 5 — экран



Все эти ванны имеют футеровку, катодные и анодные штанги, шпунцы для заливки и слива, бортовые отсосы вытяжной вентиляции, при необходимости — устройства для перемешивания электролита. В тех случаях, когда процесс протекает с большим выделением теплоты, например, при анодировании алюминия, ванны дополнительно снабжаются змеевиками для охлаждения электролита холодной водой.

Ванна, работающая с подогревом и охлаждением, показана на рис. 17.

Процессы, протекающие при повышенной температуре, проводят в гальванических ваннах, оснащенных дополнительными нагревательными приборами, а также системой терморегулирования и поддержания технологической температуры процесса.

В качестве нагревательных устройств чаще всего используются змеевики,

расположенные по дну и боковым стенкам ванны параллельно штангам. Змеевики изготовляют из стали со специальным покрытием, коррозионностойких сталей (12Х18Н10Т, 06ХН28МДТ), титана.

Для процессов, протекающих в электролитах повышенной агрессивности и при повышенной температуре (хромирование, окислительное стеление и др.), нагрев электролита производят через пароводяную рубашку или острый паром.

В тех случаях, когда требуется для небольшого объема электролита, применяют электронагревательные приборы.

При протекании отдельных технологических процессов требуется вначале нагреть электролит, а затем (чтобы компенсировать выделяющуюся в процессе теплоту) следует электролит охладить (например, при хромировании). В ваннах для таких процессов преду-

4. Основные размеры ванны по ОСТ 2 П65-1 80

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

считывается установка системы нагрева и охлаждения. Ванны, работающие с подогревом электролита, оснащены теплоизоляцией.

В табл. 4 приведены основные размеры гальванических ванн, выпускаемых Минстанкинпромом в соответствии с ОСТ 2 П65-1—80.

В табл. 5 приведены размеры ванн, разработанных ЦКБООГ при Тамбовском заводе гальванического оборудования.

Кроме приведенных нормализованных гальванических ванн, заводы других министерств также выпускают ванны в соответствии со своими отраслевыми стандартами.

5. Основные размеры ванны

Тип ванны	Внутренние размеры, мм			Рабочий объем, л
	длина	ширина	высота	
01	600	550	800	250
02	800	700	800	400
03	1200	700	800	600
04	1500	710	800	750
05	800	700	1000	550
06	1200	700	1000	800
07	1500	700	1000	1000
08	1500	1000	1000	1300
09	2200	700	1000	1400
10	2200	1000	1000	2000
11	3000	700	1000	2000
12	3000	1000	1000	2700
13	800	450	800	270
14	800	450	1000	350



Рис. 18. Электролитическая ванна с движущейся катодной штангой.

1 — корпус ванны; 2 — электродвигатель с редуктором; 3 — анодные пластины; 4 — катодная штанга

Наряду с нормализованным гальваническим оборудованием изготавливаются отдельные виды установок с учетом специфики технологических процессов. Так, для процесса никелирования ванна снабжается катодной штангой, совершающей непрерывные возвратно-поступательные движения (рис. 18), а также установкой для непрерывной фильтрации и циркуляции электролита. Процесс глубокого анодирования алюминия ведется при температуре электролита  $-5 \div 5^\circ\text{C}$ , поэтому охлаждение ведут от холодильной машины; с целью интенсификации процесса и получения специальных свойств покрытия используются ультразвуковые и другие установки.

## ФУТЕРОВКА ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ВАНН

Футеровка гальванических ванн необходима для защиты электролита от продуктов коррозии металлического оборудования и защиты от коррозии гальванического оборудования и увеличения его долговечности.

Для футеровки гальванических ванн в зависимости от их назначения, характера электролита и температурного режима электролиза используют следующие материалы: свинец, винилпласт, пластикат, полипропилен, резину, диабазовые метлахские или ке-

рамические плитки, кислотоупорный кирпич и другие специальные материалы.

Свинец обладает наиболее высокой химической и термической стойкостью в растворах  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  в смеси  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , а также в сернокислых солях. Свинец применяется для футеровки травильных сернокислотных ванн и является незаменимым материалом для ванны хромирования. В ванне хромирования, работающей при повышенной температуре, применяется свинец в качестве футеровки и анодов. Причем он является единственным материалом, на котором с достаточной скоростью протекает реакция окисления  $\text{Cr}^{3+}$ , накапливающегося в ванне хромирования, до  $\text{Cr}^{6+}$ . Поэтому даже в тех случаях, когда в качестве основных анодов в ванне хромирования применяют иногда платинированный титан, необходимы дополнительные аноды из свинца.

Свинец используется для изготовления теплоэлектронагревательных приборов и змеевиков, а также свинцевания этих приборов, изготовленных из стали.

Винилпласт — один из наиболее широко применяемых футеровочных материалов (ГОСТ 9639—71\*). Этот материал обладает высокой химической стойкостью в различных агрессивных средах, прочностью и электроизоляцией. Винилпласт стоек практически во всех растворах электролитов, применяемых в гальванотехнике. Большим преимуществом винилпласта является то, что он легко сваривается, формуется и обрабатывается механически. Это позволяет использовать его как самостоятельный конструкционный материал, так и для футеровки ванн.

Основной недостаток винилпласта, значительно ограничивающий область его применения, — низкая термостойкость. Винилпласт рекомендуется использовать до температуры  $50^\circ\text{C}$ . При  $60^\circ\text{C}$  винилпласт размягчается.

Пластикат является продуктом хлорвиниловой смолы. В отличие от винилпласта пластикат обладает большей пластичностью и лучшими механическими свойствами. Пластикат очень плотно прилегает к поверхности ванны. Это свойство позволяет проводить нагрев ванны через пароводяную ру-

башку с изоляционными тепловыми потерями. В настоящее время большинство ванн, серийно выпускаемых Тамбовским заводом гальванического оборудования, футеруется пластикатом. Термостойкость пластика несколько выше, чем у винилпласта.

Полипропилен — наиболее перспективный материал, обладающий высокой химической стойкостью, износостойкостью и термостойкостью. Он широко применяется для изготовления гальванических барабанов. Технические и технологические характеристики полипропилена описаны на с. 135.

Резина применяется в качестве футеровочного материала в соответствии с ТУ 38105 1082—76. Резиновая футеровка обладает высокой химической стойкостью в растворах  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (до 60%),  $\text{HCl}$  (до 10%) и практически любой концентрации  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Химическая стойкость резины в указанных растворах до температуры  $100^\circ\text{C}$  весьма высока.

Подготовка под гуммирование поверхности ванны предусматривает следующие операции: обезжиривание поверхности ванны в соответствии с ГОСТ 443—76; обработку поверхности чугунной кислотой дробью по ГОСТ 11964—81Е или шлифзерном по ГОСТ 3647—80.

Допускается очистка металлическими щетками.

На подготовленную к гуммированию поверхность наносят термостойкий клей с концентрацией 1:10—1:15, после чего в течение 15—30 мин производится сушка. Затем наносится второй слой клея с концентрацией 1:6—1:9 с последующей сушкой в течение 30—60 мин. По термостойкому клею после сушки наносят один или два слоя клея 4508 (ТУ 38105 480—72) с концентрацией 1:10—1:20. Далее предварительно раскрошенную резину смачивают бензином и накладывают на подготовленную поверхность ванны.

Вулканизацию производят открытым способом с помощью пара, горячей воды или раствора хлористого кальция. В ванне устанавливаются паровые змеевики на расстоянии не менее 300 мм от стенок.

Дефекты гуммированного слоя в процессе эксплуатации легко устраняются путем последовательного подклеивания

термостроеным клесм и клесм по ТУ 38105 480—72.

Для травяных растворов и кислотных электролитов, не содержащих плавиковой кислоты, в качестве футеровочных материалов применяют диабазовые метлахские плитки (ГОСТ 6787—80), керамические плитки (ГОСТ 961—79), кислотоупорный кирпич и другие материалы.

Для крепления плиток к корпусу ванны применяют кислотоупорный цемент.

При футеровке ванн работающих без подогрева, рекомендуется применять метлахские плитки с гидроизолирующей из полиизобутилена или битумбуеронда; для ванн с подогревом — утолщенную кислотоупорную керамику, кирпич и т. п.

Перечисленные футеровочные материалы выпускаются отечественной промышленностью.

Универсальным материалом для изготовления гальванических ванн является титан, обладающий высокой химической стойкостью во многих агрессивных средах. Срок службы титановых ванн в 5—7 раз больше, чем стальных. Высокая коррозионная стойкость и физико-механические характеристики титана позволяют уменьшить толщину стенок ванны более чем в 2 раза. Поэтому стоимость титановых и стальных футерованных ванн практически одинаковая.

## КОЛОКОЛЬНЫЕ И БАРАБАНЫЕ ВАННЫ

Нанесение гальванических покрытий на мелкие детали производится в ваннах барабанного и колокольного типа. Эти ванны представляют собой устройства, как правило, имеющие форму многогранной призмы. Каждая грань призмы имеет перфорацию. Детали в эти ванны загружаются насыпью, и все устройство погружается в ванну с электролитом. Специальный привод обеспечивает вращение барабана или колокола. Детали, занимающие часть объема, находятся в непрерывном движении вместе с барабаном. Осажденные покрытия происходят в основном на детали, которые в данный момент расположены по периметру барабана или колокола, а так как идет постоянное перемешивание деталей, то посте-

пенно они покрываются осаждаемым металлом.

Колокольные ванны подразделяют на два вида: стационарный колокол наливного типа; стационарная колокольная ванна погружного типа.

Стационарный колокол представляет собой коническую смость, изготовленную из различных неметаллических материалов, или металлическую, футерованную внутри емкость (рис. 19).

Колокольные ванны удобны при нанесении покрытий на небольшие партии мелких деталей. В дне колокола устанавливаются специальные устройства, являющиеся катодными контактами. Анод вводится в электролит через верхнюю открытую часть колокола.

Колокол устанавливается на специальной станине, имеющей привод для его вращения и поворотное устройство.

Преимущества колокола наливного типа — надежность конструкции и компактность установки, интенсификация производственных площадей, отсутствие подвода специальных коммуникаций (что позволяет легко перемещать установку в нужное место). Главные недостатки таких установок — малая емкость, невозможность обновления электролита, небольшая одновременно покрываемая поверхность деталей (покрываются детали, находящиеся в данный момент на поверхности, параллельной зеркалу электролита), ограниченность анодной поверхности.

Эти недостатки обуславливают низкую объемную и катодную плотность тока, а соответственно и низкую производительность процесса.

Технологические недостатки стационарного колокола в значительной мере устранены в конструкции стационарной колокольной ванны погружного типа (рис. 20). Этот тип колокола всегда изготавливается из неметаллического материала. Грани колокола имеют перфорацию, что значительно увеличивает одновременно покрываемую поверхность деталей. Колокол при работе погружается в емкость, где содержится электролит, аноды, устройства для нагрева или охлаждения. Вспомогательная емкость снабжена системой вытяжной вентиляции.

Сочетание колокола с дополнительной емкостью позволяет использовать

необходимую площадь анодов, тем самым обеспечивая стабильность состава электролита, активное состояние анодной поверхности, возможность пропускания большого тока, следовательно, и поддержания высокой катодной плотности тока.

Катодный токоподвод осуществляется путем введения в колокол гибкой металлической шины с утолщениями в месте контакта с деталями. Большая часть шины по длине изолируется для уменьшения потери осаждаемого металла.

Детали в колокол загружаются в зависимости от его конструкции: через верхнюю открытую горловину или специально предусмотренное устройство в боковой грани.

В промышленности применяются колокола погружного типа емкостью от 0,05 л для золочения, серебрения и других процессов в приборном производстве до 25—30 л, что соответствует массе загруженных деталей от нескольких десятков граммов до 30—50 кг.

Тамбовским заводом гальванического оборудования освоен серийный выпуск колокольной ванны модели ВК-40 (рис. 21). Она предназначена для нанесения практически всех покрытий на мелкие детали, загружаемые насыпью, кроме хрома, драгоценных металлов и отдельных специальных покрытий.

Установка содержит емкость для электролита, погружной поворотный колокол, лотки для загрузки-выгрузки деталей, нагревательно-охлаждающие элементы или их совокупность.

Ванна футерована пластиком, оборудована анодными штангами. Температура электролита не выше 50 °С. В комплект входит выпрямитель ВАКР-320-18.

Основные данные установки ВК-40 следующие:

объем колокола, л . . . . .	40
наибольшая загрузка колокола:	
по объему, л . . . . .	12
по массе, кг . . . . .	25
диаметр перфорации, мм . . . . .	3
объем ванны, л . . . . .	370
габаритные размеры ванны, мм . . . . .	1865 × 912 × 1200
масса (без учета массы растворов в выпрямителе), кг . . . . .	260
частота вращения, об/мин . . . . .	8—10



Рис. 19. Стационарный колокол: 1 — станция; 2 — колокол; 3 — поворотное устройство; 4 — подвод анода



Рис. 20. Колокольная ванна: 1 — корпус ванны; 2 — погружной колокол; 3 — лоток для загрузки и выгрузки деталей; 4 — анодная штанга; 5 — электродвигатель



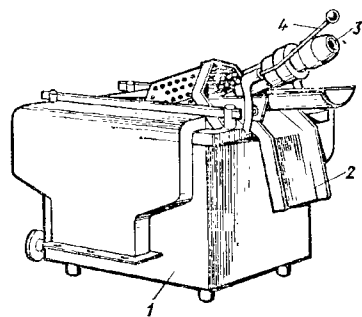


Рис. 21. Колокольчатая ванна типа ВК-40; 1 — корпус ванны; 2 — лоток; 3 — электродвигатель для вращения колокола; 4 — ручка для подъема и опускания колокола

Технические характеристики выпускаемых колокольчатых ванн представлены в табл. 6.

Колокола погружного типа широко используются в автоматизированных гальванических линиях с жестким циклом.

Барабанные ванны (барабаны) представляют собой 6—8-гранную сварную или сборную призму, изготовленную из неметаллических, кислотоустойчивых материалов; они предназначены для нанесения гальванических покрытий на мелкие партии деталей. Загрузка и выгрузка деталей осуществляется через боковую грань барабана.

Все боковые грани барабана перфорированы. В торцовой стенке барабана

имеется зубчатое колесо, изготовленное, как правило, из того же материала, что и барабан, или другого неметаллического материала. Гибкие катоды вводятся через осевые отверстия торцовых стенок барабана. Барабан закрепляется на специальной раме или непосредственно на токосъемных подвесных контактах. Вся система завешивается на катодную штангу гальванической ванны таким образом, чтобы зубчатое колесо барабана соприкасалось с зубчатым колесом при вводе вращения. Вращение барабана осуществляется от двигателя постоянного тока, питаемого от источника тока гальванической ванны.

В табл. 7 приведены технические характеристики ванн с барабанами.

В гальванических цехах при мелкосерийном производстве широко используются переносные барабанные ванны. В такой конструкции на одной раме смонтированы барабан, двигатель с редуктором, обеспечивающий вращение барабана, и токосъемные подвесные контакты. Эти установки удобны в эксплуатации и экономят производственные площади. Техническая характеристика переносного барабана типа БП приведена ниже:

объем барабана, л	2,8
загрузка барабана:	
по объему, л	1,0
по массе, кг	2,8
частота вращения, об/мин	9,6
внутренние размеры барабана, мм:	
длина	250
диаметр	195

В барабане, представленном на рис. 22, можно совмещать операции промывки, сушки и нанесения гальванического покрытия. Барабан своденно

### 7. Технические характеристики ванн с барабанами

Тип барабана	Габаритные размеры ванны, мм	Объем электролита, л	Размеры барабана (диаметр Х длина), мм	Максимальная грузоподъемность, кг	Частота вращения барабана, об/мин	Мощность электродвигателя, кВт	Сила тока, А	Напряжение, В
Погружаемые в электролит на 1/2 диаметра:	шестигранные	550	230Х450	1	10—15	0,17	30—40	8—10
	круглые	550	300Х450	2	10—15	0,15	50—75	10—12
Шестигранные полуголые погружные:	двухкамерные	97С	270Х730	30	8—15	0,15	80—200	8—12
	трехкамерные	1300	360Х1000	60	8—10	0,25	100—250	8—12
С подъемным механизмом и ванной для промывки	900	400	500Х600	40	8—10	0,5	100—150	10—12

насажен на перфорированную полую ось, через которую попеременно в него подается вода, электролит, воздух. Барабан 7 выполнен в виде шестигранника с открывающейся гранью, через которую загружаются и выгружаются детали.

Барабан, загруженный деталями, опорной втулкой 2 и воздухоприемной втулкой 3 опирается на призмы 4 и 5. Вращение звездочки 6 через валик 7 и зубчатые колеса 8 и 9 передается барабану. Воздухоприемная втулка 3 отверстием в нижней части плотно прилегает к штуцеру 10, к которому через электрокалорифер 11 подается скатый воздух. По воздухопроводу 12 и цапфе 13 нагретый скатый воздух поступает в трубу 14 е отверстиями, через которые он попадает во внутрен-

нюю полость барабана и интенсивно обдувает детали.

Обдувка горячим скатым воздухом и вращение барабана способствуют эффективной сушке деталей.

Для нанесения гальванопокрытия одна из опорных призм (со стороны воздухоприемной втулки 3) соединяется с источником питания. Ток через втулку 3, цапфу 13 и трубу 14 передается к контактным дискам и далее через них к деталям.

Воздухоподводящая система барабана (10, 3, 13 и 14) служит для перемешивания раствора внутри барабана холодным скатым воздухом.

Существуют конструкции барабанов е автоматической выгрузкой деталей, а также снабженные механизированными устройствами для загрузки и

### 6. Технические характеристики колокольчатых ванн

Тип ванны	Мощность электродвигателя, кВт	Диаметр колокола, мм		Глубина колокола, мм	Объем, л			Сила тока, ампер, обходящая на одну загрузку деталей, А	Напряжение, В	Частота вращения колокола, об/мин
		нижний	верхний		колокола	электролита на одну загрузку деталей	одной загрузки деталей			
Переносная	0,1	190	160	190	5	3	0,75—1	3—10	6—8	5—15
	0,15	250	175	260	10	5	1—1,5	5—16		
	0,15	300	200	300	15	8	1,5—2	10—20		
Стационарная	0,25	450	300	450	50	10	35—40	20—30	10—12	5—10
	0,35	500	350	500	70	15	35—40	25—40		
	0,5	600	400	600	120	60—70	15—18	50—75		

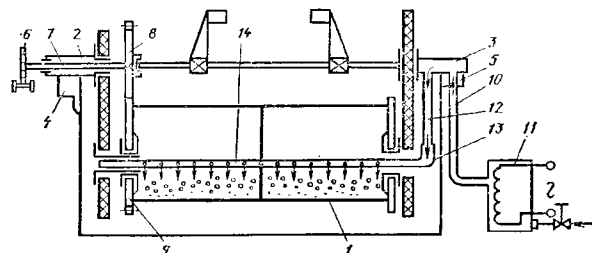


Рис. 22. Схема барабана, позволяющего совмещать операции промывки, сушки и нанесения гальванопокрытия

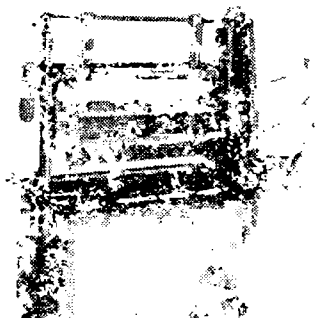


Рис. 23. Ванна с автоматическим подъемом барабана:  
1 — корпус ванны; 2 — редуктор; 3 — барабан

выпуска барабана в гальваническую ванну (рис. 23, 24).

Важен подбор материала, из которого должен изготавливаться барабан. Для этого используется винипласт, оргстекло, полипропилен. Учтивая, что при работе барабан испытывает существенные механические нагрузки, а также находится в средах различной активности и чувствительности к материалу загрязнениям, к материалу предъявляются следующие требова-

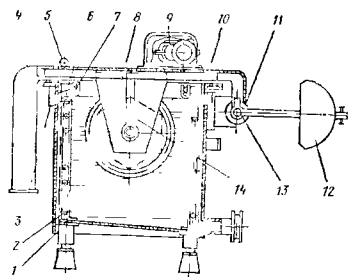


Рис. 24. Ванна барабанная:  
1 — корпус ванны; 2 — шеевка; 3 — пульт управления; 4 — бортовой редуктор; 5 — корпус; 6 — кронштейн; 7 — анод; 8 — барабан; 9 — привод; 10 — крышка; 11 — ось; 12 — противовес; 13 — валки; 14 — катод

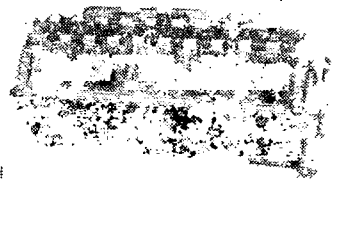


Рис. 25. Барабан сборной конструкции НИИ тракторсельхозмаша:  
1 — зубчатое колесо; 2 — модульный элемент; 3 — замок

ния: к его химической стойкости в электролитах, где барабан эксплуатируется; к прочности и износоустойчивости; к поведенью при контакте материала барабана с электролитом (материал не должен влиять на свойства раствора и получаемых покрытий). Выбранный материал должен иметь максимальную термостойкость.

Оптимальные показатели для производства барабанов из полипропилена. В НИИ тракторсельхозмаша разработана новая сборная конструкция барабана из полипропилена с механическим креплением отдельных его элементов — модулей (рис. 25).

Барабан собирается из отдельных модульных элементов в шестигранную призму, снабженную с торцов зубчатыми колесами для приведения барабана во вращение. Зубчатые колеса барабана являются одновременно его торцовыми стенками, которые при помощи специальных стяжек скрепляются с пластинами, образующими боковые стенки. Крышка барабана имеет замок, запирающийся поворотом одно из стяжек барабана с помощью рычага, входящего в пазами и выступами пластины барабана изготовленной с квадратными отверстиями для прохождения электролита и тока, а также шипами на внутренней поверхности, способствующими более интенсивному стеканию электролита. Шипы одновременно уплотняют условия гальванохимической обработки деталей.

Все элементы барабана изготавливаются методом литья под давлением.

В. Влияние материала образцов на электрические свойства растворов

Раствор	Удельное сопротивление, Ом·м	Удельная электропроводимость, См/м
Кромирование рабочий	1,3	0,00392
	1,31	0,00359
Электрополировка рабочий	2,82	0,00181
	2,85	0,00179
Цинкование рабочий	1,52	0,00336
	1,78	0,00287

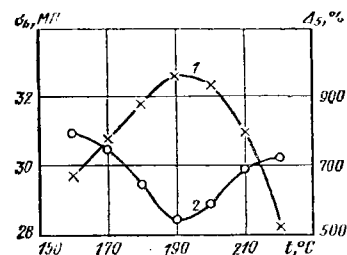


Рис. 26. Зависимость предела прочности при растяжении ( $\sigma_b$ ) и относительного удлинения ( $\Delta_s$ ) полипропилена при разрыве от температуры расплава:

1 — предел прочности при растяжении; 2 — относительное удлинение при разрыве

Это позволяет создать централизованное индустриальное производство барабанов из унифицированных элементов.

Для обеспечения оптимальной прочности конструкции барабана проведены исследования влияния технологических параметров процесса изготовления деталей на прочностные характеристики материала барабана. Кроме того, исследована химическая стойкость полипропилена в различных электролитах для нанесения гальванопокрытий при технологической температуре процесса. Установлено, что во всех исследуемых электролитах в первые две недели происходит некоторое снижение химической стойкости полипропилена, а затем она увеличивается, и через 35 суток стойкость соответствует уровню стойкости до эксплуатации. Такое изменение химической стойкости полипропилена в растворах электролитов связано со структурными превращениями этого материала. Непрерывное понижение химической стойкости полипропилена с последующим лавинообразным разрушением имеет место только в электро-

литовых ваннах в них в течение 18 месяцев образцов из полипропилена и контрольных электролитов. Контрольные электролиты выдерживались такое же время, что и рабочие, но без образцов полипропилена.

Данные табл. 8 показывают, что длительное экспонирование образцов из полипропилена в агрессивных растворах практически не изменяет их электрических свойств.

Детали барабана в процессе эксплуатации подвергаются в основном растягивающим нагрузкам, поэтому характеристикой прочности элементов барабана могут служить предел прочности при растяжении ( $\sigma_b$ ) и относительное удлинение при разрыве ( $\Delta_s$ ). Изменение этих величин от температуры расплава полипропилена при литье элементов барабана показано на рис. 26.

Взаимосвязь между сроком эксплуатации детали и его прочностными характеристиками приведена ниже:

предел прочности при растяжении, МПа	23,8	30,6	30,9	31,7	32,3	32,6	Св. 7800
время до раскрытия замка пластмассы, ч							

лите для электрополирования при температуре 80 °С. В этом растворе аналогично ведет себя и винипласт.

Высокая химическая стойкость полипропилена в электролитах для нанесения типовых покрытий дополняется и тем, что он не оказывает влияния на электропроводимость растворов.

В табл. 8 приведены результаты измерения электрических параметров рабочих электролитов после экспониро-

ванна. Сборная конструкция из полипропилена более чем в 25 раз увеличивает срок службы барабана для гальванохимической обработки мелких деталей по сравнению с существующими сварными конструкциями из винипласта, упрощает ремонт барабана, снижает себестоимость его изготовления, повышается производительность.

Ремонт барабана сводится к замене изношенных деталей. Технические ха-

характеристики барабана приведены ниже:

масса барабана, кг	6
масса загружаемых деталей, кг	25
температура, °С	до 90
габаритные размеры, мм	240×600
срок службы	более 5 лет

Подобный барабан серийно выпускается Тамбовским заводом гальванического оборудования.

**РАСЧЕТ КОЛОКОЛОВ И БАРАБАНОВ**

Расчет колоколов и барабанов сводится к определению объема или массы загружаемых деталей, поверхности загружаемых деталей и их габаритных размеров. Поэтому в том случае, когда уже заданы определенные размеры барабана или колокола, т. е. его вместимость и габаритные размеры определены конструкцией, то расчет объема или массы деталей для одновременной загрузки определяют, исходя из конструктивных размеров оборудования.

В том случае, когда речь идет о проектировании нового оборудования, расчет барабанов и колоколов сводится к определению одновременной загрузки (по объему или массе), годового производственной программы, цеховых площадей и габаритных размеров остального оборудования, к выбору вида и условий обработки (стационарная ванна, механизированная или автоматизированная линия). При этом необходимо учитывать габаритные размеры ванны, определенные каталогами заводов-изготовителей.

Расчет колоколов. Колокол представляет собой усеченный конус, внутренний объем которого

$$V_{\text{кол}} = (R + r^2 + Rr) \frac{\pi h}{3},$$

где  $V_{\text{кол}}$  — объем колокола, м<sup>3</sup>;  $R$  — радиус нижнего основания колокола, м;  $r$  — радиус верхнего отверстия колокола, м;  $h$  — высота колокола, м.

При проектировании обычно принимают, что  $r = (0,7 \div 0,8) R$ ,  $h = 2R$ ; тогда объем колокола

$$V_{\text{кол}} = 4,6R^3.$$

Объем колокола в зависимости от его геометрических размеров и угла

наклона принимают равным 1,5—2,0 объема электролита вместе с деталями ( $V_{\text{эл}}$ ):

$$V_{\text{кол}} = (1,5 \div 2) V_{\text{эл}}$$

Объем электролита вместе с объемом, занимаемым деталями, принимают равным 3—6 насыпных объемов, занимаемых деталями ( $V_{\text{нас}}$ ):

$$V_{\text{эл}} = (3 \div 6) V_{\text{нас}}$$

Насыпной объем деталей составляет от 3—10 объемов загружаемых деталей без учета расстояния между ними:

$$V_{\text{нас}} = (3 \div 10) V_{\text{дет}}$$

Насыпной объем деталей составляет 10—20 % всего объема колокола. Наружные диаметры колокола и объем определяют внутренними размерами и толщиной стенок самого колокола, которые составляют 10—30 мм.

Расчет барабанов. Одновременная загрузка деталей в барабан определяется с учетом насыпного объема загружаемых деталей и составляет 25—35 % объема барабана при электрохимическом осаждении металла и 50—70 % объема барабана при химическом осаждении металла.

Объем шестигранного барабана

$$V = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 l = 2,6R^2 l,$$

где  $V$  — объем барабана, л;  $R$  — радиус описанной окружности, дм;  $l$  — длина барабана, дм.

Длина барабана  $l = (1,5 \div 3) d_{\text{вн}}$  ( $d_{\text{вн}}$  — диаметр вписанной окружности).

Можно сказать, что насыпная масса 1 дм<sup>3</sup> деталей весит 0,8—2,6 кг. Площадь поверхности 1 кг деталей в барабане составляет 5—20 дм<sup>2</sup>. При расчетах обычно принимают, что средняя площадь поверхности 1 кг деталей составляет 10 дм<sup>2</sup>. Таким образом, площадь поверхности деталей одной загрузки при заданной массе

$$S = m S_{\text{д}}$$

где  $S_{\text{д}}$  — площадь поверхности 1 кг деталей в барабане, дм<sup>2</sup>,  $m$  — масса деталей.

Расчет габаритных размеров ванны под барабаны. Внутренние размеры

**9. Механизированные ванны**

Тип ванны	Модель	Загрузка по массе, кг	Объем колокола под барабаном, л	Рабочий объем ванны, л	Частота вращения колокола или барабана, об/мин	Частота колебаний штанги в минуту	Габаритные размеры ванны (длина × ширина × высота), мм	Масса ванны (без раствора), т
Колокольная с качающимися штангами с переносными барабанами Барабанная	БК-40	20	40	370	6—10	—	1865 × 905 × 1200	0,260
	1703	30	—	1200	—	50	1900 × 1100 × 1100	0,290
	—	3	3	350	6—10	—	1200 × 800 × 700	0,300
		30		1000	6—12	—	1500 × 1200 × 2300	0,380

\* Главный параметр — загрузка деталей по массе.

ванны, в которой обрабатываются детали в барабане, определяют размерами барабана, конструкцией механизма вращения, системой крепления его на ванне. Внутренняя длина ванны для барабана

$$Z_{\text{вн}} = l_{\text{бар}} + 2l_1,$$

где  $l_1$  — расстояние между торцовыми стенками ванны и барабана, которое зависит от конструкции барабана и составляет 100—200 мм;  $l_{\text{бар}}$  — длина барабана.

Внутренняя ширина ванны при загрузке одного барабана

$$W_{\text{вн}} = D_{\text{нар}} + 2W_1 + 2W_2 + 2D,$$

где  $W_1$  — расстояние между анодом и барабаном, принимается равным 100—200 мм;  $W_2$  — расстояние между анодом и ближайшей стенкой ванны, принимается равным 50—100 мм;  $D_{\text{нар}}$  — диаметр описанной окружности барабана, определяется расчетным путем;  $D$  — толщина анода составляет 5—20 мм.

Внутренняя высота ванны

$$H_{\text{вн}} = h_3 + h_6 = h_1 + h_2 + h_6 + D_{\text{нар}}$$

где  $h_3$  — расстояние от дна ванны до зеркала электролита;  $h_6$  — расстояние от зеркала электролита до верхнего края бортов ванны, принимается равным 150—300 мм;  $h_1$  — расстояние от дна ванны до нижнего края барабана (по описанной окружности), составляет 150—300 мм;  $h_2$  — расстоя-

ние от зеркала ванны до верхней части (по описанной окружности) барабана, составляет 100—200 мм;  $D_{\text{нар}}$  — диаметр описанной окружности барабана.

Основные параметры механизированных ванн, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 9.

**ВЕНТИЛЯЦИЯ**

Гальванические цеха относятся к категории наиболее вредных производств вследствие запыленности воздуха в подготовительных отделениях механической обработки поверхности поступающих деталей, а также большого количества вредных веществ, опасных для организма человека, выделяющихся при химической и электрохимической обработках. Кроме того большую опасность представляют участки корректировки и раздачи электролитов, а также складские помещения для хранения химикатов.

Для создания нормальных условий труда цеха металлопокрытий обеспечиваются системой приточно-вытяжной вентиляции.

Учитывая специфику труда на отдельных участках гальванического цеха и характер работы, вентиляция может быть местной, общеобменной или смешанной (общеобменной и местной).

Местная вытяжная вентиляция на гальванических ваннах осуществляется при помощи бортовых и панельных отсосов и других устройств,

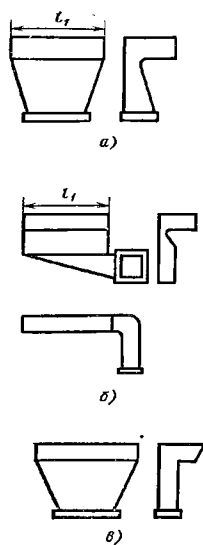


Рис. 27. Бортовые отсосы:

а — простой с выходом вниз; б — простой с выходом в сторону; в — опрокинутый отсос

обеспечивающих отвод вредных веществ с зеркала ванны.

Наиболее распространены щелевые бортовые отсосы, которые устанавливаются непосредственно на бортах гальванической ванны над электролитом. Типы бортовых отсосов, их размеры, конструкция вентиляци-

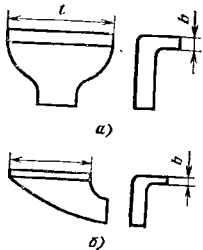


Рис. 28. Бортовые отсосы по нормам ОНЗ—66:

а — простой с выходом вниз; б — простой с выходом в сторону

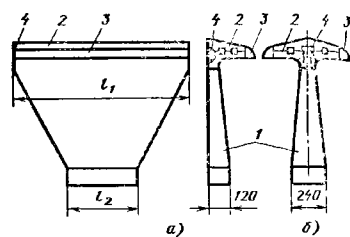


Рис. 29. Секция бортового отсоса:

а — одностороннего; б — двустороннего

онных кожухов установлены соответствующими отраслевыми нормами.

ЦКБОГ при Тамбовском заводе гальванического оборудования разработало типаж гальванических автоматов с использованием унифицированных, стандартизованных и нормализованных узлов, в числе которых и бортовые отсосы. Этой организацией разработаны нормы гальванических ванн ОНЗ—66, в которых приведены основные типы — размеры вентиляционных кожухов.

На рис. 27 приведены бортовые отсосы к ваннам. Это кожухи с трехплечевыми секциями, которые устанавливаются вдоль бортов ванны с одной или с двух сторон. Бортовые отсосы этого типа имеют высоту вертикальной щели 100 мм, а размер суженного сечения 40 мм, что обеспечивает равномерное отсасывание по всей длине щели.

При ширине ванны до 1000 мм бортовые отсосы снабжены только вертикальной щелью высотой до 40 мм (отраслевая норма ОНЗ—66) (рис. 28).

Бортовые отсосы устанавливаются по длинным сторонам ванны. При длине ванны до 1000 мм устанавливаются сплошные бортовые отсосы, на более длинные ванны ставят отсосы, выполненные из отдельных секций с самостоятельными отводами в общий выводной канал.

В зависимости от компоновки ванны в длину предусмотрено два вида исполнения секций бортовых отсосов: односторонние и двусторонние (рис. 29). Секция состоит из корпуса 1, сьем-

ной крышки 2, козырька 3 и клапана 4. Размеры секций бортовых отсосов приведены ниже (см. рис. 27, 29):

длина щели бортового отсоса  $l_1$ , мм 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200  
длина присоединительного патрубка  $l_2$ , мм 240 240 240 320 320 400 400 500 500

Бортовые отсосы по конструкции делают на простые и опрокинутые. В простых отсосах щелевое окно располагается перпендикулярно плоскости зеркала электролита, а в опрокинутых — параллельно зеркалу электролита.

Простые отсосы применяют в ваннах, где расстояние от верхнего ее края до зеркала электролита не превышает 150 мм. При большем расстоянии применяются опрокинутые бортовые отсосы; они более эффективны и при меньшем расстоянии, если электролит обладает высокой токсичностью.

Эффективность бортовых отсосов зависит от многих факторов (конструкции бортового отсоса, объема отсасываемого воздуха и других технико-экономических параметров). Характеристикой эффективности работы бортового отсоса является объем отсасываемого воздуха, который должен быть минимальным.

При ширине ванны более 1,2 м следует применять местную вентиляцию с передумом по системе поддув-отсос. В этих системах создаются при помощи воздушодувов поддувочные струи с одной стороны ванны, которые улавливаются с другой стороны бортовым отсосом, что значительно повышает эффективность всей вентиляционной системы. Схема системы бортовой вентиляции с поддувом приведена на рис. 30.

Объем удаляемого через бортовые отсосы (в м<sup>3</sup>/ч) воздуха, характеризующий их эффективность, определяется по следующим формулам: для отсосов простых или опрокинутых без поддува

$$V = 1400 \left( 0,53 \frac{B'l}{B'l + h} \right)^{1/3} \times \\ \times B'IC_1C_{tox}C_3C_2C_3C_4;$$

для отсосов, опрокинутых с поддувом,

$$V = 1200B'^{2/3}IC_1C_1.$$

Объем воздуха для поддува (в м<sup>3</sup>/ч)

$$V = 60B'IC_1,$$

	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
длина щели бортового отсоса $l_1$ , мм	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
длина присоединительного патрубка $l_2$ , мм	240	240	240	320	320	400	400	500	500

где  $B'$  — расчетная ширина ванны, м;  $l$  — длина ванны, м;  $h$  — расстояние от зеркала раствора до оси всасывающего отверстия, м;  $C_1$  — коэффициент, учитывающий разность температур раствора и воздуха в помещении, принимаемой по табл. 10;  $C_{tox}$  — коэффициент учета токсичности (для отсоса с поддувом  $C_{tox} = 1$ ); значения представлены в табл. 11;  $C_3$  — коэффициент учета конструкции отсоса, равный: 1 — для двубортного без поддува и одностороннего с поддувом, 1,8 — для одностороннего без поддува, 0,5 — для двубортного с поддувом;  $C_2$  — коэффициент, равный 1,2 при воздушном перемешивании;  $C_3$  — коэффициент, равный 0,75 при укрывании зеркала ванны плавающими телами (шарики, лизны);  $C_4$  — коэффициент, равный 0,5 при укрывании зеркала ванны слоем пены.

Бортовые отсосы изготовляют из различных материалов в зависимости от агрессивности растворов. Для неагрессивных растворов (щелочные, фосфорные) применяют листовую углеродистую сталь. Для ванн с растворами кислот и агрессивных солей используют винипласт, полипропилен и другие неметаллические материалы органического происхождения.

10. Коэффициент  $C_2$ , учитывающий разность температур раствора и воздуха в помещении

Разность температур раствора и воздуха, °С	$C_2$ для отсосов	
	без поддува	с поддувом
0	1,0	1,0
10	1,16	1,03
20	1,31	1,06
30	1,47	1,09
40	1,63	1,12
50	1,79	1,15
60	1,94	1,18
70	2,10	1,21
80	2,26	1,24

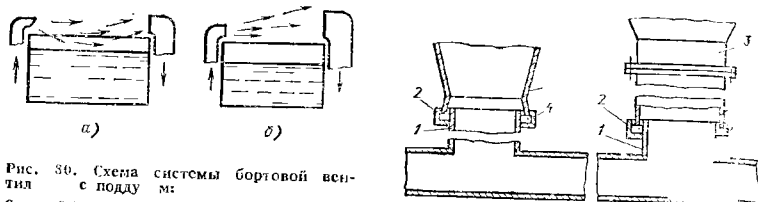


Рис. 30. Схема системы бортовой вентиляции с поддувом:

а — ружья воздуха захватывает вещества с поверхности электролита; б — струя в здуха расположена выше загружаемых деталей и препятствует уносу электролита

Бортовые отсосы соединяются системой воздухоудва. Способы соединения отсосов с воздухоудвом показаны на рис. 31.

Рис. 31. Соединение сечений отсосов воздухоудвом:

1 — патрубок вытяжного воздухоудва; 2 — рама уплотнения; 3 — патрубок сса; 4 — уплотнение; 5 — промежуточный патрубок

Для системы вытяжных воздухоудвов рекомендуется использовать панельные помещения. Под полом про-

11. Коэффициент токсичности  $C_{tox}$  и рекомендуемые типы отсосов

Процесс	Температура, °C	Вредные выделения	Тип отсоса	C
Анодирование в $H_2SO_4$	15—25	Водород, туман раствора	Бортовой опрокинутый	0,3
Анодирование в $H_2Cr_2O_7$	45	Водород, окислы хрома	То же	0,3
Воронение	135—145	Водород, пары NaOH	»	0,3
Пассивация	18—25	Пары раствора	»	0,3
Кадмирование, цинкование, меднение в цианистом электролите	18—40	Водород, туман раствора	»	0,8
Цинкование и меднение кислотой с воздушным перемешиванием	18—40	То же	»	0,3
Никелирование с воздушным перемешиванием	40	»	»	0,3
Анодное, катодное и химическое обезжиривание в щелочном растворе	60—80	Водород, туман NaOH	»	0,3
Обезжиривание в органическом растворителе	18—25	Пары органического растворителя	Вытяжной шкаф	0
Обработка в растворах хромпика и хромового ангидрида	60—90	Пары хромпика и хромового ангидрида	Бортовой опрокинутый	0,6
Окислование дуралюмина с воздушным перемешиванием	35—35	Водород, дисперсный туман хромового ангидрида	То же	1,0
Осветление дуралюмина	18	Пары $HNO_3$ и $H_2Cr_2O_7$	»	0,9
Горячее окислование магниевых сплавов	70—80	Туман $H_2Cr_2O_7$ и $HNO_3$	»	1,0
Промывка в мыльном растворе анодированных листов	0—9	То же	»	0,6
Пассивирование	18—20	Пары хромпика	»	0,8
Травление медных и латунных сталей	18—25	Окислы азота и серы	Бортовой опрокинутый или вытяжной шкаф	1,0
Химическое травление сталей	25—35	Пары HCl	Бортовой опрокинутый	0,6
Травление в растворе фтористоводородной кислоты	15—26	Пары фтористоводородной кислоты	То же	0,3
Фторирование	95—9	Пары раствора и воды	Бортовой опрокинутый	0,8
Хромирование	40—60	Водород (обильно), дисперсный туман $CrO_3$	То же	1,3
Электрополирование	25—70	Водород, пары $H_2SO_4$ , $H_2PO_4$ , $K_2Cr_2O_7$	»	1,0

кладываются каналы, которые должны иметь уклон в сторону движения воздуха для стекания образующегося конденсата. Конденсат собирается в специальный сборник. Схема типового подпольного канала показана на рис. 32. Вытяжной вентиляционный канал изготавливают из бетона и красного кирпича, штукатурят цементным раствором и перекрывают железобетонными плитами.

Панельные отсосы. Бортовые отсосы оказывают эффективную защиту при работе гальванической ванны, но малоэффективны при выгрузке деталей, так как при поднятии подвески над ванной происходит выделение вредных веществ вне зоны действия бортовых отсосов. В этих случаях применяют панельные отсосы, которые представляют собой вентиляционные устройства, устанавливаемые над ванной (столом) на некотором расстоянии и имеющие большую семенную поверхность захвата. Во всасывающей плоскости устанавливается решетка, которая, уменьшая поверхность захвата на 20—25%, обеспечивает равномерное всасывание по всему сечению. Панельные отсосы могут быть наклонные и вертикальные. Наиболее эффективны наклонные панели. На рис. 33 показана наклонная панель равномерного всасывания. Удельный расход отсасываемого воздуха на 1 м<sup>2</sup> при использовании наклонных панелей составляет 3200 м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>), если панель расположена у стены, и 5000—7000 м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>), если панель удалена от стены. Для вертикальных панелей расход воздуха увеличивается на 25%.

Панельные отсосы устанавливают обычно над травильными и другими ваннами с горячим токсичным раствором на высоте, при которой подвеска с деталями выдерживается над ванной для стекания раствора.

Вентиляцию шлифовально-полировального и гальтовочного участков. Шлифовально-полировальное оборудование укомплектовано системой автономной вентиляции, которая улавливает пыль, корунд и полировальные пауты. Вентиляционные отсосы на указанном оборудовании выполняются в виде кожухов, охватывающих шлифовальные и полировальные круги. Для улавливания крупных ча-

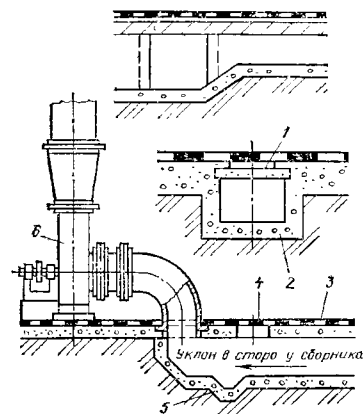


Рис. 32. Типовой подпольный канал: 1 — железобетонная плита; 2 — бетон; 3 — металлические плитки; 4 — люк; 5 — сборник; 6 — вентилятор

стици к кожухам присоединяют пылесборники.

Скорость движения воздуха в воздуховодах вытяжной вентиляции составляет 10—12 м/с.

При ручной накатке кругов на столах устанавливают двусторонние бортовые отсосы по длинным сторонам стола. Высота щели бортового отсоса составляет 50 мм, скорость воздуха в щели 5—6 м/с (при ширине стола 400—500 мм).

В гальтовочных барабанах, работающих по сухому способу, отсос наждач-

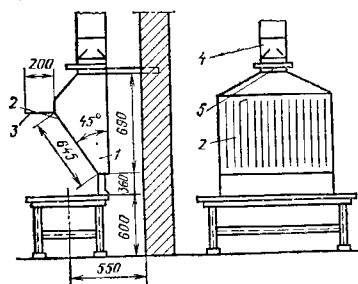


Рис. 33. Наклонная панель равномерного всасывания:

1 — присоски; 2 — всасывающая решетка; 3 — козырек; 4 — воздуховод; 5 — шибер

ной и металлической пыли производят через полую ось барабана. Объем отсасываемого воздуха (в м<sup>3</sup>/ч)  $V = 13\,000 d^2$  ( $d$  — диаметр барабана, м). Коэффициент пылин в отсасываемом воздухе 500—1500 мг/м<sup>3</sup>.

Улавливание пыли при сухом полировании на металлических щетках производят местными отсосами. Объем отсасываемого воздуха составляет 2 м<sup>3</sup>/ч на 1 мм диаметра щетки, но не менее 500 м<sup>3</sup>/ч на щетку. Концентрация пыли в отсасываемом воздухе 150—200 мг/м<sup>3</sup>.

Вентиляция вспомогательных участков. Вспомогательными в гальваническом цехе являются участки приготовления растворов, хранения и раздачи химикатов, очистки сточных вод. Участки приготовления растворов и хранения химикатов обеспечиваются вытяжными шкафами с объемом воздуха, отсасываемого через местный отсос, 0,7—1 м<sup>3</sup>. Кроме того, должна быть предусмотрена общецеховая вентиляция. При этом кратность воздухообмена в помещении составляет не менее 3.

В помещениях для очистки сточных вод вытяжная вентиляция выполняется в виде местных отсосов, а также общецеховая с забором воздуха из верхних и нижних зон. Местная вытяжная вентиляция устанавливается у смывных и загрузочных отверстий. Скорость движения воздуха определяется токсичностью содержащихся в нем паров и находится в пределах от 0,3 (для паров воды) до 3 м/с (для соединений циана). При этом от каждой емкости должно отсасываться не менее 300 м<sup>3</sup>/ч.

Объемы на вентиляция обеспечивается компенсацию оттока воздуха, входящего в вытяжную вентиляцию, и приток свежего воздуха. В гальваническом цехе объем приточного воздуха должен быть на 5 % меньше объема вытяжного воздуха. В помещениях с открытыми ваннами, снабженными борными отсосами, рекомендуется постоянная подача приточного воздуха в верхнюю зону. При больших влажностях помещения, например, травильного отделения, 65—70 % приточного воздуха подается в нижнюю зону, а 25—30 % в верхнюю зону. В верхнюю зону подают перегретый

воздух со скоростью 15—18 м/с. Температура перегрева воздуха составляет 50 °С.

Конкретная скорость воздуха в рабочей зоне принимается в соответствии с ГОСТ 12.1.005—76.

Смешанную вентиляцию часто применяют в гальванических цехах. Она состоит из гальванической общецеховой и местной непосредственно на ваннах или установках предварительной подготовки деталей перед покрытием. При работе ванн промывки, на которых отсутствуют бортовые отсосы, значительное количество влаги скапливается в верхней части цеха и конденсируется на строительных конструкциях здания, что приводит к преждевременному выходу их из строя. Кроме того, в крупных цехах над ваннами устанавливаются мостовые краны, обслуживание которых также затруднено. Поэтому общецеховая вентиляция должна обеспечить асимилацию влаги и вредных паров вне зоны бортовых отсосов. Местная вентиляция обеспечивает задержание вредных выделений непосредственно на установках.

Вентиляторы. Промышленностью выпускаются различные типы центробежных вентиляторов. С учетом их назначения вентиляторы выпускают низкого, среднего и высокого давления. В зависимости от условий эксплуатации, т. е. среды и помещения их подразделяют на следующие тип: антикоррозионные, используемые для работы с агрессивными и средними, такие вентиляторы изготавливаются из нержавеющей стали, алюминия, металла или других производств, с перешенными агрессивных газов; их изготовляют из коррозионно-стойкого алюминия и различных пластмасс с взрывобезопасные, применяемые при работе с взрывоопасными средами, при одновременном перемещении различных газов, смесь которых может быть взрывоопасной, а так на взрывоопасных производствах, где недопустимо возникновения искры и других факторов, способных вызвать взрыв воздуха и газа с содержанием пыли и мелкодисперсных частиц с концентрацией более 100 мг/м<sup>3</sup>.

Вентиляторы обычного исполнения применяются для перемещения воздуха или невзрывоопасных газовых

смесей, не вызывающих коррозию углеродистых сталей; они работают при температурах до 80 °С. Вентиляторы могут быть одно- и двустороннего всасывания, а также левого и правого вращения.

Отечественная промышленность выпускает центробежные вентиляторы типа ВРМ низкого давления; марок Ц4-70, Ц9-76, Ц9-57, Ц13-50, Ц6-40, Ц17-40 — среднего давления; типа ВВД — высокого давления. Для отсасывания пыли в пескоструйных и шлифовально-полировальных отделениях применяют пылевые центробежные вентиляторы Ц17-40 и Ц6-46.

В ряде случаев при вытяжке агрессивных газов и паров пользуются специальными вентиляторами, изготовленными из винилпласта (Ц4-68 № 5 и № 8), коррозионностойкой стали (Ц4-70-16К), титанового сплава (Ц4-70-6,3К) или других кислотостойких материалов. Кожух вентилятора покрывают внутри резиной, полиизобутиленом, асбоннилом, винилпластом и т. п. Турбины и кожухи вентиляторов вытяжной вентиляции, установленные в шкафах промывки в органических растворителях, изготовляют из алюминия. В этом случае применяют взрывобезопасные двигатели. Выпускают вентиляторы из алюминиевых сплавов с повышенной прочностью от искробразования. Вытяжку из шлифовально-полировальных отделений следует осуществлять с помощью вентиляторов с алюминиевыми роторами во избежание искрения. Вентиляторы комплектуют электродвигателями трехфазного переменного тока, а также взрывобезопасными двигателями.

Для подачи приточного воздуха применяют двух-, трех- и четырехлопастные

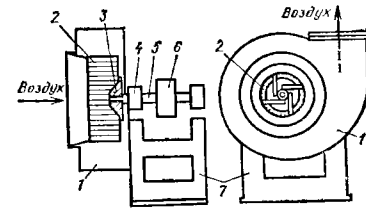


Рис. 34. Устройство центробежного вентилятора

стные вентиляторы. Нагрев воздуха в приточных вентиляционных установках осуществляется калориферами с плотной насадкой пластин (модели ПНМ и ПНБ № 1—6), с облегченными пластинами (модели ОГМ и ОГБ) и калориферами системы КФ, СТД, КМ (ГОСТ 7201—80\*). Калориферы рассчитаны на рабочее давление до 0,58 МПа. Они представляют собой снабженные ребрами или пластинами пучки труб, концы которых введены в коробку с фланцевым патрубком.

Центробежный вентилятор (рис. 34) состоит из кожуха 1, прикрепленного к станине 7, и лопастного рабочего колеса 2, насаженного при помощи втулки 3 на вал 5. Вал установлен в подшипниках 4 и снабжен шкивом 6, вращающимся при помощи ременной передачи от шкива электродвигателя. При вращении колеса воздух, поступающий через входное отверстие, под действием центробежной силы отбрасывается от центра к периферии колеса, собирается спиральным кожухом и нагнетается вентилятором в направлении, указанном стрелкой. Вентиляторы могут быть установлены также на одном валу с электродвигателем.

Внутри в пародное хозяйство автоматизированных систем для нанесения гальванических покрытий призвано увеличить выпуск продукции, повысить ее качество, снизить долю ручного труда в гальванических цехах. Вместо стационарных гальванических ванн все чаще применяют автоматические гальванические линии практически для всех видов гальванических и химических покрытий.

Гальванические автоматические линии — сложные машины, состоящие, как правило, из унифицированных агрегатов и узлов. В зависимости от вида производства, номенклатуры обрабатываемых деталей и серийности они могут иметь принципиально различные конструкции и системы управления.

Классификация автоматических линий для гальванических процессов по способу управления и транспортировки деталей приведена на рис. 1.

### КАРЕТОЧНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ С ЖЕСТКИМ ЕДИНЫМ ЦИКЛОМ

Автоматические гальванические линии (автоматы) жесткого цикла предназначены для работы в цехах с большой производственной программой в условиях массового и серийного производства при наличии стабильной продукции. Эти линии обладают высокой производительностью, надежны в эксплуатации. Их основные недостатки: сложность перехода с одной программы на другую при изменении вида покрытия, его толщины, времени выдержки деталей в ванне, связанного со значительными конструктивными изменениями; значительная длина автоматической линии вследствие установки промыочных ванн после каждой ванны химической или электрохимической обработки, так как транспортирующее устройство не может

совершать возвратно-поступательного движения.

Однако высокая производительность (более 100 м<sup>2</sup>/ч) делает эти линии наиболее экономичными и перспективными.

В зависимости от транспортирующего устройства автоматы с жестким циклом делятся на кареточно-тележечные и кареточно-бестележечные; в зависимости от схемы расположения ванн — на прямолинейные и оваловые; по принципу загрузки деталей — на подвесочные, барабанные или колокольные.

Транспортирующее устройство вместе с деталями совершает прерывистое движение, перемещаясь в заданном темпе от одной позиции к другой. Шаг перемещения строго определен программой и равен расстоянию между двумя соседними позициями. В автоматической линии в соответствии с технологическим процессом устанавливаются одно- и многопозиционные ванны; длина однопозиционной ванны равна шагу перемещения автомата. Для многопозиционных ванн, содержащих две и более позиций, длина определяется как количество позиций, умноженное на шаг перемещения.

Кареточные оваловые автоматические линии представляют собой ряд ванн, установленных по овалу в соответствии с технологической схемой процесса. Между рядами ванн расположены механизмы горизонтального и вертикального перемещения кареток. Каретки служат для перемещения подвесок от одной позиции к другой. Конструктивно каретка представляет собой раму с направляющими роликами, с траверсой и токоподводящей системой. Вертикальное перемещение каретки производится путем подъема и опускания подъемной рамы, а горизонтальное перемещение — толкающими штангами механизма горизонтального перемещения.

Овальная кареточно-тележечная линия состоит из несущей металлоконструкции, выполненной из стоек, секций, опорной рамы, направляющих швеллеров, моста для подъема и опускания кареток в подвесках, механизма горизонтального перемещения, тележки для горизонтального перемещения кареток.

Вертикальное перемещение моста с каретками осуществляется с помощью гидравлического привода. Горизонтальное перемещение тележек с каретками производится от специального механизма, состоящего из системы гидропривода, опоры ведомого вала, системы цепей и реек, зубчатых колес.

Тележка представляет собой раму, которую двигает механизм горизонтального перемещения по направляющим металлоконструкциям. Движение осуществляется при помощи цепей и реек с толкателями. Количество тележек в автоматической линии соответствует количеству позиций всех ванн. Тележка перемещается дискретно, обеспечивая перемещение каретки в подвеске на один шаг.

Каретка с подвеской перемещается от ванны к ванне в соответствии с технологическим циклом. В зависимости от времени той или иной технологической операции в автоматической линии устанавливаются одно- или многопозиционные ванны. Причем количество позиций в многопозиционной ванне может быть от двух до двух-трех десятков и более. Темп движения автоматической линии соответствует минимальному технологическому времени выдержки в однопозиционной ванне.

Однопозиционные ванны в автоматических линиях предназначены, как правило, для подготовительных операций (промывка, травление, активация и т. д.), а также для заключительных операций (пассивирование, уплотнение и др.). Время выдержки деталей в этих ваннах не может превышать темпа выхода подвески с деталями.

В многопозиционных ваннах производятся операции, продолжительность которых (технологическое время) больше темпа выхода подвески с деталями.

Оснащение, устройство и материал ванны определяются видом технологической операции, химическими и электрохимическими особенностями электролита, а также режимами обработки.

Исходя из особенностей технологической операции, конкретная ванна оснащается устройствами для перемешивания и нагрева, анодными или катодными штангами, фильтрующими

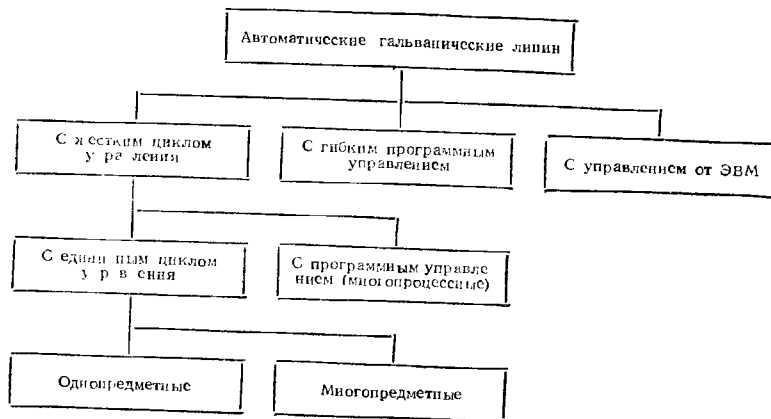


Рис. 1. Классификация автоматических гальванических линий по способу управления и транспортировки деталей

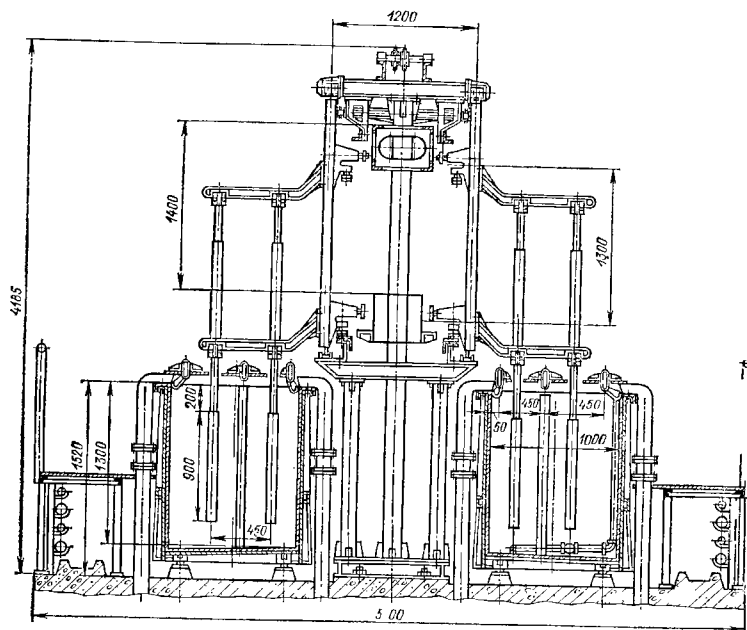


Рис. 2. Типовая овальная кареточная подвесочная автоматическая линия АЛП-57 (поперечный разрез)

устройствами, сливными карманами, а также выбирается определенная футеровка и теплоизоляция.

Для сушки деталей в автоматической линии предусмотрена сушильная камера, в которой происходит циркуляция горячего воздуха, поступающего от калорифера.

Типовая кареточная линия представлена на рис. 2. Кареточные овальные подвесочные линии отечественного производства широко применяют в промышленности для процессов цинкования, кадмирования, защитно-декоративного анодирования, хромирования крупных и средних деталей на подвесках. Производительность отечественных линий 2—100 м<sup>2</sup>/ч. Поверхность загрузки на подвеску 30—125 дм<sup>2</sup>. Темп выхода подвески с деталями составляет 1—2 мин.

Габаритные размеры подвесок, мм: 400×150×600, 400×150×900, 400×150×1100, 600×150×1100; шаг меж-

ду подвесками, мм, переменный: 500—700; 700—900.

Кареточно-бестележные автоматы с подъемным мостом показаны на рис. 3. Они могут быть однопроцессными и многопроцессными; их производительность до 120 м<sup>2</sup>/ч. В автоматах подвеска с деталями не жестко связана с подъемным мостом; причем во время обратного перемещения моста подвеска с деталями остается на боках ванны.

Горизонтальное и вертикальное движение моста осуществляется при помощи бесконечных цепей с толкателями подвесок, которые перемещают сборки с деталями по сигналу с командооператора на один шаг.

Вместо цепей могут применяться штанги с упорами, совершающие возвратно-поступательное движение.

Привод механизмов перемещения может быть электрическим или гидравлическим.

Автоматическая линия с подъемным мостом представляет собой двухрядную машину овальной формы с замкнутой трассой. В нее входят: ванны; сварная металлоконструкция; механизм подъема и перемещения подвесок; гидравлический агрегат; пульт управления работы всех агрегатов.

Перемещение подвесок с деталями из ванны в ванну производится подъемным мостом по принципу перпендикулярных перемещений, т. е. подвески с деталями поднимаются вертикально вверх на соответствующую высоту, перемещаются горизонтально на один шаг и опускаются в следующую ванну.

В многопозиционных ваннах опускание подвески производится на первую позицию ванны по ходу движения автомата, и только в последней позиции ванны осуществляется подъем подвески и перенос в следующую ванну. Перемещение подвески от позиции к позиции в многопозиционных ваннах производится в нижнем положении при помощи толкателей.

Вертикальный подъем моста осуществляется при помощи гидроцилиндров со штоками. Штоки гидро-

цилиндры цепями соединены с мостом. При подаче масла в гидроцилиндр выдвигается шток, и при помощи цепи мост поднимается в верхнее положение.

В автоматах данного типа применяются подвижные и неподвижные катодные штанги. Подвижные штанги закреплены на раме подъемного моста, а неподвижные — непосредственно на ваннах. Когда мост опущен в нижнее положение, катодные штанги, закрепленные на мосту и на ваннах, совмещаются и образуют единую линию. При подъеме моста укрепленные на нем катодные штанги поднимают прикрепленные к ним подвески с деталями в верхнее положение. Далее мост совершает горизонтальное перемещение на один шаг и опускает подвески в другие ванны. Передвижение подвесок с деталями с одной позиции на другую в многопозиционных ваннах происходит при нижнем положении моста.

Управление автоматической линией производится с пульта. Сигналы с пульта поступают на системы управления гидравлических агрегатов вертикального и горизонтального перемещения

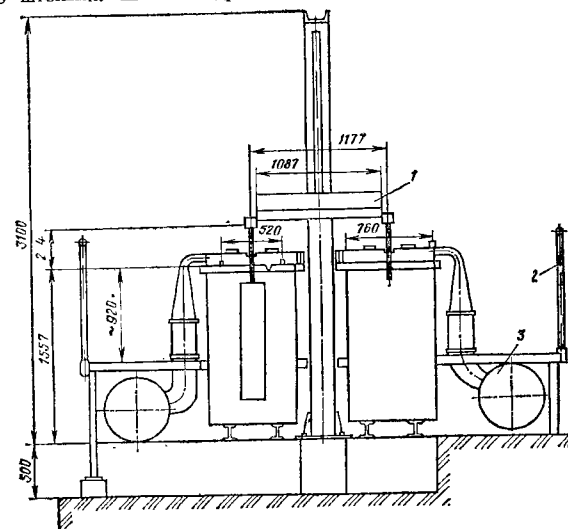


Рис. 3. Автоматическая линия с подъемным мостом: 1 — мост с подвесками; 2 — перила; 3 — воздуховод вытяжной вентиляции



## 1. Линии кареточные автоматические

Назначение линии	Модель	Размеры подвесок * (длина X высота), мм	Пропускная способность, м <sup>2</sup> /ч	Толщина покрытия, мкм	Темп выхода подвесок, мин	Поверхность загружаемых деталей на подвеску, м <sup>2</sup>	Габаритные размеры (длина X ширина X высота), мм	Масса (без раствора), т
Для цинкования (кадмирования) стальных деталей на подвесках	АЦП-5М	400 X 900	30	18	2	1	14 600 X X 6 500 X X 4 300	25,8
	АЛГ-57	600 X 900	75	18	1	1,26	24 600 X X 6 500 X X 4 300	36,9
Для декоративного хромирования деталей из цинкового сплава на подвесках	АЛГ-70	400 X 600	14,5	Ср — 8 Ni — 18 Cr — 1	1,2	0,29	24 200 X X 6 100 X X 3 800	52,2
Для защитно-декоративного хромирования стальных деталей на подвесках	АЛГ-230	400 X 1100	42	Ср — 12 Ni — 12 Cr — 0,5	1	0,7	28 000 X X 6 500 X X 4 700	72,3
Для защитно-декоративного хромирования деталей из цинкового сплава	АЛГ-231	400 X 1100	42	Ср — 12 Ni — 12 Cr — 0,5	1	0,7	28 600 X X 6 500 X X 4 700	68,1
Для защитно-декоративного анодирования деталей из алюминиевых сплавов на подвесках	АЛГ-167	600 X 1100	67,5	—	1,5	1,78	26 300 X X 5 900 X X 4 700	63,4
Для анодирования деталей из алюминиевых сплавов на подвесках	АЛА-6	600 X 1100	43	—	2,5	1,	20 600 X X 6 400 X X 4 800	52,3
Для никелирования стальных деталей на подвесках	АЛГ-139	600 X 1100	45	18	1,5	1,2	18 300 X X 5 900 X X 4 600	41,9
Комплексная для цинкования на подвесках	КГ.7302	600 X X 200 X X 800	40—60	9—15	—	—	24 640 X X 6 190 X X 4 370	51,2
Комплексная для фосфатирования	КГ.7374	600 X X 200 X X 800	100	—	—	—	17 200 X X 6 300 X X 4 370	38,6
Комплексная для кадмирования на подвесках	КГ.7302	600 X X 200 X X 800	10—40	9—5	—	—	24 640 X X 6 190 X X 4 370	51,2

\* Главный параметр линии — размеры подвесок.

в соответствии с заданной программой. Основные типы отечественных гальванических автоматических линий с жестким циклом и их технические характеристики приведены в табл. 1. Все типы автоматических линий с жестким единичным циклом высокоэффективны, надежны в работе, просты в обслуживании.

Автоматические линии колокольного и барабанного типа. Автоматические линии этих типов широко применяются в промышленности для нанесения гальванических покрытий на мелкие детали для приборостроения.

Автомат колокольного типа — однорядная машина овальной формы, включающая металлоконструкцию, транспортер с каретками, ванны, механизмы перемещения, подъема, опускания и вращения колоколов.

Металлоконструкция автомата укреплена на фундаменте между рядами ванн. На ней смонтирован транспортер для перемещения колоколов. Транспортер состоит из цепи и закрепленных на ней кареток, на которых смонтированы колокола. Загрузка и

выгрузка колоколов производится на одной загрузочно-разгрузочной площадке, и эти операции могут быть полностью автоматизированы.

Технические характеристики кареточных автоматических линий приведены в табл. 1.

Автоматы барабанного типа (рис. 4) имеют практически то же назначение, что и автоматы колокольного типа (для осаждения цинковых, кадмиевых и некоторых других видов покрытий на мелкие детали).

Автомат состоит из металлоконструкции, механизма подъема и опускания транспортного устройства и тележек, несущих барабаны.

Механическая часть автомата расположена между рядами ванн. Подъемный механизм автомата состоит из тоек, смонтированных на фундаментной раме. На стойках укреплены направляющие, по которым перемещаются транспортные тележки. Тележки приводятся в движение двигателем через зубчатую передачу и управляются концевыми выключателями. Подъем и опускание барабанов осуществляется при помощи поворот-

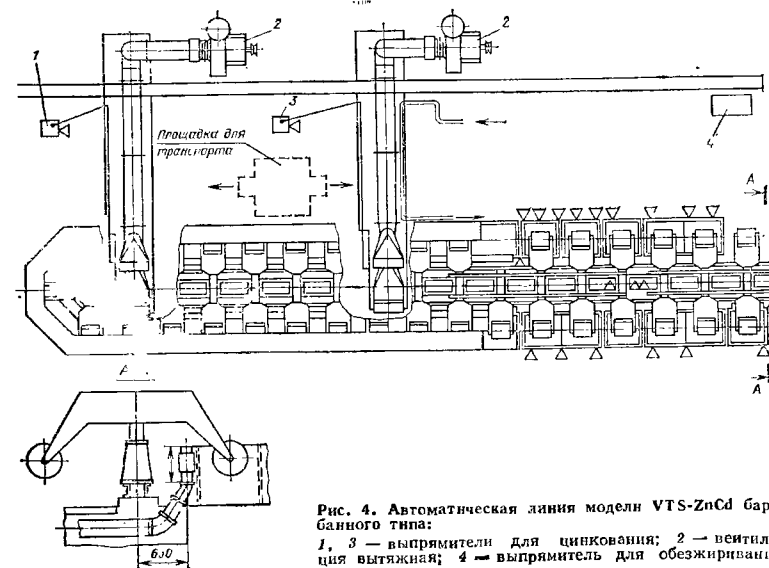


Рис. 4. Автоматическая линия модели VTS-ZnCd барабанного типа:

1, 3 — выпрямители для цинкования; 2 — вентиляция вытяжная; 4 — выпрямитель для обезжиривания

ного механизма, приводимого в движение двигателем через червячную передачу. Привод подъемного механизма приводится в движение путем периодического срабатывания реле времени и системы концевых выключателей. Изменение времени выдержки барабана на различных позициях автомата (время химической или электрохимической обработки, выдержки в положении над ванной и т. д.) осуществляется при помощи реле времени.

Барабан укрепляется в боковых стенках тележки таким образом, что одна его торцовая стенка, являющаяся зубчатым колесом, присоединена к приводу низковольтного двигателя, который также устанавливается на тележке и вращает барабан.

Все ванны автомата снабжены системой вытяжной вентиляции в виде бортовых отсосов. На отдельных автоматических линиях имеется загрузочно-разгрузочное устройство. Автоматы этого типа высокопроизводительны и надежны в работе.

#### АВТООПЕРАТОРНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Автоматические линии с программным управлением предназначены для химической и электрохимической обработки деталей, смонтированных на подвесках или в барабанах.

Преимущество линий с программным управлением перед автоматами, работающими по жесткому циклу, заключается в том, что они многопроцессны, т. е. представляется возможность обрабатывать детали по различным технологическим схемам и совмещать в одной цепи автоматической линии несколько видов покрытий.

В зависимости от заданной программы автоматические линии с программным управлением позволяют осуществлять перенос детали из ванны в ванну автономно, а также выдерживать подвеску с деталями на одной позиции ванны необходимое время (по технологии).

Перенос деталей из одной ванны в другую осуществляется автооператорами, которые оснащены автоном-

ными системами, обеспечивающими горизонтальное и вертикальное перемещение подвески или барабана с деталями.

Перенос подвески с деталями производится по заданной технологической схеме в соответствии с программой при помощи сигналов, поступающих с командоаппарата. В большинстве автоматических линий с программным управлением предусмотрена система ручного управления процессом.

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

Автоматические линии с нерасплепаемым автооператором целесообразно применять в тех случаях, когда технологией предусмотрена непродолжительная выдержка деталей в ванне на всех операциях процесса. Если разница во времени выдержки на различных технологических позициях значительная, то целесообразно использовать линии с расплепаемыми автооператорами, так как во время выдержки деталей в данной ванне автооператор успевает произвести необходимые перемещения на других позициях автоматической линии, что значительно увеличивает производительность автомата.

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

При переносе подвески с деталями в линиях с верхним холостым ходом автооператора совершается следующий цикл движений: перемещение автооператора без подвески в верхнее положение на рабочую позицию (вспомогательный ход), опускание автооператора в нижнее положение и захват штанги с подвеской, подъем в верхнее положение, горизонтальное перемещение с деталями, опускание на позицию и разжим захватов, подъем в верхнее положение, горизонтальное перемещение (вспомогательный ход).

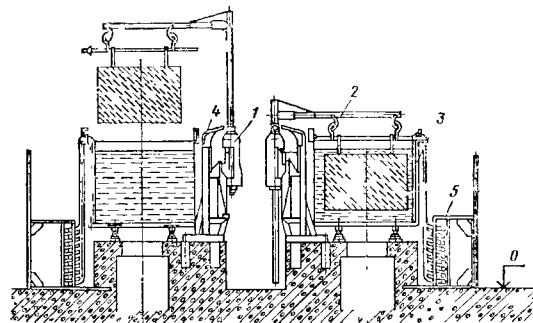


Рис. 5. Автоматическая гальваническая линия с автооператором консольного типа:  
1 — автооператор; 2 — консоль с захватами; 3 — ванна покрытия; 4 — станция; 5 — м стки

При такой схеме автооператор оснащен специальным захватом для зажима штанги.

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

Автоматические автооператорные линии могут быть выполнены как с верхним, так и с боковым расположением автооператора.

Линии с программным управлением первоначально предназначались для мелкосерийного производства с большой номенклатурой деталей.

Простота наладки автооператорной линии на различные программы, легкий переход от одного вида покрытия к другому, многопроцессность, универсальность способствовали созданию более совершенных и производительных систем этого типа линий.

В табл. 2 приведены основные типы и технические характеристики автооператорных автоматических гальванических линий, выпускаемых в Советском Союзе.

По способу транспортировки подвесок (барабанов) с деталями все автооператорные линии делятся на четыре группы: консольные (устанавливаемые сбоку от гальванической линии), тельферные, порталные, мостовые. Автооператоры тельферного, порталного и мостового типов устанавливаются над ваннами.

По способу транспортировки деталей тип автоматической линии выбирается в зависимости от планировки цеха массы и габаритных размеров обрабатываемых деталей, производительности и других факторов.

Линии с консольным автооператором. Автооператоры этих линий имеют боковую направляющую, поэтому для их размещения не требуется большой высоты цеха. Однако данные конструкции автооператоров не могут переносить большой груз. Установлено, что консольные автооператоры могут обслуживать ванны длиной  $\geq 1600$  мм при нагрузке  $\geq 250$  кг.

На рис. 5 показана автооператорная гальваническая линия с автооператором консольного типа. К этому типу относятся автоматические линии моделей АГ-24, АГ-39, АГ-42.

Преимущества линий с консольным автооператором следующие: высокая

Назначение линии	Модель	Внутренние размеры ванн * (Алиах X ширина X высота), мм, для		Продолжительность погружения, мин	Толщина покрытия, мкм	Температура электролита, °С	Температура ванны, °С	Температура воздуха, °С	Температура ванны, °С	Масса (без раствора), кг
		электрохимической обработки	химической обработки для промывки							
Для цинкования стальных деталей в барабанах и на подвесках	АЛГ-35М	1100X X 800X X 1200	1100X 600X X 1200	17 4,35	9—18	T: 400	12,0	16 000X X 2 420X X 4 600	14	14
	АЛГ-81	1100X X 800X X 1200	1100X 600X X 1200	25 7,2	9—12	T: 400	7,2	16 300X X 4 400X X 4 600	20,8	20,8
Для цинкования стальных деталей в барабанах и на подвесках, одорядная	АЛГ-280	1100X X 700X X 1200	1100X 600X X 1200	20 5,2	9—12	T: 40	10,1	19 200X X 2 400X X 4 600	16,4	16,4
	РКВ20-094	1120X X 710X X 1120	1120X 630X X 1120	75 кг/ч	6—15	T: 200	20	21 000X X 2 300X X 3 500	14,4	14,4
Для цинкования стальных деталей в барабанах и на подвесках	РКВ20-109	1600X X 1120X X 1120	1600X X 800 (630)X X 1120	15	9	T: 400	9,8	27 000X X 2 800X X 4 300	20,3	20,3
	РКВ20-058	2150X X 1120X X 1400	3150X X 1120 (630)X X 1400	45	13	T: 1000	8	29 800X X 4 300X X 4 600	34,6	34,6
Для цинкования стальных деталей в барабанах и на подвесках	АЛГ-35М	1100X X 800X X 900	1100X 600X X 900	18—20	9—12	T: 400	10,0	17 200X X 2 500X X 4 100	13,4	13,4
	АЛГ-281	2200X X 800X X 1200	2200X 600X X 1200	2X 6,5	6—9	T: 300	6,5	30 000X X 4 100X X 4 300	32,5	32,5
Для однослойного никонирования в барабанах и на подвесках	РКВ20-101	1120X X 710X X 1120	1120X 630X X 1120	75 кг/ч	6	T: 200	0	21 500X X 2 300X X 4 600	12,5	12,5
Для никонирования стальных деталей на подвесках	АЛГ-241	2200X X 800X X 1500	2200X 600X X 1500	2	6,15	T: 400	8	18 700X X 3 700X X 5 100	27,0	27,0
	РКВ20-096	2240X X 1120X X 1250	2240X X 800 (630)X X 1250	3	9	T: 400	9	26 000X X 3 600X X 4 600	22,3	22,3
Для никонирования стальных деталей в барабанах	АЛГ-217	1500X X 800X X 1200	1500X 600X X 1200	17,9—35	6,12	T: 400	11,9 17,8 20,5	25 300X X 2 800X X 4 600	30,3	30,3
	АЛГ-275	1500X X 800X X 1200	1500X 600X X 1200	0,94	—	T: 400	18,7	18 800X X 2 900X X 4 80	16	16
Для двухслойного никонирования (медь—никель) в барабанах и контейнерах	РКВ20-049	1120X X 710X X 1120	1120X 630X X 1120	60 кг/ч	Сu 6 Ni 6	T: 200	20	26 000X X 2 300X X 4 600	14,4	14,4
	АЛГ-76М	1500X X 700X X 1200	1500X 550X X 1200	2—6	Ni 9— 15— Cr 1—0	T: 400	11,3— 15,1	19 200X X 2 900X X 4 600	16,0	16,0
Для трехслойного никонирования (медь—никель—хром) на подвесках	РКВ20-119	1250X X 710X X 1120	1250X 630X X 1120	0,6	Сu 9 Ni 6 Cr 1	T: 200	8	32 000X X 2 600X X 4 800	24,3	24,3
	АЛГ-145	1500X X 1100X X 1200	1500X 600X X 1200	0,9	Сu 9 Ni 1 Cr 1	T: 400	10	20 100X X 2 800X X 5 400	38,0	38,0
Для трехслойного никонирования (медь—никель—хром) на подвесках	РКВ20-085	1600X X 710X X 1120	1600X 630X X 1120	0,8	Сu 14 Ni 7 Cr 1	T: 400	12	32 000X X 6 800X X 5 400	23,4	23,4
	АЛГ-201	2200X X 700X X 1500	2200X 700X X 1500	1,54	1,24	T: 400	8 17,8 22	22 000X X 3 500X X 5 200	29	29
Для трехслойного никонирования (медь—никель—хром) на подвесках	РКВ20-105	2240X X 1150X X 1120	2240X X 800 (630)X X 1120	2,2	Сu 9 Ni 8 Cr 1	T: 400	8,8	32 000X X 3 500X X 4 600	30,8	30,8

Назначение линии	Модель	Внутренние размеры ванны * (длина X ширина X высота), мм, для		Площадь поверхности деталей, загружаемых на подвесках (л) или в барабанах (б) м <sup>2</sup>	Производительность, м <sup>2</sup> /ч	Толщина покрытия, мкм	Тип ** и грузоподъемность оператора, кг	Темп выхода подвесок или барабанов, мин	Габаритные размеры (длина X ширина X высота), мм	Масса (без раствора) тонн, т
		электрохимической обработки или промывки	химической обработки							
Для хромирования покрытия (лучше никель-хром) на подвесках	РКВ20-043	1600 X 1120 X 1120	1600 X 800 X 630	1,6	8	Сл 14 N7 Сл 1	T; 400	12	27 000 X X 2 400 X X 4 000	21,0
Для твердого хромирования штоков на подвесках	АЛГ-216	1500 X 1100 X 1200	1500 X 800 X 1200	4,5	4,5	50	T; 400	9,17	30 000 X X 2 900 X X 4 600	30,5
Для серебрения медных деталей на подвесках и в барабанах	АЛГ-314	1100 X 800 X 1200	1100 X 600 X 1200	4,5 (б) 0,8 (л)	17 3	3,15	T; 400	16—23	20 400 X X 2 600 X X 1 5	14,8
Для анодирования на подвесках	РКВ20-087	1250 X 1120 X 1120	1250 X 800 (630) X 1120	3,3	15	—	T; 200	13	34 000 X X 2 600 X X 4 800	24,0
Для защитно-декоративного анодирования деталей из алюминиевых сплавов на подвесках	АЛГ-82М	1500 X 900 X 1200	1500 X 500 X 1200	3,6	20	—	T; 400	10,8	18 000 X X 2 070 X X 4 600	21
Для анодирования на подвесках	РКВ20-106	1600 X 1200 X 1120	1600 X 600 (630) X 1120	4	20	—	T; 400	12	33 000 X X 2 600 X X 3 30	26,3
Для фосфатирования стальных деталей в барабанах и на подвесках	АЛХ-60	1500 X 700 X 1200	1500 X 600 X 1200	6 (б) 4,2 (л)	37 32	—	T; 400	11 9,8	95 000 X X 2 600 X X 4 600	36
Для фосфатирования на подвесках	РКВ20-103	1250 X 900 X 1120	1250 X 710 X 1120	1,8	8	—	T; 200	13,5	1 000 X X 9 000 X X 4 600	17,3
Для фосфатирования стальных деталей на подвесках	АЛХ-42	1600 X 800 X 1200	1500 X 700 X 1200	5,8	37	—	T; 400	9,4	21 300 X X 3 000 X X 4 600	15,5
Для оксидирования на подвесках	РКВ20-057	1250 X 900 X 1120	1250 X 710 X 1120	1,8	8	—	T; 400	13,5	95 000 X X 2 600 X X 4 000	22,8
Для щелочного оксидирования стальных деталей на подвесках	АЛХ-70	—	1500 X 1000 X 1200	5,3	32	—	T; 400	9,9	27 000 X X 2 600 X X 4 600	20
Для химического оксидирования крепежных деталей Ø 6—16 мм в барабанах, специальных зонирования	АЛХ-67	—	1500 X 800 X 900	8,5	60	—	T; 400	7	20 000 X X 2 600 X X 3 300	23
Для нанесения хромоски, электрохимических и анодно-оксидных покрытий	АГ-42	1100 X 700 X 900	1100 X 600 X 900	—	До 60	—	Консольная; 150	—	До 50 000 X X 3 500 X X 4 000	30
Для нанесения хромоски, электрохимических и анодно-оксидных покрытий	АГ-42	1500 X 700 X 1200	1500 X 600 X 1200	—	До 60	—	Консольная; 150	—	До 50 000 X X 3 500 X X 4 000	30
Для никования стальных деталей в барабанах, подвесках, комплексная	КГ.1502 001	1500 X 600 X 1200	1500 X 600 X 1200	—	До 25	—	T; 40	—	23 300 X X 3 500 X X 5 500	21
Для никования стальных деталей на подвесках с последующим цветным или бесцветным пассивированием и устройством для обслуживания анодных штанг	УГАЛ	1600 X 800 X 1250	1500 X 650 X 1250	—	18	12—15	T; 400	—	33 500 X X 3 100 X X 5 350	21
Для никования деталей на подвесках, комплексная	КГ.1102 005	3200 X 700 X 1200	3200 X 600 X 1200	—	15	15	T; 400	—	25 800 X X 7 400 X X 5 200	—

\* Главный параметр — внутренние размеры ванны. \*\* Т — гальферный автооператор.

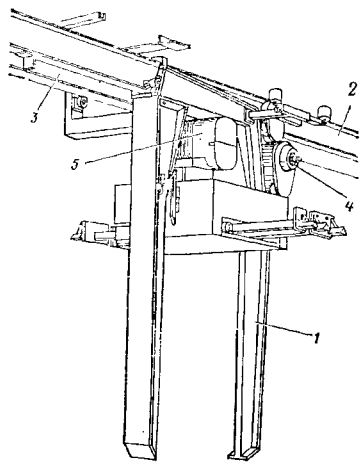


Рис. 6. Тельферный автооператор фирмы «Бласберг» (ФРГ) с боковым опорным рельсом:

1 — захват; 2 — монорельс; 3 — опорный рельс; 4 — двигатель горизонтального перемещения; 5 — двигатель вертикального перемещения

надежность, удобство монтажа и ремонта, возможность установки операторов в помещениях с низкими потолками, их недостаток — ограниченная грузоподъемность.

Линии с тельферными автооператорами. Тельферный автооператор представляет собой тележку с электромеханическими приводами горизонтального и вертикального перемещения. Основание тележки укрепляется на монорельсе, смонтированном на определенной высоте над ваннами.

Монорельс крепится к потолку или устанавливается на специальные металлические конструкции, идущие от пола. Для стабилизации движения тельферного автооператора с подвесками в некоторых конструкциях параллельно монорельсу устанавливается боковой опорный рельс (рис. 6).

К тележке в качестве грузоподъемного механизма крепится таль при помощи которой осуществляются вертикальные перемещения сборки с деталями. На тележке смонтированы два электродвигателя в редукторах, пе-

редающие необходимые виды движения автооператору.

Эти линии более стабильны в работе, чем линии с консольным автооператором, и имеют более высокую грузоподъемность.

Центральным конструкторским бюро оборудования гальванопокрытий (ИКБОО) разработана конструкция автооператора тельферного типа, грузоподъемность которого 500 кг. Фирма «Бласберг» (ФРГ) выпускает аналогичные автооператоры тельферного типа, грузоподъемность которых до 375 кг.

К недостаткам автооператоров этого типа следует отнести недостаточную жесткость конструкции, неудобство монтажа и обслуживания, громоздкость металлоконструкции.

Линии с автооператорами портального типа. Такие линии наиболее широко применяются в промышленности вследствие простоты конструкции, высокой надежности в работе, наибольшей пропускной способности и грузоподъемности автооператоров, удобства монтажа и обслуживания. Установка автооператоров портального типа не требует большой высоты цехового помещения.

Автооператор перемещается по специальным опорно-портальным конструкциям, уложенным вдоль бортов ванн, причем они могут быть размещены практически на любой высоте от края ванны.

Автооператор может иметь два механизма подъема с захватами, направленными в противоположные стороны, что позволяет одновременно обслуживать две гальванические ванны, ускоряя темпы работы автомата. При темпе выхода подвески более 4 мин применяют портальные автооператоры с одним механизмом подъема.

Автоматические линии с автооператором портального типа выпускаются отечественной промышленностью. Основные типы и технические характеристики портальных линий приведены в табл. 2. Эти линии имеют наибольшую производительность и грузоподъемность.

Большой интерес представляют линии подобного типа, выпускаемые фирмами «Шеринг» (ФРГ) и др. Производительность отдельных линий составляет до 150 м<sup>2</sup>/ч, а одновременно-

ная площадь загружаемых деталей на одну подвеску до 8 м<sup>2</sup>.

Автоматические линии с автооператорами мостового типа. Гальванавтоматы подобного типа предназначены для обработки крупногабаритных длинномерных деталей (труб, различных профилей) крупногабаритных отливок и т. д. Эти линии выпускаются различными иностранными фирмами по заказам, так как применение их ограничено.

По принципу компоновки автоматических линий их можно подразделить на прямолинейные (однорядные и двухрядные), овальные, круглые, многорядные и с угловым расположением гальванических ванн.

В зависимости от типа линии загрузка—выгрузка деталей может производиться на одной площадке или с разных сторон автомата (одно- или двусторонние автоматические линии).

Гальванические автооператорные автоматы мостового типа следует также классифицировать по способу загрузки деталей в гальванические ванны: подвесочные, барабанные, колокольные и смешанного типа.

Все перечисленные выше признаки отличия необходимо учитывать при выборе автоматической автооператорной линии.

Эти признаки с учетом производственной программы, типа деталей и вида их обработки, технологии и других факторов являются входными параметрами для расчета циклограммы процесса.

Дуплекс-операторные линии. К существенным недостаткам автооператорных линий прежде всего следует отнести сложность циклограммы, имеющих большое количество вспомогательных, возвратно-поступательных горизонтальных ходов автооператора, что значительно усложняет электрическую схему блока управления и увеличивает технологическое время темпа выхода подвески. Оптимальный ритм работы существующих автооператорных линий составляет 7—8 мин.

В некоторых автооператорных линиях предусматривается сокращение ритма работы автомата за счет уменьшения времени вертикальных перемещений и выдержки над ванной, что приводит к увеличению уноса электро-

лита из ванны, загрязнению последующих ванн и сточных вод. Поэтому такой путь не всегда приемлем.

Использование двухместных автоматических дуплекс-операторных линий (дуплекс-операторов) наиболее целесообразно. Дуплекс-оператор имеет дополнительную каретку с расположенными на ней направляющими вертикального перемещения двух консолей с захватами. Каретка смещается на шаг расположения консолей внутри автооператора таким образом, что свободный левый или правый захват всегда находится по центру автооператора.

Дуплекс-оператор имеет один реверсивный электродвигатель вертикального перемещения и один реверсивный горизонтального перемещения.

Дополнительная каретка, имеющаяся на дуплексе-оператора, попеременно смещаясь в ту или иную сторону, обеспечивает необходимое время стекания электролита, так как в период погружения необработанной сборки деталей (на подвеске или в барабане) только что извлеченная сборка находится над ванной, куда и стекает электролит.

Таким образом, вследствие того, что движение дуплекс-оператора происходит только в одну сторону, значительно упрощается электрическая схема автомата.

Принцип работы дуплекс-оператора заключается в следующем. Дуплекс-оператор с расположенным в нижнем положении свободным захватом, находящимся по оси симметрии, приходит на позицию, где извлекает из ванны сборку с деталями, после чего происходит смещение каретки в сторону извлеченной сборки; новая сборка оказывается над только что освобожденной ванной и погружается в нее. После такого обмена загруженной оказывается уже другая консоль, находящаяся в противоположном крайнем положении, а среднее положение вновь занимает освобожденная консоль. Далее дуплекс-оператор перемещается на следующую позицию, где вновь происходит обмен поступивших сборок с деталями.

Таким образом, дуплекс-оператор движется от ванны к ванне по простейшей циклограмме. С пульта управления заранее отключаются или включаются путевые датчики на соответ-

8 Технические характеристики дуплекс-автооператоров различных типов

Параметры	ДАО-50	ДАО-100	ДАО-2
Габаритные размеры, мм:			
	высота	3300	3300
	длина	1700	1470
Шаг размещения консолей, мм	1225	2120	—
	Ширина	30	400
Высота хода консолей, мм:			
	для подвесок	1087	1385
Средняя скорость горизонтального перемещения, м/мин:			
	80	875	875
I ступени			
	15	15	15
II ступени			
	30	30	30
Предельная скорость горизонтального перемещения, м/мин:			
	15	15	15
I ступени			
	7,5	30	30
II ступени			
	7,5	10	15
Средняя продолжительность одного обмена подвески, с			
7,5—15	10—29	10—29	
Предельная продолжительность одного обмена подвесками, с			
7,5—15	10—29	10—29	
Мощность электродвигателя, кВт:			
	0,6	0,8	—
Мощность подвески горизонтального перемещения			
	0,27	0,27	—

ствующих позициях. Путь, проходимый дуплекс-оператором в течение ритма работы линии, составляет не более 2,2 длины обслуживаемого участка с учетом возврата дуплекс-оператора на исходную позицию. Это в 1,5—2 раза меньше пути односторонних автооператоров, которые расцепляются со сборки деталей.

Среднее время ритма работы дуплекс-операторной линии состоит из 3—4 мин. При этом если среднее число обслуживаемых позиций для односторонних автооператорных линий в 1 мин составляет одну позицию, то для дуплекс-операторной — две-три позиции.

Дуплекс-операторные линии целесообразно применять в тех случаях, когда необходима высокая производительность, позиционная обработка и многопроцессность.

В НИИ тракторсельхозмаше спроектированы дуплекс-операторные линии для цинкования в барабанах и на подвесках; для цинкования и никелирования на подвесках; для износостойкого хромирования деталей гидродвигателей на толщину 18, 24 и 40 мкм; оксидирования, фосфатирования, подготовки поверхности деталей в коррозиях и другие. Производительность линий с барабанами составляет 200, 500 и 1000 кг/ч.

Дуплекс-операторная линия комплектуется из нормализованных узлов:

ванн, загрузочных и разгрузочных стоек и сушилок, устанавливаемых, как правило, по ходу технологического процесса. В зависимости от технологического процесса и требуемой производительности линии комплектуются в одно- или двухпоточном вариантах.

В зависимости от длины линии подбираются нормализованные узлы, которые соединяются и образуют сплошную металлоконструкцию.

На секциях металлоконструкций предусмотрены платформы для размещения элементов путевого управления, направляющих и реек.

Дуплекс-операторные автоматические линии оснащены сборными барабанами конструкции НИИ тракторсельхозмаша, изготовленными из полипропилена.

Технические характеристики дуплекс-автооператоров приведены в табл. 3.

### РАБОТА ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе электролитической обработки металлов, и в частности при нанесении гальванических покрытий происходят потери сотен тонн цен-

ного сырья вследствие испарения электролита с открытой поверхности гальванической ванны и уноса его в вытяжную вентиляционную систему с промышленными водами. Особенно велики потери при крупносерийном и массовом производстве с использованием автоматических гальванических линий.

В настоящее время во многих странах проблему сокращения потерь решают путем создания дополнительных установок и устройств, входящих в состав автоматических линий или автономных систем регенерации, обслуживающих целиком гальванические отделения или цехи.

Наибольшие сырьевые потери (до 40%) возникают в процессе хромирования.

Фирма «Бласберг» (ФРГ) разработала установку для регенерации хромосодержащих стоков по методу PS-80, заключающемуся в работе по замкнутому циклу без сброса сточных хромосодержащих вод с регенерацией хромовой кислоты. При этом прежде всего обеспечивается тщательная промывка деталей минимальным количеством воды в каскаде из четырех ванн.

Из первой промывной ванны постоянно отбирается определенное количество раствора и подается через фильтр на катионообменную установку. В этой установке осаждаются катионы железа, свинца и других металлов. Далее раствор подается в конденсатор, а оттуда в испаритель, в котором он охлаждается, и затем возвращается в электролитные ванны.

Отличительной особенностью этой установки является использование теплоты, высвобождающейся в процессе хромирования, на испарение промывной воды.

На рис. 7 представлена схема регенерации никелевого электролита. разработанная фирмой «Шеринг» (ФРГ). Промывная вода из отсека I ванны каскадной промывки подается через фильтр, содержащий активированный уголь, в отсек а емкости, в котором происходит очистка со скоростью 9—10 л/ч. В этот же отсек со скоростью 2—3 л/ч подается из ванны 7 через фильтр 5 электролит никелирования. Протекая под первой перегородкой, электролит проходит селективную очистку и попадает в отсек б емкости.

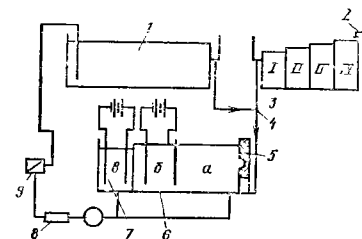


Рис. 7. Схема установки для генерации никелевого электролита из промышленных вод:

I, II, III, IV — каскады ванны (отсек) промывки; 1 — никелевая ванна; 2 — чистая вода; 3 — промывная вода; 4 — труба; 5 — уголь; 6 — фильтр — активированный уголь; 7 — ванна селективной очистки; 8 — отсек регенерации никеля; 9 — отсек промывки

В отсеке б металлы с более положительным потенциалом осаждаются и частично никель осаждаются при низкой плотности тока на катоды из листовой стали. Далее вследствие каскадной конструкции электролит попадает в отсек в, где из предварительно очищенного электролита осаждаются некоторое количество никеля на электроде.

Полученный таким образом металлический никель может использоваться в качестве анодов, а электролит, доведенный до рабочей концентрации, подается насосом через фильтр 5 в гальваническую ванну.

Подсчитано, что очистка по данному методу снижает затраты на никелирование до 23%. Аналогичные установки могут быть использованы для регенерации сточных вод при хромировании, кислот цинкования и меднения.

Безотходная технология в гальваническом производстве не может быть осуществлена без высокоэффективной системы промывки деталей. Поэтому, кроме хорошо известной каскадной промывки, широко используются установки для промывки деталей методом струйного распыления. Этот способ может быть применен для деталей, покрываемых на подвесках и в барабанах. Причем при промывке струйным распылением деталей в барабанах одновременно промываются обложки барабанов и консоли. Барабан с деталями должен промываться так, чтобы

Загрузка, разгрузка, сушка
Пассивирование (в ванне I)
Пассивирование (в ванне II)
Промывка
Нейтрализация
Электрообезжиривание
Химическое обезжиривание
Промывка
Травление
Декапирование
Промывка
Цинкование

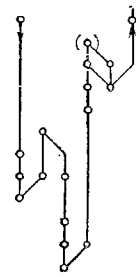


Рис. 8. Циклограмма работы автоматической линии цинкования со струйной промывкой деталей

вахваченный электролит разбавлялся до концентрации 1/1000, прежде чем он поступит в следующую рабочую ванну. Вследствие высокого качества промывки струйным распылением может быть уменьшено количество промывных ванн и соответственно производственные площади под оборудованием.

Загрузка, выгрузка, сушка
Промывка
Промывка
Промывка
Пассивирование (в ванне I)
Пассивирование (в ванне II)
Промывка
Нейтрализация
Химическое обезжиривание
Промывка
Промывка
Промывка
Электрохимическое обезжиривание
Травление
Промывка
Промывка
Промывка
Декапирование
Промывка
Промывка
Промывка
Цинкование

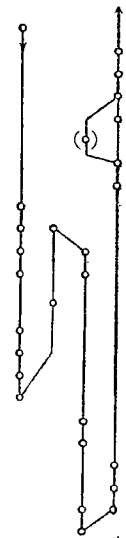


Рис. 9. Циклограмма работы автоматической линии цинкования со стационарной системой промывки деталей

На рис. 8 приведена циклограмма работы автоматической линии цинкования с использованием струйной промывки. В линии установлено две позиции для промывки. При этом расходуются свежей промывной воды 500 л/ч, а длина линии составляет 16,2 м. Для получения аналогичного эффекта по количеству промывки и расходу воды в линии, работающей по циклограмме, представленной на рис. 9, используется 14 промывных ванн, а ее длина составляет 23 м, т. е. на 30 % больше длины линии со струйной промывкой. Кроме того, увеличивается количество автооператоров (с 1 до 2) и барабанов (с 11 до 13).

### ПРИБОРЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ОСАЖДЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЯ

Регулирование температуры электролитов. Температурный режим работы гальванической ванны во многом определяет качество и свойства получаемых покрытий. Для его обеспечения отечественная промышленность выпускает различные типы контактных термометров и другие датчики температуры.

Терморегулирование в лабораторных гальванических установках и в производственных ваннах небольшой емкости производится с использованием ртутных контактных термометров. Контактный термометр позволяет устанавливать и поддерживать температуру в гальванической ванне с точностью до  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

Настройка термометра производится при помощи винта, вращаемого магнитом. Внутри стеклянной овальной трубки термометра помещена овальная гайка, в которой закрепленвольфрамовый контакт, входящий своим концом в капилляр. При вращении винта овальная гайка перемещается, увлекая за собой подвижный контакт в капилляре. Необходимая температура устанавливается нижним обрезом гайки и подвижным контактом на соответствующем делении шкалы термометра. При достижении заданной температуры ртутный столбик замыкает электрическую цепь между подвижным и неподвижным контак-

тами, реле срабатывает, и нагревательный элемент отключается. После отключения нагревательного элемента в системе начинается охлаждение. Менее ртутного столбика в капилляре понижается, размыкается цепь контактного термометра, замыкая при этом цепь электронагревателя, и вновь происходит нагрев раствора.

Отечественной промышленностью выпускаются контактные термометры типа ТК-6, ТК-8, ТКМП, ТКМУ и др. Эти термометры имеют пределы регулирования,  $^\circ\text{C}$ : 0—50, 0—100, 50—150, 100—200, 200—300.

Гарантируемое число замыканий и размыканий контактов термометров при нагрузке  $>0,5$  мА и напряжении  $>0,3$  В составляет не менее 1 000 000.

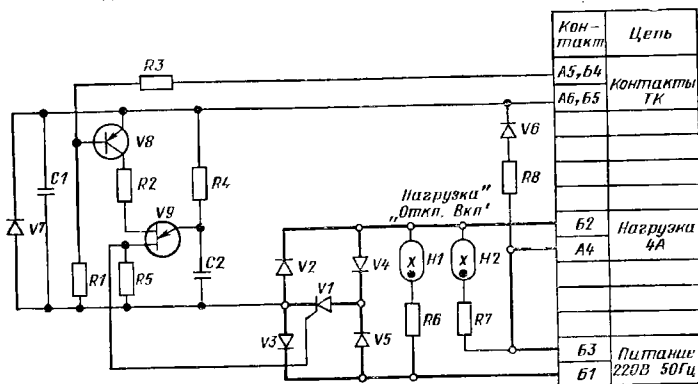
Усилительное устройство для контактных термометров типа УКТ-4У2 по принципу действия представляет собой тиристорный выключатель (рис. 10). После подачи питания на устройство при разомкнутых контактах ТК транзистор V8 открыт отрицательным потенциалом, подаваемым на его базу через резистор R1. Генератор, состоящий из однопереходного транзистора V9, резисторов R2, R4, R5 и конденсатора C2, включается в работу и генерирует импульсы с частотой порядка 7,5 кГц. Эти импульсы открывают тиристоры, осуществляя тем самым подключение нагрузки к цепи переменного тока. Контакты ТК при этом находятся под напряжением,

не превышающим величины падения напряжения на переходе база—эмиттер открытого транзистора V8.

При замыкании контактов ТК транзистор V8 закрывается, базовая цепь однопереходного транзистора обесточивается, генератор прекращает свою работу, и тиристор отключает нагрузку от цепи переменного тока. Ток, проходящий через замкнутые контакты ТК, при этом определяется напряжением питания схемы управления и величиной суммы сопротивлений  $R1 + R3$  (около 0,2 мА). Питание схемы управления осуществляется от сети переменного тока через выпрямитель на диоде V6, стабилизатор на резисторе R8, стабилитроне V7 и сглаживающем конденсаторе C1.

Устройство УКТ-4У2 подает на разомкнутые контакты термометра напряжение не более 0,5 В, а ток, проходящий через замкнутые контакты термометра, не превышает 0,0002 А. Потребляемая мощность не превышает 5 В·А. Устройство имеет габаритные размеры  $215 \times 117 \times 67$  и массу 0,8 кг.

На рис. 11 показана схема реле контроля температуры гальванических ванн. Устройство состоит из кожуха 2, закрытого втулкой 1, выполненного из органического стекла. Внутри полости кожуха находится корпус 10, также выполненный из оргстекла. В корпусе параллельно встроены две биметаллические пластины 7, залитые эпоксидной смолой 9. На каждой



Контакт	Цепь
A5, B4	Контакты ТК
A6, B5	
B2	
A4	Нагрузка 4А
B3	Питание 220В 50Гц
B1	

Рис. 10. Принципиальная электрическая схема усилительного устройства УКТ-4У2

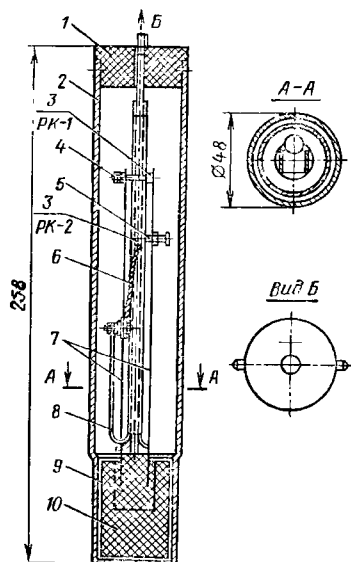


Рис. 11. Реле контроля температуры гальванических ванн

биметаллические пластины имеют винты — верхний 4 и нижний 5, соединенные с контактами 3 (ПК-1 — пусковые и ПК-2 — отключающие), размещенные на дополнительной пластине 6. Через отверстие во втулке 1 пропущены провода 8, по которым от сети питание через биметаллические пластины подается на контакты.

Реле имеет два рабочих положения. Верхним винтом 4 регулируется первоначальное положение, т. е. нижняя рабочая температура, нижним 5 — верхний температурный предел работы ванны. Так, если нижний температурный предел составляет 56 °С, контакты реле замыкнуты и электронагреватель включен; когда температура в ванне повышается, биметаллические пластины начинают деформироваться, расходятся под углом, и при достижении верхнего температурного предела, равного 60 °С, контакты реле размыкаются и через пускатель отключают подогрев ванны.

По мере остывания ванны биметаллические пластины выпрямляются и

при достижении нижнего температурного предела приходят в исходное положение, контакты замыкаются, включается подогрев ванны. Для защиты реле от агрессивной среды ванны кожух 2 изготовляют из свинца. Применение реле обеспечивает поддержание температуры ванны с точностью  $\pm 2$  °С.

Автоматическое регулирование температуры ванны, нагреваемых горячей водой, можно производить регулятором прямого действия типа РПД, который представляет собой метрическую систему, состоящую из термобаллона, сильфона и соединяющей их капиллярной трубки. Эта система заполняется жидкостью. При этом часть термобаллона заполняется парами жидкости, в результате чего в системе устанавливается давление насыщенных паров жидкости. При нагреве раствора давление насыщенных паров на мембрану увеличивается, мембрана перемещает шток, связанный с клапаном, и клапан прекращает подачу горячей воды. При охлаждении давление в системе падает, сильфонная мембрана сокращается, увлекая за собой шток, клапан открывается, и вновь поступает горячая вода.

Возможно также автоматическое регулирование температуры при помощи пневматических приборов, а также различных систем электрических мостов, которые обеспечивают высокую точность поддержания температуры в ванне при электронагреве.

Регулирование плотности тока. Плотность тока на ванне пропорциональна току, протекающему через датчик прибора. Этот принцип использован в приборах для регулирования плотности тока.

В простейшем варианте такой прибор представляет собой амперметр постоянного тока, к контактным клеммам которого через подводящие провода подсоединяются две пластины. Одна из пластин имеет поверхность 1 дм<sup>2</sup>. Эта пластина опускается в ванну. Другая пластина прижата к катодной шпите. Протекающий через амперметр ток покажет величину плотности тока в той точке ванны, где опущена пластина. Перемещая катодную пластину в различные точки ванны, можно

с определенной точностью определять локальную плотность тока. Такое устройство не дает возможности определить среднюю плотность тока на подвеске с деталями.

Для автоматического регулирования электрического режима при хромировании разработан прибор АПГ-2, позволяющий регулировать плотность тока в «прямом» и «обратном» периодах и автоматически следить за работой ванны хромирования в течение всего времени процесса, вплоть до окончания цикла хромирования. Технические характеристики прибора АПГ-2 следующие:

длительность периода обратной полярности, с	30 ± 1
длительность периода прямой полярности повторяющихся циклов, мин	15 ± 1
длительность начального цикла, мин	30 ± 1
длительность нанесения покрытия, мин	198
длительность нарастания тока, с	30
число циклов	12
напряжение питания преобразователя, В	220
тип генератора, питающего ванну	АНД-2500 5000
полное рабочее сопротивление реостата, Ом	30
размеры блока управления (диаметр × высота), мм	350 × 130
размеры силового блока (высота × ширина × глубина), мм	650 × 350 × 350
масса силового блока, кг	12

Все большее распространение получают бездатчиковые приборы, работающие по методу вольт-амперной характеристики (ВАХ). Одна из таких установок разработана в НИИТавтопроме для ванн, работающих от генератора типа АНД-2500/5000 на 6/12 В. Установка (рис. 12) состоит из магнитного усилителя, настраиваемых резисторов  $R1$  и  $R2$ , ограничивающего дросселя  $L$  и автотрансформатора  $Tr$ .

Обмотки возбуждения генератора питаются от сети переменного тока 220 В через обмотки магнитных усилителей  $W1.1$  и  $W2.1$ , включенных через селеновые выпрямители  $V1—V4$ . Постоянное напряжение на обмотке возбуждения генератора регулируется с помощью двух обмоток управления магнитного усилителя.

Установка начального напряжения на клеммах ванны производится при отсутствии тока, т. е. до опускания деталей в ванну. Регулирование тока в обмотках смещения осуществляется при помощи автотрансформатора  $Tr$ . Чтобы исключить влияние магнитного состояния усилителя на ток в обмотках смещения, в схему введено ограничивающее сопротивление  $R2$ . При изменении тока в ванне в связи с изменением поверхности деталей меняется напряжение на электродах

ванны. Изменение напряжения осуществляется обратной связью цепи якоря генератора с обмотками обратной связи  $W1.2$  и  $W2.2$  магнитного усилителя.

Так как обмотки  $W1.2$  и  $W2.2$  имеют низкое омическое сопротивление, то под действием падения напряжения в катодной шпите через них будет проходить ток, обеспечивающий требуемую степень подмагничивания усилителя. Резистор  $R1$ , включенный в цепь обмоток  $W1.2$  и  $W2.2$ , служит для регулирования тока обратной связи, т. е. степени возрастания питающего напряжения с увеличением тока

в ванне. Дроссель  $L$  ограничивает ток высших гармоник, возникающих в контуре обмоток обратной связи.

Настройка прибора производится установкой напряжения на выходе автотрансформатора, питающего обмотки  $W1.3$  и  $W2.3$ , и подбором сопротивлений в обмотках смещения и обратной связи, при которых обеспечивается сила тока на ванне при заданной плотности тока и поверхности загружаемых деталей.

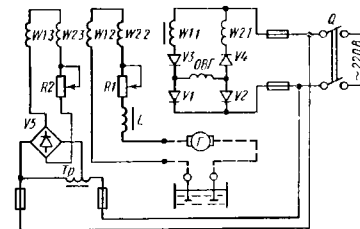


Рис. 12. Схема регулятора плотности тока, работающего по вольт-амперной характеристике:

Г — генератор постоянного тока; ОБГ — обмотка возбуждения генератора;  $W1.1—W1.3, W2.1—W2.3$  — магнитные усилители;  $V1—V4$  — селеновые выпрямители;  $L$  — дроссель;  $Tr$  — автотрансформатор;  $Q$  — пакетный выключатель;  $R1—R2$  — регулировочные резисторы



Такая установка может работать в том случае, если переменным является только один параметр — поверхность загрузки, а все остальные в течение всего процесса остаются неизменными.

Принцип вольт-амперных характеристик дает возможность с большой точностью поддерживать плотность тока в процессе осаждения с учетом истинной поверхности загружаемых деталей, но не позволяет поддерживать плотность тока в автоматическом режиме.

Современные выпрямители ВАКГ и ВАКР предусматривают автоматическое поддержание плотности тока при помощи специальных датчиков по методу заданной плотности тока, однако отслеживание ведется только при общих токах на ванне, равных более половины номинальной нагрузки выпрямителя.

#### ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

К вспомогательному оборудованию относятся фильтровальные установки, насосы для перекачки электролитов, различные емкости для хранения, транспортировки и корректировки растворов.

Фильтровальные установки предназначены для очистки электролитов от различных загрязнений. На рис. 13 показана установка модели 1×ДМ2-0,3Р с дисково-пакетными фильтрами, которая предназначена для осветлительного фильтрования кислых и щелочных растворов с использованием фильтрующих тканей. Осадок смывается с дисков в специальной ванне без разборки пакетов. В установку 1×ДМ2-0,3Р входят один дисково-пакетный фильтр, насос для подачи продукта на фильтрование, трубопроводы с запорной арматурой и контрольно-измерительные приборы. Установка смонтирована на тележке.

Фильтровальные диски цельнолитые из полиэтилена. Материал деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом: корпус и крышка — углеродистая сталь, гуммированная резиной 1976-М; прокладки — кислото-

шелочстойкая резина КШ-с; остальные детали — сталь 0Х23Н28М3Д3Т. Фильтровальная установка предназначена для крупносерийного и массового производства. Ее технические характеристики следующие:

поверхность фильтрования одного пакета, м <sup>2</sup>	2
количество пакетов, шт.	1
диаметр диска, мм	300
количество дисков в пакете, шт.	19
давление фильтрования, Па	3·10 <sup>5</sup>
температура суспензии, °С	до 60
тип	1,5—6Л (2В)
подача (по воде), л/с	1,5—3,4
напор, м	2,0—14,5
габаритные размеры, мм	1482×644×1124
масса, кг	285
мощность электродвигателя, кВт	3
частота вращения, об/мин	2880

На рис. 14 показана кварцевая гуммированная фильтровальная установка модели ИМЭ-203-323-71. Установка предназначена для очистки осадительной ванны гальванических цехов. Она представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат диаметром 3000 мм с двумя эллиптическими днищами. Установка состоит из двух частей: корпуса 1 и нижнего днища 6, между которыми зажата через резиновые прокладки решетка 5 для фильтровальных свечей. На нижнем днище имеются штуцеры 7, которые служат для сброса отфильтрованного раствора. Штуцер 10 предназначен для подачи сжатого воздуха при продувке аппарата, штуцер 9 — для спуска раствора ванны из аппарата. В центре установки проходит труба 8 для подачи раствора на фильтрацию и выхода раствора промывной ванны. В верхней части корпуса фильтра имеется люк 2 диаметром 1000 мм, предназначенный для загрузки кварца, и штуцер 3 для сброса давления воздуха при продувке. В осечку корпуса вварен люк 4 диаметром 400 мм для выгрузки кварца. Нижнее днище имеет люк 11 диаметром 100 мм для технологического обслуживания. Фильтровальная установка этой конструкции применяется

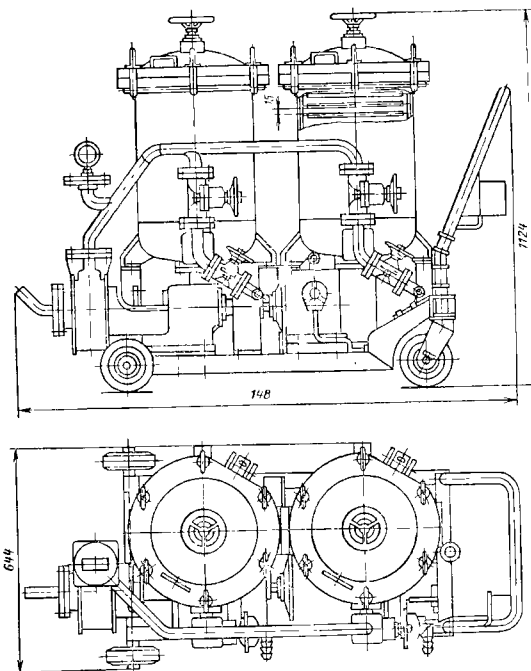


Рис. 13. Фильтровальная установка модели 1×ДМ2-0,3Р с дисково-пакетными фильтрами

при серийном производстве. Ее технические характеристики следующие:

рабочее давление, Па	3·10 <sup>5</sup>
температура среды, °С	2÷56
объем фильтра, м <sup>3</sup>	12,8
поверхность фильтрации, м <sup>2</sup>	7
подача, л/с	27,2
высота слоя кварца, мм	800
количество дренажных головок, шт.	620
диаметр внутренний, мм	3000
высота (без трубопроводов), мм	3150
масса без заполнения кварца, кг	8435
вариант изготовления	взрывопожаро-безопасный

Для очистки электролита от механических примесей, ускоренного процесса фильтрации в ваннах цинкова-

ния и никелирования применяют пресс-фильтры модели АПМ-112 (рис. 15).

На тележке 1 (рис. 15, а) смонтированы фильтр 2, редуктор 3, спаренный щелочной диафрагменный насос 4, который приводится в движение электродвигателем 5. Такая конструкция тележки обеспечивает устойчивость ее и малый радиус поворота. Перемещение тележки производится вручную с помощью ручки 6, которая одновременно является и ограждением.

Электролит из ванны 1 (рис. 15, б) по трубе 2 насосом 3 подается по трубе 4 через открытый вентиль 5 в наружную полость фильтра 6. Преодолевая сопротивление суточного фильтра 7, электролит попадает во внутреннюю полость, откуда по трубе 10 возвращается в ванну. При фильтрации электролита вентили 8 и 11 перекрыты,

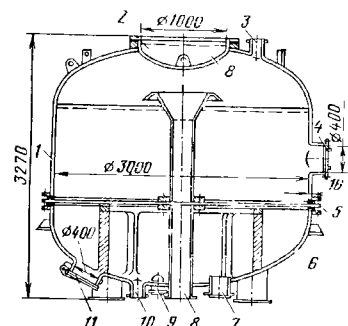


Рис. 14. Кварцевая гуммированная фильтровальная установка модели ИМЭ-203-323-71

а 5 и 9 открыты. При промывке фильтра труба 2 опускается в воду, вентили 5 и 9 перекрываются, а 8 и 11 открываются. Вода насосом подается во внутреннюю полость фильтра, вымывает из сукна механические частицы и шлам и через открытый вентиль 11 сбрасывается в коллектор.

Все детали пресс-фильтра, имеющие контакт с электролитом, выполнены из сталей 12Х18Н10Т и 1Х17Н12.

Пресс-фильтр может использоваться для непрерывной и периодической фильтрации. Его технические характеристики следующие:

подача, л/с 0,16  
рабочее давление, МПа 0,2

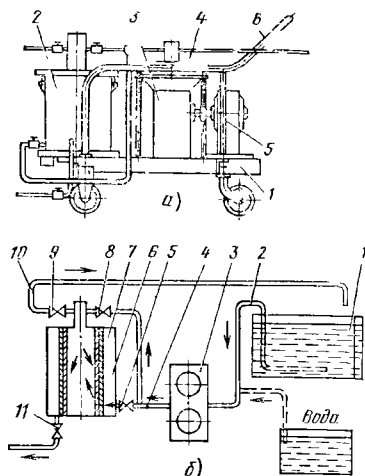


Рис. 15. Пресс-фильтр для очистки электролита от механических загрязнений: а — конструктивная схема; б — схема работы

поверхность фильтра, м <sup>2</sup>	0,15
электродвигатель:	
тип	АОЛ2-11-4
мощность, кВт	0,6
частота вращения, об/мин	1500
редуктор:	
тип	РКН-80А
передаточное число	41
габаритные размеры, мм	1100 × 750 × 450
масса, кг	150

## Глава 21.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

#### ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОДВЕСОЧНЫХ УСТРОЙСТВ И ДРУГОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

Конструкции подвесок и их элементов. Прогрессивным направлением в проектных решениях гальванических цехов является автоматизация процессов навешивания деталей на подвески и передачи подвесок с конвейеров на гальваноавтомат и обратно на транспортный конвейер, а также централизация монтажа деталей на подвески. Использование таких проектных решений позволяет снизить трудоемкость процесса нанесения металлопокрытий, улучшить условия труда вследствие исключения контакта работающих с токсичными выделениями. Однако реализация таких решений возможна при использовании более надежных, «роботоприспособленных» подвесочных устройств.

Соединение контактных элементов токоподводов подвесок с несущими элементами кареточных автоматов может быть подвижным или неподвижным, но в обоих случаях — разъемным. Выбор типа соединения опреде-

ляется в основном размерами и массой подвески. Тяжелые подвески закрепляют неподвижно на токопроводящих консолях кареточных автоматических линий с жестким шклом. В этом случае на монтажной площадке детали перевешиваются со специальных транспортных подвесок на рабочие, закрепленные на автомате. Подвески меньших размеров используют для транспортировки деталей с монтажного участка, который может быть удален на значительное расстояние от автомата. На автоматах автооператорного типа подвески с помощью подвижного разъемного соединения монтируют на штанги, которые вместе с подвесками транспортируются в зону обслуживания автооператоров. Примеры конструктивного исполнения токоподводов к подвескам приведены на рис. 1.

Конструкция подвесок (формы и размеры) устанавливается в зависимости от размеров и формы деталей, на которые наносится покрытие, габаритов гальванической ванны и особенностей технологического процесса. Габаритные размеры подвесок с деталями не должны выходить за пределы определяемые нормативной документацией, например стандартом ОСТ 2 П60-1—74, и данными, приведенными в табл. 1, 2. Эти размеры,

1. Размеры подвесок для автоматических линий

Глубина ванны, мм	Межкатодное (межкатодное) расстояние, мм	Размеры подвески, мм		
		высота	ширина	длина
1200	450	800	150	400; 600; 900; 1300
	600	800	250	400; 600; 900; 1300
1500	450	1100	150	400; 600
	600	1100	250	600; 900

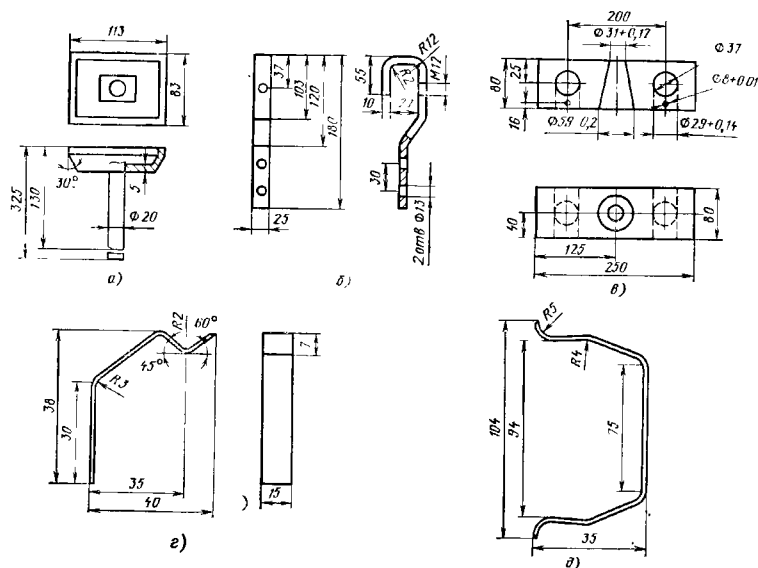


Рис. 1. Конструктивное оформление токоподводов к подвескам и контактам:  
а, в — жесткий токоподвод; б — контактный крюк; г, д — пружинный токоподвод

как видно, зависят от размеров ванны, для которых подвески предназначены. При этом определяющими являются глубина ванны и межкатодное (межкатодное) расстояние (см. табл. 1). Размеры подвесок (мм) для кареточных овальных автоматических линий с двумя катодными рядами и межкатодным расстоянием 450 мм приведены ниже:

длина	400	400	600	600
высота	900	1100	900	1100

## 2. Размеры подвесок для ванн ручного обслуживания

Глубина ванны, мм	Межкатодное (катодное) расстояние, мм	Размеры подвесок, мм		
		высота	ширина	длина
800	450 600	400	250	100; 600
		400	250	400
				400
1000	450 600	600	150	600; 400; 600
		600	250	
				400; 600

Габаритные размеры подвесок с деталями указываются на чертежах (рис. 2 и 3).

Между размерами подвески и производительностью автоматической линии существует прямая зависимость; однако при ручном обслуживании гальванических ванн размеры подвески должны быть такими, чтобы рабочий среднего роста мог легко поднимать их и переносить из одной ванны в дру-

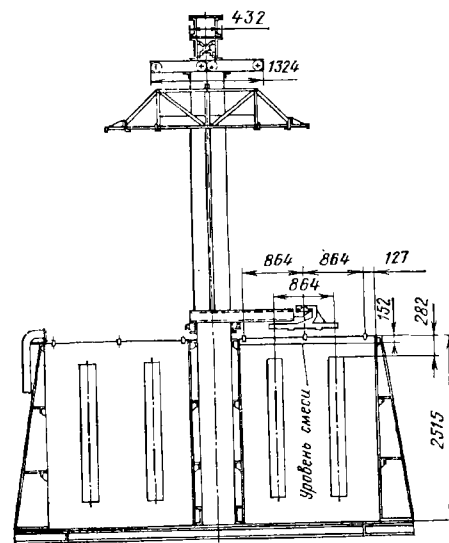


Рис. 2. Автомат для гальванических покрытий (тонкие линии показывают габаритные размеры подвесок с деталями)

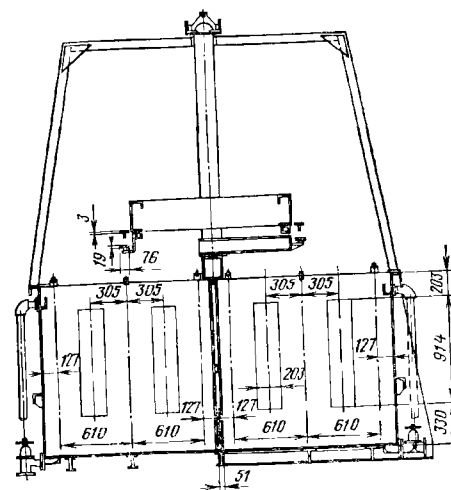


Рис. 3. Автомат для гальванических покрытий (тонкие линии показывают габаритные размеры подвесок с деталями)

гую. Эти обстоятельства учтены при определении габаритов ванн и подвесок (см. табл. 2). Установлено, что если человек должен поднять руку выше уровня плеча, то это требует значительных усилий. Этот фактор следует учитывать при выборе высоты подвески: она не должна быть слишком большой, чтобы перемещение рабочим по вески не вызывало у него затруднения. Ширина подвески должна быть такой, чтобы крючки были удобными для захвата и не слишком отстояли друг от друга. Верхний край ванны согласно нормам безопасности работы должен быть на высоте 1 м от уровня пола.

При размещении поперечных travers и крючков для навешивания деталей следует учитывать, что заполнение ванны раствором производится до уровня, находящегося на 150 мм ниже верхнего края ванны, а детали должны находиться в электролите на 30—50 мм ниже зеркала раствора. Нижний край подвески должен обеспечивать расположение детали на высоте 120—150 мм над дном ванны, чтобы не допускать контакта со змеевиком и не замушачивать осадок, который образуется на дне некоторых ванн.

Исходными данными для конструирования подвесок является площадь покрываемой поверхности деталей. Расчет поверхности сложнопрофилированных деталей (несмотря на большие затраты времени) должен осуществляться достаточно точно. При конструировании подвесок важно правильно рассчитать поперечное сечение и правильно выбрать материал всех элементов подвески во избежание их перегрева в процессе нанесения покрытия. При выборе материала для изготовления подвесок можно принять, что значения электропроводимости углеродистой стали, латуни и меди находятся в соотношении 1 : 4 : 5.

Для цинкования, кадмирования, меднения, серебрения мелких деталей с площадью до 0,2 дм<sup>2</sup> можно использовать рамную подвеску, у которой на поперечных traversах размещаются предварительно изготовленные резьбовые втулки. В эти втулки после изоляции подвески ввинчиваются контактные крючки, которые по потребности могут заменяться (гру-

повые приспособления). Рамная подвеска представляет собой сварную или паяную конструкцию прямоугольной формы. Внутри рамы или по бокам расположены держатели, на которых крепят детали. Рамы могут быть выполнены из стали, латуни, алюминия или титановых сплавов (для анодирования). В верхней части ванны расположены крючки из меди, латуни или бронзы. С их помощью подвеска заводится на токоподводную шину. Крючки крепят к раме болтами или приваривают. Держатели могут быть съемными или приваренными. Их следует стирать под прямым углом, но не по радиусу, так как в этом случае контакт осуществляется в одной точке.

При нанесении защитных покрытий на детали сложной формы трудно получить слой заданной толщины на внутренних поверхностях, особенно, если глубина отверстий значительно превышает его диаметр. Получить заданную толщину покрытий на внутренних поверхностях возможно, если применить подвеску с внутренним анодом. Анод должен быть изолирован от основной подвески неметаллическими втулками (из винилпласта, фторопласта и других материалов) и иметь гибкий провод с зажимом для крепления на анодной шине. Он должен быть хорошо отцентрован. Расстояние между внутренним анодом и покрываемой поверхностью должно быть достаточным для выхода газов, выделение которых сопровождает процесс осаждения металла. Внутренний анод предпочтительно изготавливать из осаждаемого металла, но возможно использование нерастворимых (коррозионно-стойких) анодов, например окисных рутениевотитановых анодов (ОРТА). В некоторых случаях, например в щелочных и нейтральных электролитах, можно использовать внутренние аноды из коррозионно-стойкой стали. Следует, однако, учитывать возможность их растворения и загрязнения электролита продуктами ионизации металла анода. Центрирующие втулки следует изготавливать перфорированными, чтобы не было препятствий для выхода газов и обмена электролита в пространстве между обрабатываемой поверхностью детали и внутренним анодом.

Размещение деталей на подвеске. Размещая детали на подвеске, следует учитывать ряд важных обстоятельств. Положение детали относительно анодов (катодов) должно обеспечивать наиболее равномерное распределение тока на всех участках детали, в то же время детали не должны экранировать друг друга. Контакт детали с подвеской должен быть достаточным по площади, чтобы исключить перегрев металла, и достаточным для того, чтобы детали надежно удерживались на подвеске при перемещении их из одной ванны в другую в процессе подготовки и основной обработки.

Достаточно тяжелые детали прочно удерживаются на крючках подвесок под действием силы тяжести, а легкие детали требуют специального закрепления с помощью пружинных зажимов и других устройств. Особенно жесткий контакт требуется для процессов, выполняемых при интенсивном перемешивании раствора и высоких плотностях тока (хромирование, электрополирование), а также при анодном окислении, когда вследствие слабого контакта может образоваться окисная пленка на контактных участках и ток не будет подаваться на детали. Процесс анодирования при этом прекращается, и происходит бестоковое растворение слоя образовавшегося ранее оксида, а также обрабатываемого металла в электролите.

Выделение значительного количества водорода в процессе хромирования и кислорода при электрополировании и анодном окислении заставляют так располагать деталь, чтобы обеспечить свободный отток газов и исключить их скопление у некоторых поверхностей обрабатываемых деталей. При неправильном подвешивании деталей газовые пузыри препятствуют электроосаждению металла и образованию покрытия или вызывают растравливание основного металла (при электрополировании). При перемешивании электролита или непрерывной фильтрации опасность этих дефектов уменьшается, так как движение раствора облегчает его дегазацию. Дефекты покрытия из-за образования газовых водородных или воздушных пузырей свидетельствуют о типичной ошибке при конструировании. Такие дефекты могут быть устранены путем незначи-

тельной реконструкции подвесок. Иногда требуется лишь изменить место контакта, чтобы обеспечить свободный доступ раствора ко всем участкам поверхности покрываемой детали или свободный отход водорода, выделяющегося одновременно с металлом.

При конструировании подвесок следует учитывать способ монтажа и демонтажа деталей на подвеске. При ручном и механизированном (при использовании роботов) способах навешивания деталей на подвески конструкции посадочных мест различаются. Неодинаковыми должны быть в этих случаях и элементы крепления подвесок на транспортных устройствах автоматов. Необходимо, чтобы при монтаже деталей с плоскими контактами на подвеске обеспечивалось полное прилегание их по всей поверхности. Размещать деталь на подвеске нужно так, чтобы плотность тока на выступах не была чрезмерно высокой, например, острые углы и ребра на покрываемых деталях не должны выступать в сторону анодов.

Материал для подвесок и других элементов технологической оснастки. Основное требование к материалу подвесок — высокая электропроводимость его и его оксидов. Этому требованию в наибольшей степени отвечает медь, для которой через проводник сечением 1 мм<sup>2</sup> можно пропускать ток 2,5 А. Помимо меди для изготовления подвесок применяются латунь, углеродистые стали, титановые и алюминиевые сплавы.

Раньше для изготовления контактов чаще всего использовали латунь. В современных конструкциях латунь заменяют пружинящими стальными проводниками. Достоинством стального проводника является его высокая прочность, в отличие от латуни, которая при частой деформации разрушается. Но неизолированный стальной контакт неизбежно становится источником загрязнения электролита.

Стержень подвески должен изготовляться преимущественно из медного или латунного плоского, круглого или четырехгранного материала в тех случаях, когда плотность тока высока. Основные материалы, используемые для технологической оснастки, приведены в табл. 3.

3. Материалы, применяемые для изготовления элементов технологической оснастки (по ГОСТ 2 ПОВ-1-74)

Элементы технологической оснастки	Материал элементов технологической оснастки
Основания подвесочных устройств: для различных электролитических процессов (за исключением анодирования, электрополирования и хромирования) для хромирования	Углеродистая сталь, ГОСТ 380—71*
Подвесочные устройства для нанесения химических покрытий	Медь, ГОСТ 859—78*; углеродистая сталь, ГОСТ 380—71* Титан марки ВТ1-0
Корпусы для защипывания анодов, подвесочных устройств для электролитических покрытий и титановых анодных кернов	Коррозионно-стойкая сталь 12Х18Н10Т, ГОСТ 4633—72*, углеродистая сталь, ГОСТ 380—71* Медь, ГОСТ 859—78*
Пружинные контакты для всех процессов (кроме анодирования и электрополирования)	Коррозионно-стойкая сталь 12Х18Н10Т, ГОСТ 4633—72*
Непружинные контакты для всех процессов (кроме анодирования и электрополирования)	Углеродистая сталь, ГОСТ 380—71*
Анодные керны и контакты для процессов анодирования и электрополирования	Титан марки ВТ1-0

Изоляция подвесок. Все участки подвески, за исключением мест контакта, должны быть изолированы неэлектропроводящими материалами (резинами, полихлорвиниловым лаком, полиэтиленовой пленкой). Раньше для изоляции подвесок использовался лак. С появлением полимерных порошков горячей сушки для изоляции подвесок стали применять покрытия различными кислото- и теплостойкими пластмассами. Масса наносится на подвеску при повышенной температуре, затем обжигается при температуре до 200°С. Если обезжиривание производится в органических растворителях (в том числе в хлорированных углеводородах — трихлорэтилене), изоляционный материал должен быть устойчивым в этих средах. Один из недостатков изоляционных покрытий состоит в том, что со временем изоляция может отслаиваться возле мест контакта, и там образуется полость, благодаря которой электролиты из одной ванны могут переноситься в другую, загрязняя их. Так, например, электролит хромирования, попавшая в электролит никелирования, выведет из строя последний.

Изоляция подвесок приводит к экономии металла покрытия, уменьшению расхода электроэнергии, увеличению срока службы подвесок, созданию наиболее благоприятных условий для осаждения металла покрытия на поверхности детали.

Раньше наиболее доступным средством изоляции подвесок являлось обвязывание их лентами из тонкого пластика. Операция трудоемкая и недостаточно эффективная. В настоящее время для изоляции подвесок рекомендуется применять покрытие полимерными материалами. Нанесение изоляции включает следующие операции: обезжиривание, обдувку песком или дробью, грунтовку, обжиг грунта. Для изоляции подвесок применяют специальную пластмассу «Диплазоль-2А». На срок службы подвесок оказывает влияние способ удаления изоляции с мест контактирования. От изоляции должна освободиться минимально необходимая поверхность. С этой целью на провололочные контакты диаметром до 5 мм следует перед изоляцией насаживать латунные наконечники или изоляционные трубки. При удалении изоляции с мест контакта механическим способом при помощи клещей изоляция может отслаиваться в месте скрепления.

В процессе эксплуатации происходит нарушение изоляции в нижней части подвески (опора подвески), и там образуются наросты металла. Чтобы устранить этот недостаток, на опоре подвески целесообразно размещать пластмассовые втулки и изолировать их вместе с подвеской. Благодаря такой несложной операции основание подвесок становится способным

выдерживать удары без образования наростов металла.

Подвески для хромирования. Конструкция подвесок для хромирования сложнопрофилированных деталей должна компенсировать его высокую рассеивающую способность и обеспечить максимально возможную равномерность распределения тока на всех участках сложнопрофилированной детали. Подвески для хромирования имеют сложную конструкцию. Они состоят из элементов, осуществляющих контакт детали с катодной токоведущей штангой, внутренних анодов и дополнительных экранов, позволяющих избежать повышения плотности тока на выступающих частях детали. Внутренний анод обычно имеет форму, которая повторяет очертания внутренней поверхности детали, но имеет меньшие размеры с учетом свободного газоразделения.

Расстояние между деталью и внутренним анодом не обязательно должно быть одинаковым в любой точке выступающей поверхности. При небольшой продолжительности процесса можно применять в исключительных случаях вместо свинцовых анодов сталь, хотя это приводит к загрязнению электролита железом.

При конструировании подвесок для хромирования необходимо следить, чтобы не создавались препятствия на пути выделяющегося водорода. Все центрирующие втулки, шайбы должны быть перфорированы.

Чтобы получить равномерный слой хрома на всей поверхности, в конструкции подвески применяют экраны, являющиеся продолжением хромируемой поверхности детали, благодаря чему концентрацию силовых линий удается сместить с края детали на край кольца подвески.

Подробно об экранировании деталей сказано в гл. 7.

В связи с высокой плотностью тока при хромировании следует тщательно рассчитывать поперечное сечение всех токоведущих деталей подвесок, чтобы в процессе электролиза не происходило нагрева контактов или подвески.

Для проводников из разных металлов можно допустить следующую плотность тока (А/мм<sup>2</sup>): медь — 2,5, алюминий — 1,8, латунь — 0,9, никель — 0,4, железо — 0,4. Для

экранирования острых кромок и углов в конструкции приспособления необходимо предусматривать экраны из проводящих или непроводящих материалов, располагаая их по контуру. На расстоянии не более 15—20 мм. При хромировании пазы и отверстия закрывают пробками из свинца или других материалов.

Подвески для анодного оксидирования деталей из алюминиевых сплавов. Такие подвески рекомендуются изготавливать из алюминия. Крепление деталей должно быть жестким, чтобы на контактных поверхностях не могла образоваться окисная пленка. Требуемая жесткость достигается применением пружинных контактов. Так как при повторном монтаже деталей места контакта могут не совпадать, необходимо после каждой операции анодирования подвески травить в 3—5% о-м растворе NaOH при 50—60°С для удаления окисной пленки или зачищать места контакта. Однако это значительно сокращает срок службы подвески.

Титановые сплавы являются идеальным материалом для изготовления подвесок при анодном оксидировании. Этот материал имеет высокую коррозионную стойкость в растворах кислот H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>ClO<sub>4</sub>, благодаря чему подвески могут служить длительное время. Отпадает необходимость в травлении подвесок после каждой операции анодирования. Несмотря на высокую стоимость титана, затраты на изготовление подвесок из титановых сплавов быстро окупаются. В целях экономии можно использовать титан лишь для изготовления контактов, а все другие детали (рамы и поперечные траверсы) изготавливать из алюминия. Применение титановых подвесок исключает загрязнение электролита. Так как при анодировании на алюминии и титане образуется неэлектропроводящий слой оксида, подвески для анодного оксидирования не нуждаются в изоляции. Для изготовления подвесок из алюминия сплав должен быть той же или предпочтительно более высокой чистоты, чем металл детали. В противном случае ток будет перераспределяться между обрабатываемыми деталями и элементами подвесок, и на подвесках он будет более высоким.

Обслуживание подвесок. В процессе эксплуатации подвески должны периодически осматриваться для выявления мест повреждения изоляции, наростов металла на контактных участках. Возможны механические повреждения — поломка крючков, пружинных устройств. Такие подвески должны своевременно направляться в ремонт. Изоляция должна периодически проверяться; если она повреждена, ее следует обновить и таким образом ликвидировать опасность загрязнения электролита.

Подвески, временно не применяющиеся, должны храниться на складе. Размещение их может быть различным, например, если подвески имеют пазы на ручке, их можно хранить в подвешенном состоянии. Возможно размещение подвесок на тележках для транспортировки, которые одновременно служат для хранения. При размещении подвесок на хранение расстояние между ними должно быть достаточным, чтобы исключить сцепление и сгибание контактов. Бережное хранение подвесок позволяет значительно продлить срок их службы.

Со временем на контактных поверхностях образуются наросты металла (дендриты), которые необходимо удалять. Это можно осуществить механическим способом, сбивая наросты, не имеющие прочного сцепления с подвеской. Подвески для цинкования легко очищаются в растворе 5—10 %-ной HCl. Другие металлы также целесообразно удалять с крючков химическим или электрохимическим способом, а не механически, поскольку при этом возможны неисправные деформации элементов подвески.

Дополнительные элементы технологической оснастки. Размеры титановых анодных корзин для типовых автоматических и механизированных линий и ванн ручного обслуживания должны соответствовать размерам указанным в табл. 4.

Крепление крючков к титановым анодным корзинам может осуществляться с помощью болтовых соединений. Места болтовых соединений должны быть на 80—100 мм выше уровня раствора в ваннах. В соответствии с ОСТ 2 П60-1—74 размер ячеек титановых анодных корзин должен находиться в диапазоне 4X4—6X6 мм. Площадь сечения крючков и толщина стенок титановых корзин должны рассчитываться из условия максимальных нагрузок по массе и току.

Применение титана для изготовления элементов технологической оснастки в гальванических ваннах даже в ряде электролитов хромирования (сульфатном, сульфатном с молибденовой кислотой и саморегулирующимся сульфатнокремнефтористоводородным) вполне оправдано. Обследование, например, титановых ванн хромирования, проработавших в течение 4—5 лет на различных предприятиях, показало, что они находятся в хорошем состоянии.

Титановые анодные корзины заполняют анодным материалом, удовлетворяющим определенным требованиям по чистоте (табл. 5). Попадание загрязнений в раствор (а затем в осадок) из анодов может быть предотвращено во многих случаях за счет усложнения схемы очистки растворов, обеспечивающей отделение примесей от электролитов.

## 5. Анодные материалы для основных гальванических операций

Операция	Анодный материал	Достижимая степень чистоты материала, %	Форма анодного материала: сособ получения	Вредные примеси в анодном материале
Цинкование	Zn	99,9	Шаровая; экструзионная, прокаткой	Cu, Cd, Pb, Sn
Кадмирование	Cd	99,9	Шаровая; литьем, прокаткой, экструзионная	Ag, As, Cu, Fe, Pb, Sb, Ti, Zn
Меднение	Cu	99,97	Шаровая; электролитический, прокаткой, экструзионная	Ag, Cd, Fe, Pb, S, Sn, Zn
Хромирование	Свинцовый сплав (%) с добавками: Sn (7 %); Pb 4; Ag 0,5; Sb 6 (не для фторидо-содержащих растворов)	99,92	Цилиндрическая плоская; прокаткой, экструзионная	Al, Cu, Cd, Zn
Никелирование	Ni	99,98 99,93	Плоская; электролитический литьем или прокаткой	Ag, Sn, Zn, Cd, Cu, Fe
Оловянирование	Sn	99,92	Плоская; литьем, прокаткой, экструзионная	Ag, As, Bi, Cd, Cu, Fe, Pb, S
Серебрение	Sn—Pb	99,93	Плоская; литьем, прокаткой, экструзионная	Sb, Ni, Zn, Bi, Fe, Mn, Se, S, Sn, Ti, Zn
	Ag	99,95		

## УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОДВЕСОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Распределение тока на электродах в гальванической ванне зависит не только от электрохимических характеристик электролита, но и от геометрии ванны, что, естественно, должно учитываться при проектировании подвесочных устройств.

В практике проектирования подвесочных устройств выработки рекомендации по размещению деталей. Например, для плоских рядом расположенных деталей расстояния принимают наибольшими: 15—30 мм. При однорядном размещении цилиндрических деталей на подвесках для декоративного хромирования их располагают на расстоянии 1—2 диаметров, а для твердого хромирования — 2—3 диаметров. Для электролитов с иной рассеивающей способностью эти расстояния могут быть другими. Приведенные данные носят ориенти-

ровочный характер и не позволяют выбрать оптимальную геометрию ванны. Поэтому необходимо использовать более надежные способы выбора размещения деталей на подвеске и решать вопросы, связанные с распределением тока на покрываемой поверхности. Надежным методом экспериментального подбора является моделирование и расчет всех параметров ванн.

Нормативной базой для учета геометрии ванны являются стандарты, определяющие размеры ванн и подвесок, а учет электрохимических свойств электролитов может проводиться на основе экспериментальных справочных данных по поляризационным и кондуктометрическим измерениям.

При определении геометрии многопозиционных ванн кареточных оваловых автоматических линий, влияющей на распределение тока на деталях, приняты следующие нормы: расстояние между соседними подвесками 100 мм, расстояние от края подвески до борта ванны 80 мм; для ванн автооператорных линий расстояние от края подвески до горловой стенки ванны не менее 100 мм.

4. Внутренние размеры (мм) титановых анодных корзин (по ОСТ 2 П60-1—74) для различных видов ванн

Тип ванны	Длина	Ширина	Высота
Для автоматических и автооператорных линий (глубина 1500 мм)	200	55	1200
Для автооператорных и механизированных линий (глубина 1200 мм)	200	55	900
Ручного обслуживания (глубина 1000 мм)	150	55	700
Ручного обслуживания (глубина 800 мм)	150	55	500

В тех случаях, когда размеры ванн не позволяют получить удовлетворительные результаты по распределению тока на покрываемых деталях, они могут быть изменены. Расстояние между центрами анодных штанг

$$B = 0,5 (Ж + 2И + З), \quad (1)$$

где Ж — максимальный размер подвесок с деталями по ширине ванны; И — расстояние между анодом и ближайшим краем детали; З — ширина анодной корзины. Расстояние И зависит от рассеивающей способности электролитов: для электролитов с высокой рассеивающей способностью эта величина уменьшается.

В вертикальном сечении размеры моделируемой гальванической ванны определяются ее глубиной и высотой подвески и анодных корзины. В этом сечении размеры ванн и подвесок также могут отличаться от данных, приведенных в гл. 19, если размеры покрываемых деталей превышают установленные нормы. Однако для подвесок кареточных автоматических линий не рекомендуется высота более 1600—1800 мм. Для определения глубины ванны используют следующие нормы:

расстояние от нижнего края подвески до дна ванны 200 мм; толщина слоя электролита над верхним краем подвески 50 мм; расстояние от зеркала электролита до края ванны 150 мм. Эти нормы относятся к ваннам средних размеров.

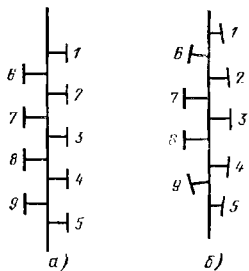


Рис. 4. Схема горизонтального сечения подвески для медь-никель-хромового покрытия накладки капота легкового автомобиля: а — плоскопараллельное, б — эллипсoidalное размещение деталей; 1—9 — номера позиций на подвеске

Анализ экспериментальных данных при выборе вариантов подвесочных устройств. Исследования проводят с использованием подвесочных устройств, подлежащих сравнению, непосредственно в раб тающих гальванических ваннах. На основе ана и в результате измерений толщины покрытий на деталях, полученных с использованием сравниваемых вариантов, делают заключение относительно их преимуществ и недостатков.

Пример. Опытные работы проводили на автоматической линии мостового типа, предназначенной для нанесения медно-слоя многослойного покрытия медь—три-никель—хром. Для меди применялся кислый сульфатный электролит следующего состава (г/л):

СuSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O . . . . . 200—250  
 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> . . . . . 50—60  
 Блескообразователь  
 УВАК № 1 . . . . . 4—6 мл/л  
 Режим осаждения:  $i_{ср} = 1,3 \pm 1,0$  А/дм<sup>2</sup>;  $t = 18 \pm 20^\circ\text{C}$ ; объем ванны 70 м<sup>3</sup>.

Измерения толщины покрытий осуществляли неразрушающим методом (использовали прибор электромагнитной системы с погрешностью 1,25%) в определенных точках поверхности детали. Исследовали распределение тока на подвесках для электролитов трех типов: бампер, накладка капота, колпак колеса.

Используемая ванна меднения — многопозиционная, поэтому возможны в разных позициях чередования подвесок разной длины для бамперов (710—800 мм) с подвесками для накладок капота или колесных колпаков. Поэтому анализ распределения тока на деталях должен выявить допустимые и недопустимые сочетания подвесок на разных позициях гальванической ванны.

Полученные экспериментальные данные показали, что распределение тока на подвеске для бамперов равномернее, чем на подвеске с накладками капота, поскольку в этом случае имеет место неблагоприятное сочетание высоты рабочей части катодной подвески и высоты анодной корзины.

Проведенные опытные работы показали, что можно улучшить распределение тока на подвеске с накладками капота (горизонтальное сечение) путем изменения положения деталей на ней (табл. 6, 7). Переход к эллипсoidalному размещению деталей на подвеске (рис. 4) позволяет улучшить распределение тока и при меднении колесного колпака. Из полученных данных следует также, что общий ток на подвеску с деталями зависит от соотношения рабочих поверхностей деталей, находящихся на соседних подвесках. Например, если оказывается на соседних позициях ванны подвески с бамперами (175 дм<sup>2</sup>) и накладками (153 дм<sup>2</sup>), ток на подвеске с бамперами возрастает по сравнению со случаем, когда на соседних позициях одинаковые подвески.

6. Распределение тока (А) на подвеске с плоским размещением покрываемых деталей

Позиция детали на подвеске	Точка контроля толщины медного покрытия на детали														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	43	40	41	31	27	25	32	26	23	35	27	21	75	65	65
2	42	38	39	25	22	25	25	23	26	26	25	30	54	36	62
3	39	38	10	22	22	23	23	23	23	26	25	26	56	54	56
4	39	40	15	23	22	28	22	22	28	24	24	29	60	55	59
5	39	42	47	26	28	32	24	25	29	29	30	31	61	64	70
6	44	40	40	30	28	32	31	25	24	34	28	28	70	64	65
7	38	37	41	23	22	22	22	22	23	23	23	25	56	56	54
8	38	38	40	24	22	22	22	22	23	23	23	25	57	56	56
9	19	1	11	26	27	30	34	35	31	25	27	34	63	61	70

7. Распределение тока (А) на подвеске с эллипсoidalным размещением покрываемых деталей

Позиция детали на подвеске	Точка контроля толщины медного покрытия на детали														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	44	41	42	33	32	33	31	29	30	34	34	33	55	55	53
2	42	41	42	32	31	33	29	29	30	33	34	34	52	52	53
3	41	41	42	30	29	34	28	27	29	32	32	33	51	51	52
4	42	42	40	32	30	34	28	28	28	34	33	33	52	52	52
5	42	42	41	31	31	32	29	29	28	32	31	32	53	54	54
6	43	42	42	34	33	33	29	28	29	36	35	35	57	55	54
7	43	42	42	34	33	33	29	27	28	33	32	31	55	55	54
8	41	41	41	31	30	30	27	27	28	32	32	32	54	53	54
9	19	41	42	31	32	33	28	29	29	33	34	35	53	55	57

Стандартные геометрические соотношения в ваннах гальванопокрытий. При анализе влияния электрохимических факторов на распределение тока на подвесках на основе ОСТ 2 П60-1—74 целесообразно рассмотреть следующие варианты сочетаний размеров ванны (глубина), подвески (высота и ширина) и анодных корзины (высота) (табл. 8).

8. Варианты сочетаний размеров в вертикальном сечении гальванических ванн

Тип геометрии ванны	Размеры ванны, мм		Размеры подвески, мм		Высота анодных корзин, мм
	Глубина	Межанодное расстояние	Высота	Ширина	
1	1500	600	1100	200	1200
2	1500	450	1100	1	1200
3	1200	600	800	1	900
4	1200	450	800	1	900

9. Варианты сочетаний размеров в горизонтальном сечении гальванических ванн (по ОСТ 2 П60-1—74)

Тип геометрии ванны	Размеры элементов (рис. 5)				
	В	В	Ж	З	Д
1	600	600	150	55	200
	900	600	250	55	200
4	600	450	150	55	200
	900	450	150	55	200
5	600	650	250	55	200
	900	600	250	55	200
6	1300	600	150	55	200
	400	450	150	55	200
7	600	650	250	55	200
	900	600	250	55	200
8	1300	450	150	55	200
	400	450	150	55	200

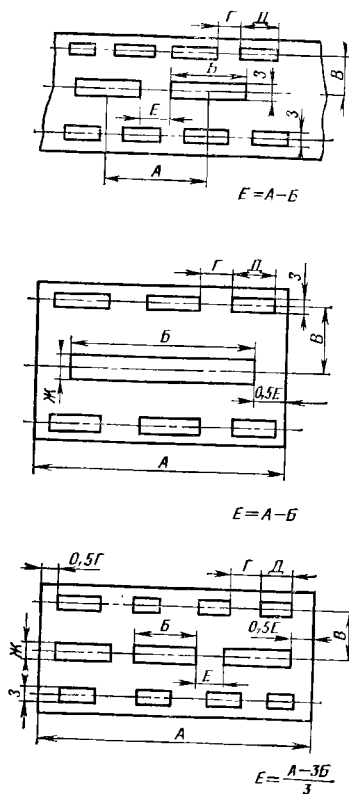


Рис. 5. Схемы горизонтального сечения гальванических ванн для определения ее геометрических параметров

деляются типом используемого оборудования. Для кареточных автоматических линий с многопозиционными ваннами характерным является соотношение длины подвески и шагового размера на линии; для автооператорных и механизированных линий — сочетание длины подвески и ширины ванны, а также расстояние между подвесками в случае погружения нескольких подвесок одновременно в ванну. Другие размеры, приведенные на схемах рис. 5, определяются следующим образом:

$A$  — из нормативных документов (или чертежа ванны) на оборудование, используемое в проектируемом технологическом процессе;

$G$  — по размеру  $A$  с учетом числа анодных корзин, располагаемых на этом расстоянии в одном ряду;

$E$  — по формулам, как показано на рис. 5.

Приведенные в табл. 8 и 9 сочетания размеров геометрических элементов ванны в вертикальных и горизонтальных сечениях не исчерпывают всех вариантов составаний, используемых в промышленности. Для нанесения покрытий на крупногабаритные детали используют ванны, размеры которых больше (по глубине и межаноодному расстоянию), чем стандартизованные размеры ванн; для покрытия деталей небольших размеров в приборостроении используют подвески меньших размеров, особенно в случаях покрытия драгоценными металлами.

Данные, аналогичные приведенным в табл. 8 и 9, необходимы при проведении расчетов подвески при выборе размеров модельных электролизеров для проведения экспериментальных исследований распределения тока и выборе расчетных областей, определяющих крайние условия на электродах, при решении задач распределения тока на электродах — деталях проектируемых подвесочных устройств.

Моделирование гальванической ванны при подборе геометрических параметров ванн в процессе проектирования подвесочных устройств (выборе положения деталей на подвеске, положения вспомогательных анодов, биполярных электродов, проводящих или непроводящих экранов), отвечающих максимальной равномерности распределения тока, может быть использован экспериментальный метод, основанный на зондировании электрического поля модельных электролизеров, воспроизводящих геометрические параметры, соответствующие горизонтальному и вертикальному сечению разрабатываемой гальванической ванны. Преимущество метода — использование прямоугольных модельных электролизеров небольших размеров: модели обычно воспроизводят небольшие участки сечений гальвани-

ческой ванны, в основном находящиеся между осью катода (подвески) и поверхностью анодной корзины, т. е. одна сторона прямоугольника модельного электролизера в соответствии с данными табл. 8 и 9 имеет длину около 300 мм, длина другой стороны определяется размерами покрываемых деталей и обычно составляет < 300 мм. Точные размеры электролизеров определяются размерами деталей и гальванической ванны, для которой проектируется подвеска. Наименьшими являются размеры модельного электролизера в том случае, если на подвеске детали размещаются в один ряд, а также в случае двухрядного симметричного расположения деталей относительно оси подвески. В этих случаях распределение тока на деталях определяется только полем анодов, расположенных с одной стороны от подвески. В случае несимметричного размещения деталей на подвеске необходимо учитывать поле анодов, находящихся с другой стороны подвески. Тогда размеры электролизера увеличиваются до межаноодного расстояния.

Метод зондирования электрического поля ванны состоит в измерении потенциала в некоторых выбранных точках поля электролизера. Результаты измерения потенциала используют для построения карты эквипотенциальных линий поля, которая позволяет судить о степени равномерности распределения потенциала и тока по поверхности деталей. Построение карты эквипотенциальных линий можно ускорить, а подбор геометрических параметров ванны при проектировании подвески упростить, если использовать автоматизированное зондирование, обеспечивающее непосредственную регистрацию эквипотенциальных линий, соответствующих выбранным значениям потенциалов. В основе применения анализа карты эквипотенциальных линий электролизера для выбора оптимальных геометрических условий лежат: представление о том, что при эквидистантности ближайших к поверхности поляризованных электродов эквипотенциальных линий имеет место равномерное распределение потенциала и тока по поверхности электрода. Эти условия влб приближения к ним до-

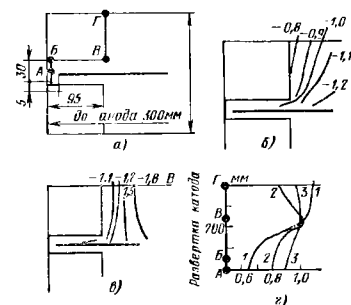


Рис. 6. Схема моделируемой ванны для подбора условий покрытия деталей:

$a$  — исследуемая деталь с большим углублением;  $б$  — карты эквипотенциальных линий при использовании дополнительного анода;  $в$  — карты эквипотенциальных линий при использовании биполярного электрода;  $г$  — распределение потенциалов по поверхности катода; 1 — без вспомогательных средств улучшения распределения тока; 2 — при применении дополнительного анода; 3 — при использовании биполярного электрода;  $A, B, G, D$  — исследуемые точки на поверхности детали

вольно быстро находят, если элементы, моделирующие покрываемые детали, дополнительные аноды, биполярные электроды и их экраны, можно перемещать в пространстве моделируемой ванны и для каждого нового положения регистрировать эквипотенциальные линии для нескольких значений потенциалов.

Ниже приведены примеры применения моделирования гальванической ванны при анализе влияния геометрических условий в ванне на распределение потенциала в поле электролизера.

Пример 1. Для детали с большим углублением (рис. 6) требуется подобрать размеры в ванне с межаноодным расстоянием 600 мм. При решении задачи с помощью специальной установки для автоматизированного зондирования электрического поля провели изучение электрических полей в модельной прямоугольной ванне, имеющей длину 300 и ширину 200 мм. Модельную ванну заполняли этилендиаминным электролитом медианы, опыты проводили при средней плотности тока 1 А/дм<sup>2</sup>. Подвижный электрод — зонд — каломельный электрод. Геометрические характеристики модельной ванны, карты эквипотенциальных линий, а также



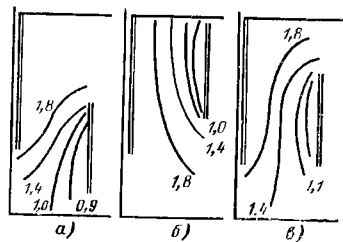


Рис. 7. Картины эквипотенциальных линий (по н. к. э.) в моделируемой ванне при изменении взаимного положения подвески и анодов (использовался эталонный электродит медицин)

распределение потенциала по профилю катода приведены на рис. 6. Из этих данных следует, что лучшей равномерностью распределения потенциала обеспечивается при использовании биполярного медного электрода. Применение дополнительного анода при выбранных размерах и размещении не приводит к равномерному распределению тока по поверхности детали, и у входа в углубление возможен пригар. Конструкция подвесочного устройства сложнее при применении дополнительного анода, так как при этом необходим анодный токопровод, а использование биполярного электрода связано только с фиксацией его на подвеске.

Пример 2. Требуется определить оптимальное расположение деталей на подвеске, которая может находиться в разных положениях по высоте ванны. На рис. 7 показаны картины эквипотенциальных линий в моделируемой ванне при трех вариантах расположения подвески относительно анода (вертикальное сечение ванны). В первом варианте (а) сильно нагружены токми детали верхних рядов подвески, во втором (б) — на нижних рядах детали плотность тока выше, в третьем (в) — взаимное расположение подвески и анода отвечает более равномерному распределению тока. Из рис. 7 видно, что лучшие условия покрытия отвечают такому расположению деталей на подвеске, которое определяется ближайшей эквипотенциальной линией, т. е. эллипсоидальная геометрия размещения деталей на подвеске отвечает равномерному распределению тока (см рис. 4).

Расчеты распределения тока на подвесках и деталях. Распределение тока на электродах рассчитывается на основе решения задачи о распределении потенциала  $E$  в поле ванны и на поверхности электродов. Оно определяется геометрическими размерами ванны и электродов (подвески, анодов, отдельных деталей) катодной и анод-

ной поляризационными кривыми, электропроводностью раствора и электрическим режимом работы гальванической ванны, который может быть задан клеммовым напряжением, общим током или средней плотностью тока. Для проведения расчетов используют математическую модель, включающую уравнение для потенциала в плоском поле ванны (2) и соответствующие граничные условия (3)–(5):

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} = 0; \quad (2)$$

$$E + \eta_k \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial E}{\partial n} \right) \Big|_{S_k} = U; \quad (3)$$

$$E + \eta_a \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial E}{\partial n} \right) \Big|_{S_a} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{\partial E}{\partial n} \Big|_{S_H} = 0, \quad (5)$$

где  $S_k$ ,  $S_a$  и  $S_H$  — соответственно площади поверхности катода, анода и изоляторов (зеркало электролита, стенки ванны);  $\eta_k$  и  $\eta_a$  — поляризации соответственно для катода и анода;  $\rho$  — удельное сопротивление электролита;  $U$  — клеммовое напряжение на ванне;  $x$ ,  $y$ ,  $n$  — линейные координаты.

Числовые расчеты распределения потенциала и на этой основе распределения тока по поверхности катода (подвески или отдельной детали) проводят на ЭВМ с использованием соответствующих программ. Исходные данные для расчета формируют с учетом геометрических параметров, определяемых на основе данных на с. 177, и чертежных размеров покрываемой детали. Кроме того, используют экспериментальные или справочные электрохимические характеристики электролита (поляризационные кривые, удельное сопротивление с учетом температуры, перемешивания и др.). Точность проводимых расчетов зависит от точности исходных данных и метода решения задачи, лежащего в основе используемой программы.

## СХЕМА РАСЧЕТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОДВЕСОЧНОГО УСТРОЙСТВА

Схема расчета при проектировании подвесочного устройства состоит из следующих этапов:

изучение исходных данных (требования чертежа к качеству покрытия, свойства электролита, размеры ванны);

определение типа подвески (индивидуальная, групповая, на одно изделие или несколько, стержневая, рамная или комбинированная);

расчет числа одновременно обрабатываемых деталей на подвеске из условия максимальной загрузки (при однорядной или двухрядной схеме размещения деталей на подвеске);

расчет общего тока и общей массы подвески с деталями при максимальной загрузке подвески; проверка ограничений по току, по массе, по прочности элементов подвески;

определение распределения тока по поверхности деталей на разных участках подвески (на ЭВМ или с помощью

моделирования с использованием моделей сечений ванны с проектируемым подвесочным устройством);

проверка соответствия распределения тока требованиям чертежа и ГОСТ 9.302—79\*;

определение распределения тока на деталях для других вариантов расположения деталей на подвесочном устройстве; выбирается вариант, отвечающий максимальной загрузке подвески деталями и удовлетворяющий одновременно требованиям чертежа и ГОСТ 9.302—79\*;

проверка влияния элементов подвески на распределение тока;

расчет распределения металла, продолжительности электролиза, продолжительности процесса и себестоимости операции.

Приведенная схема расчета может быть использована при разработке алгоритмов автоматизированного проектирования технологической оснастки для гальванических ванн, удовлетворяющей требованиям гибких автоматизированных производств гальванических покрытий.

## ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Общие сведения. Основными элементами электрооборудования гальванических цехов являются источники питания, токопроводы, коммутационная аппаратура и т. п.

Для питания гальванических ванн используется постоянный ток, получаемый от источников питания — полупроводниковых выпрямителей и в отдельных случаях — от электромашинных генераторов. От технического уровня источников питания зависит эффективность технологического процесса: качество гальванопокрытий, производительность, экономические показатели. В соответствии с возрастающими требованиями к качеству гальванопокрытий повышаются требования к источникам питания ванн.

В зависимости от назначения и мощности применяемого оборудования в гальванотехнике используются различные схемы выпрямления: однофазные, многофазные (в основном 3- и 6-фазные); нереверсивные, реверсивные и т. п.

Однофазные выпрямители предназначены для питания маломощных (в основном лабораторных) потребителей.

Многофазные выпрямители имеют ряд преимуществ перед однофазными: лучшие удельные технико-экономические показатели; симметричную нагрузку всех трех фаз питающей сети; меньшие пульсации выпрямленного тока и т. п. Эти достоинства и определили широкое применение многофазных выпрямителей в гальванических цехах.

Основным источником питания гальванических ванн как потребителей постоянного тока являются полупроводниковые выпрямители, выполненные на тиристорах или на кремниевых диодах. Технико-экономические показатели таких выпрямителей

в значительной мере зависят от схемы выпрямления. В частности, от типа применяемой схемы выпрямления зависят количество вентиляторов в преобразователе и их параметры; мощность трансформатора; габариты и масса преобразователя; площадь пола, занимаемая преобразователем; капитальные затраты и эксплуатационные расходы; качество выпрямленного тока (форма тока, уровень высших гармоник в кривой выпрямленного тока); энергетические показатели преобразователя (КПД, коэффициент мощности); уровень высших гармоник, генерируемых преобразователем в сеть переменного тока, и т. п. В свою очередь, форма выходного тока выпрямителя влияет на качество некоторых гальванопокрытий, что также следует учитывать при выборе схемы выпрямления.

Пульсации выпрямленного тока. Одновременно с переходом на полупроводниковые выпрямители встал вопрос о пульсациях выпрямленного тока. Объясняется это тем, что электромашинные генераторы вырабатывали постоянный ток, практически не имеющий пульсаций. Выпрямители же вырабатывают ток пульсирующий, причем величина пульсации сильно зависит от схемы выпрямления и режима работы преобразователя. Пульсации для многих гальванических процессов вредны. Между величиной пульсаций тока и качеством гальванических покрытий имеется прямая взаимосвязь: например, при хромировании пульсации заметно снижают блеск, твердость и износостойкость покрытий. В некоторых случаях пульсации дают и положительные результаты. Установлено, что можно получать многослойные хромовые покрытия, изменяя величину пульсаций во время процесса: вначале вести осаждение покрытия при больших пульсациях выпрямленного тока (этим обеспечивается осаждение молочного

хрома, имеющего высокую герметичность), а на последней стадии снизить пульсации до минимума, вследствие чего покрытие будет твердым и блестящим. Есть и другие области полезного применения тока с большими пульсациями: окрашивание окисных пленок алюминия, оксидирование меди, анодирование металлов, рафинирование золота, обезжиривание и т. п.

Сглаживающие фильтры. Основными негативными последствиями пульсаций выпрямленного тока являются: снижение твердости покрытия, его износостойкости и блеска, снижение скорости осаждения. Ухудшение в недопустимых пределах этих качеств покрытия приводит либо к браку продукции, либо требует дополнительных трудозатрат и дорогостоящих операций по устранению дефектов, например полирования.

Допустимое значение коэффициента пульсаций  $k_n$  определяется требованиями, предъявляемыми к физико-механическим свойствам покрытия, которые, в свою очередь, определяют его назначение (либо защитное, либо декоративное, либо работающее на износ и т. п.).

Особенно заметно влияние пульсаций тока на качество хромовых покрытий. Установлено, что заметное снижение блеска хромового покрытия начинается при  $k_n = 20 \div 25\%$ . При  $k_n = 40\%$  покрытие становится матовым, а затем матово-серым. Твердость покрытия начинает снижаться при  $k_n = 20 \div 25\%$ . С учетом этих данных допустимым для хромовых покрытий является коэффициент пульсаций  $k_n = 20\%$ .

Для сглаживания пульсаций выпрямленного тока до уровня, допустимого по условиям эксплуатации, применяются сглаживающие фильтры.

Основные требования, предъявляемые к сглаживающему фильтру, следующие: фильтр не должен существенно изменять режим работы самого выпрямителя; фильтр должен обеспечивать заданную степень сглаживания тока на узком во всех оговоренных режимах работы выпрямителя. Кроме того, к фильтру предъявляются технико-экономические требования (к массе, габаритам, стоимости, КПД и т. п.).

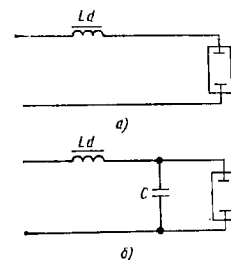


Рис. 1. Электрические индуктивные фильтры:  
а — простейшие; б — Г-образные;  $L_d$  — дроссель;  $C$  — конденсатор

Наиболее широко в гальванотехнике применяются простейшие индуктивные (рис. 1, а) и Г-образные (рис. 1, б) фильтры.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ  
ИСТОЧНИКОВ ТОКА

В схемах источников питания гальванических ванн нашли применение следующие варианты регулирования выходных параметров (тока, напряжения): изменение коэффициента трансформации питающего трансформатора или автотрансформатора путем подключения различного числа витков; переключение первичной обмотки трансформатора с треугольника на звезду и обратно; включение последовательно с выпрямителем дросселя насыщения; использование выпрямителей на тиристорах; комбинирование перечисленных выше вариантов.

Регулируемые трансформаторы. При переключении первичной обмотки трансформатора со звезды на треугольник и обратно напряжение на выпрямителе изменяется в 1,73 раза. Такой метод регулирования является грубым, ступенчатым; он применяется лишь в сочетании с другими методами, обеспечивающими более плавное регулирование напряжения.

Достаточно плавное регулирование напряжения на выпрямителе осуществляется изменением коэффициента трансформации путем подключения

различного числа витков первичной обмотки трансформатора.

Коэффициент трансформации равен отношению чисел витков первичной  $W_1$  и вторичной  $W_2$  обмоток  $K_{тр} = W_1/W_2$ .

Вторичное напряжение трансформатора, а следовательно, и напряжение, подводимое к выпрямителю,  $U_2 = U_1/K_{тр}$ .

Изменяя число витков первичной обмотки трансформатора, можно регулировать выходное напряжение выпрямителя. Регулирование напряжения переключением обмотки со звезды на треугольник обычно применяется совместно с подключением различного числа витков, чем достигается относительно высокая плавность регулирования.

Недостатками этого метода являются ступенчатость в регулировании, наличие контактов, снижающих надежность установки и требующих систематического ухода, сложность автоматизации процесса.

Дроссели насыщения. Их недостатком являются большие габариты, масса и инерционность. Отечественной промышленностью серийно выпускался преобразователь типа ВАКГ с дросселем насыщения для питания гальванических ванн.

### РЕВЕРСИРОВАНИЕ ТОКА В ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ВАННЕ

Одним из эффективных способов интенсификации гальванических процессов с одновременным улучшением качества гальванических покрытий является автоматическое реверсирование тока в ванне.

Осаждение металлов может осуществляться при более высокой рабочей плотности тока по сравнению с покрытием на токе одного направления. Это

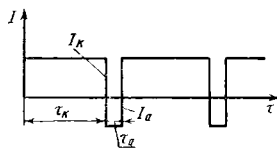


Рис. 2. График реверсивного тока:  $I_a, I_k$  соответственно анодный и катодный токи

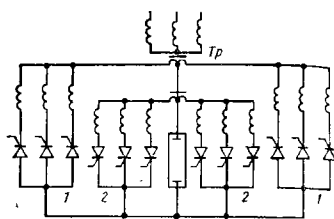


Рис. 3. Реверсивная схема на тиристорах с встречным включением схем выпрямления

обусловлено прежде всего регулярным выравниванием концентрации катионов в прикатодном слое и во всем объеме электролита в период анодной полярности покрытия, чему также способствует анодное растворение покрытия.

Таким образом, при реверсировании тока достигается повышение скорости осаждения металла и выхода по току, улучшение равномерности его распределения, уменьшение пористости, увеличение адгезии, снижение внутренних напряжений, наводороживания основы, повышение твердости. Осаждающиеся при этом кристаллы имеют более правильную геометрическую форму, а покрытия — мелкокристаллическую.

Периодичность перемены полярности реверсивного тока составляет 5—10 раз в минуту, причем длительность катодного периода  $T_k$  по отношению к анодному  $T_a$  составляет для различных видов покрытий от 5:1 до 10:1 (рис. 2).

В отечественных выпрямительных агрегатах реверс тока в ванне осуществляется с одновременным регулированием времени прохождения тока прямой и обратной полярности. Схема реверса тока выполняется обычно на логических элементах. Автоматическая смена полярности осуществляется по заданной программе, которая может перестраиваться.

На рис. 3 представлена реверсивная схема на тиристорах с встречным включением схем выпрямления. Прямой ток на ванну подается вентилями, входящими в выпрямитель 1, а обратный — вентилями выпрямителя 2.

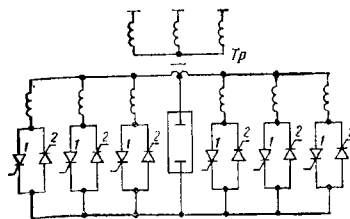


Рис. 4. Схема реверсивного преобразователя с встречно-параллельным включением тиристоров во вторичной цепи

При работе одного выпрямителя другой находится в запертом состоянии. Ввиду большой типовой мощности вторичных обмоток трансформатора  $Tr$  эта схема применяется сравнительно редко.

На рис. 4 представлена схема реверсивного преобразователя со встречно-параллельным включением тиристоров во вторичной цепи. Встречно-параллельно включенные тиристоры образуют два выпрямителя. В одной из них входят вентили 1, а во второй — вентили 2. Отключение неработающего выпрямителя осуществляется снятием отрицательных импульсов со всех управляющих электродов.

### ИСТОЧНИКИ ТОКА СПЕЦИАЛЬНОЙ ФОРМЫ

Сглаженный ток дают также источники питания, как электромашинные генераторы, а также многофазные выпрямители, снабженные фильтрами.

Значительный эффект в ряде технологических процессов дает использование источников, позволяющих получать ток различных форм: прерывистый (рис. 5, а); импульсный (рис. 5, б), характеризующийся сравнительно малым и коротким временем импульса  $t_{им}$  при большой его амплитуде  $I_{им}$ ; реверсивный (рис. 5, в), характеризуемый наличием сравнительно короткого интервала  $t_0$  обратного тока; асимметричный (рис. 5, г), получаемый с помощью специальной схемы питания ванны, которая обеспечивает различие амплитуды прямого и обратного токов.

Используются также пульсирующие токи (рис. 5, к).

7 П р М. А. Шлугера, т.

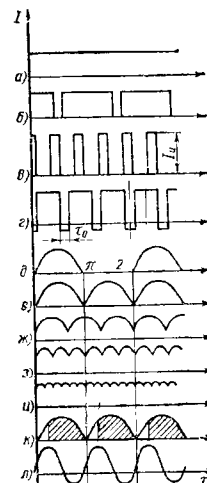


Рис. 5. Формы токов, используемые для питания гальванических ванн: а — непрерывный сглаженный; б — прерывистый; в — реверсивный; г — однополупериодный; е — двухполупериодный; ж — трехполупериодный; з — шестиполупериодный; и — двенадцати-полупериодный; к — двухполупериодный с отсечкой; л — асимметричный

Применение для питания гальванических ванн токов специальной формы повышает эффективность процесса, поскольку позволяет в зависимости от вида гальванопокрытия значительно увеличить скорость электроосаждения, производительность процесса, получать покрытия с заданными физико-механическими свойствами, получать многослойные покрытия и т. п.

Для замера коэффициента пульсации и пользуеться схема, приведенная на рис. 6. Вольтметр  $V_2$  электромаг-

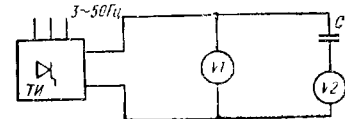


Рис. 6. Схема измерения коэффициента пульсации:

ТП — тиристорный преобразователь,  $V_1, V_2$  — вольтметры,  $C$  — конденсатор

нитной системы включен в цепь выпрямленного тока через конденсатор  $C$ . Вольтметр показывает действующее значение переменной составляющей выпрямленного напряжения ( $U_d$ ). Вольтметр  $VI$  магнитоэлектрической системы показывает среднее значение выпрямленного напряжения  $U_d$ . Подставив измеренные значения  $U_{\sim}$  и  $U_d$  в формулу  $k_{\text{п}} = U_{\sim} / U_d$ , легко подсчитать величину  $k_{\text{п}}$ .

### ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ НА КРЕМНИЕВЫХ И СЕЛЕНОВЫХ ВЕНТИЛЯХ

Во многих гальванических цехах эксплуатируются селеновые выпрямители типа ВАС, ВАСР на номинальное напряжение 6—24 В и силу тока до 5000 А с воздушным и масляным охлаждением. Недостаток их — отсутствие плавного регулирования напряжения и плотности тока.

Выпрямительные агрегаты типа ВАКГ с кремниевыми вентилями являются преобразователями с дроссельным регулированием. В преобразова-

телях этого типа дроссель насыщается ДН включается послеовательно с силовым трансформатором. Технические характеристики агрегатов типа ВАКГ приведены в табл. 1. По сравнению с тиристорными агрегатами серии ВАКР имеют большие габариты, массу; они хуже регулируются.

Агрегаты серий ВАК и ВАКР на тиристорах. Агрегаты выпрямительные на тиристорах серии ВАК и ВАКР предназначены для питания электролитических ванн гальванических цехов, оборудования электрохимической обработки металлов и др.

Агрегаты применяются для преобразования трехфазного переменного синусоидального тока частоты 50 Гц в постоянный.

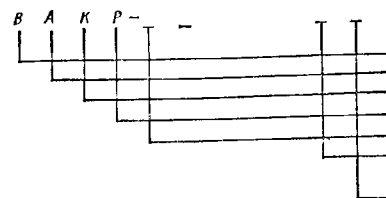
Агрегаты имеют ручное плавное регулирование выпрямленного напряжения; автоматическую стабилизацию выпрямленного напряжения; автоматическую стабилизацию плотности тока (точность стабилизации параметров  $\pm 10\%$  от установленного значения).

1. Технические характеристики выпрямительных агрегатов серии ВАКГ с дросселями насыщения

Обозначение агрегата	Питающая сеть			Режим работы*	Выходная мощность, кВт	Выпрямленное напряжение, В	
	Напряжение, В	Частота, Гц	Число фаз			минимальное	номинальное
ВАКГ-18/9-320У4	380	50	3	1	7	10	18
							9
ВАКГ-12 6-63У4	380	50	3	1	7,6	8	12
							6
ВАКГ-12 6-1600У4	380	50	3	1	1		12
							6
ВАКГ-12 6-3200У4	380	50	3	2		8	12
						19,2	6

\* Агрегаты имеют два режима работы.

Типовое обозначение агрегатов расшифровывается следующим образом:



Максимальное выпрямленное напряжение на выходных зажимах составляет  $1,1 U_{\text{п}}$  при номинальной нагрузке.

Выпрямительный агрегат на кремниевых вентилях реверсивный номинальный выпрямленный ток, А номинальное выпрямленное напряжение, В климатическое исполнение и категория размещения (аттестация) в каталог помещено в условия меренго климата)

Агрегаты выпускаются в соответствии с ТУ 16 529.403—71.

Агрегаты серии ВАК и ВАКР изготавлиются 24 типов, на напряжение 6, 12, 18, 24 В и номинальный ток 100, 320, 630, 1600, 3200, 6300, 12 500, 25 000 А. Технические характеристики агрегатов приведены в табл. 2.

Агрегаты на напряжение 380 В мощностью до 75 кВт могут поставаться и на напряжение 220 В трехфазного тока по специальному требованию заказчика.

Реверсивные агрегаты серии ВАКР, кроме того, могут работать в следующих режимах; автоматическое ревер-

иния

Выпрямленный ток, А	КПД,	Коэффициент во-ности	Вид охлаждения	Расход, м <sup>3</sup> /ч		Габаритные размеры агрегата, м			Масса, кг
				воздуха	воды	Высота	Ширина	Глубина	
80	78	0,84	Воздушное и водяное	2000	—	1,55	,744	0,49	300
158	82	0,77	То же	2000	—	1,55	,744	0,496	650
400	82	0,75	Воздушное и водяное	2000	От 0,4 до 0,2	1,667	0,8	0,842	850
800	80	0,8	Воздушное и водяное	2000	От 0,18 до 0,72	1,667	0,8	0,842	850

2. Технические характеристики выпрямительных агрегатов селен ВАР и ВАК

Тип агрегата	Режим работы	Напряжения питающей сети, В	Число фаз питающей сети	Число фаз нагрузки	Фактора питающей сети, %	Номинальный выпрямленный ток, А	Номинальное выпрямленное напряжение, В	Порядочная мощность, кВт, А	Номинальная мощность на выходе, кВт	Диаметр уставки стабилизированного выпрямленного тока, А	Диапазон уставок стабилизированного выпрямленного напряжения, %	Точность стабилизации выпрямленного тока и напряжения, %	Точность стабилизации выпрямленного тока, %	Диапазон регулирования выпрямленного напряжения, В
ВАК-100-12У4	1	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	100	12	1,8 1,0	1,2 0,6	10—100	6—12 3—6	$\pm$ 10	$\pm$ 10	0—12 0—6
	2	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	100	12	1,8 1,0	1,2 0,6	10—100	6—12 3—6	$\pm$ 10	$\pm$ 10	0—12 0—6
	3	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	100	24	3,6 2,0	2,4 1,2	10—100	12—24 3—12	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—24 0—12
ВАКР-320-18У4	1	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	320	16 9	8,9 4,9	5,76 2,88	32—320	6—18 2—9	$\pm$ 10	$\pm$ 10	Ручное регулирование отсутствующее
	2	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	630	12 6	12,1 7,6	7,56 3,78	63—630	6—12 3—6	$\pm$ 10	$\pm$ 10	То же
	3	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	630	24 12	19,8 11,2	15,12 7,56	63—630	12—24 3—12	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—24 0—12
ВАКР-630-24У4	1	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	630	24 12	19,8 11,2	15,12 7,56	63—630	12—24 3—12	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—24 0—12
	2	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	630	24 12	19,8 11,2	15,12 7,56	63—630	12—24 3—12	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—24 0—12
	3	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	630	24 12	19,8 11,2	15,12 7,56	63—630	12—24 3—12	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—24 0—12

Продолжение табл. 2

Тип агрегата	Режим работы	Напряжения питающей сети, В	Число фаз питающей сети	Число фаз нагрузки	Фактора питающей сети, %	Номинальный ток, А	Номинальное выпрямленное напряжение, В	Порядочная мощность, кВт, А	Номинальная мощность на выходе, кВт	Диаметр уставки стабилизированного выпрямленного тока, А	Диапазон уставок стабилизированного выпрямленного напряжения, %	Точность стабилизации выпрямленного тока и напряжения, %	Точность стабилизации выпрямленного тока, %	Диапазон регулирования выпрямленного напряжения, В
ВАК-630-48У4	1	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	70	630	48 24	38,4 19,6	30,24 15,12	63—630	24—48 3—24	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—48 0—24
	2	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	70	630	48 24	38,4 19,6	30,24 15,12	63—630	24—48 3—24	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—48 0—24
ВАК-1600-12У4	1	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	1600	12	96 14,5	19,2 9,6	160—1600	6—12 3—6	$\pm$ 10	$\pm$ 10	0—12 0—6
	2	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	1600	12	96 14,5	19,2 9,6	160—1600	6—12 3—6	$\pm$ 10	$\pm$ 10	0—12 0—6
ВАКР-1600-12У4	1	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	1600	12	26 14,7	19,2 9,6	160—1600	6—12 3—6	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—12 0—6
	2	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	1600	12	26 14,7	19,2 9,6	160—1600	6—12 3—6	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—12 0—6
ВАК-1600-24У4	1	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	1600	24	53,5 30	38,4 19,2	160—1600	12—24 3—12	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—24 0—12
	2	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	1600	24	53,5 30	38,4 19,2	160—1600	12—24 3—12	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—24 0—12
ВАКР-1600-24У4	1	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	1600	24	53,5 30	38,4 19,2	160—1600	12—24 3—12	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—24 0—12
	2	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	1600	24	53,5 30	38,4 19,2	160—1600	12—24 3—12	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—24 0—12
ВАК-1600-48У4	1	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	3200	12 6	52 36	38,4 19,2	320—3200	6—12 3—6	$\pm$ 10	$\pm$ 10	0—48 0—24
	2	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	3200	12 6	52 36	38,4 19,2	320—3200	6—12 3—6	$\pm$ 10	$\pm$ 10	0—48 0—24
ВАК-3200-12У4	1	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	3200	12	52 6	38,4 38	320—3200	6—12 3—6	$\pm$ 10	$\pm$ 10	0—12 0—6
	2	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	3200	12	52 6	38,4 38	320—3200	6—12 3—6	$\pm$ 10	$\pm$ 10	0—12 0—6
ВАКР-3200-12У4	1	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	3200	12	52 6	38,4 38	320—3200	6—12 3—6	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—24 0—12
	2	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	3200	12	52 6	38,4 38	320—3200	6—12 3—6	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—24 0—12
ВАК-3200-24У4	1	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	3200	24	102 55	76,8 38,4	320—3200	12—24 3—12	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—24 0—12
	2	380 $\pm$ 19 —38	3 с нулем	3	50	3200	24	102 55	76,8 38,4	320—3200	12—24 3—12	$\pm$ 5	$\pm$ 10	0—24 0—12

Продолжение табл. 2

Тип агрегата	Режим работы	Напряжение питания сети, В	Число фаз и проводов сети	Схема выпрямления	Тип тиристоров	Количество тиристоров, шт.	Охлаждение тиристоров	Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч	Тип преобразовательного трансформатора	Точность стабилизации выпрямленного тока и напряжения, %	Точность стабилизации мощности на выходе, кВт	Диапазон уставок стабилизированного выпрямленного напряжения, В	Диапазон уставок стабилизированного выпрямленного напряжения, В	Точность стабилизации мощности на выходе, кВт	Диапазон уставок стабилизированного выпрямленного тока, А	Диапазон уставок стабилизированного выпрямленного напряжения, В	Диапазон выпрямленного напряжения, В
ВАКР-3200-24У4	1	380 $\pm$ 10 —38	3 с нулем	50	3 200	4	102 55	76,8 38,4	320—3 200	±5	±10	12—24 3—12	0—24 0—12				
ВАКР-6300-12У4	2	380 $\pm$ 10 —38	3 с нулем	50	6 300	12	106,3 54	75,6 37,8	630—6 300	±5	±10	5—12 3—6	0—12 0—6				
ВАКР-6300-12У4	1	380 $\pm$ 10 —38	3 с нулем	50	6 300	12	106,3 54	75,6 37,8	630—6 300	±5	±10	5—12 3—6	0—12 0—6				
ВАКР-6300-24У4	2	380 $\pm$ 10 —38	3 с нулем	50	6 300	24	234 135	151,2 75,6	630—6 300	±5	±10	12—24 3—6	0—24 0—12				
ВАКР-12500-12У4	2	80 $\pm$ 10 —38	3 с нулем	50	12 500	12	230 117	150 75	1 250— 12 500	±5	±10	6—12 2—6	0—12 0—6				
ВАКР-12500-24У4	1	6 вкл 10 кВ ±5%	3	0	12 500	24	331 210	300 150	1 250— 12 500	±5	±10	12—24 6—12	0—24 0—12				
ВАКР-25000-24У4	2	6 вкл 10 кВ ±5%	3	50	25 000	24	840 410	600 300	2 500—25 000	±5	±10	12—24 6—12	0—24 0—12				
ВАКР-25000-48У4	2	6 вкл 10 кВ ±5%	3	50	25 000	48	1400 800	1200 600	2 500—25 000			24—4 12—24	0—4 0—4				

Продолжение табл. 2

Тип агрегата	Режим работы	Диапазон уставок времени протекания выпрямленного тока прямого направления, с	Диапазон уставок времени протекания выпрямленного тока обратного направления, с	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент полезности	Схема выпрямления	Тип тиристоров	Количество тиристоров, шт.	Охлаждение тиристоров	Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч	Тип преобразовательного трансформатора	Охлаждение преобразователя	Гарантийный срок
ВАКР-100-12У4	1	—	—	78 72	0,83 0,82	Трехфазная звезда с нулевым выводом	Т-160-1Б	3	Воздушное с естественной циркуляцией	—	—	Воздушное с естественной циркуляцией	Два года со дня пуска в эксплуатацию свыше 2,5 лет — в зависимости от грузки
ВАКР-100-12У4	1	240	0,1—60	78 72	0,83 0,8	То же	Т-160-1Б	6	То же	—	—	То же	То же
ВАКР-100-24У4	2	—	—	84 80	0,83 0,82	»	Т-160-1Б	3	»	—	—	»	»
ВАКР-320-18У4	1	24	0,1—6	79 72	0,8 0,82	Трехфазная звезда	Т-160-3Б-11	6	Воздушное принудительное	—	—	Воздушное принудительное	»
ВАКР-630-12У4	1	24	0,1—60	83 77	0,84	Звезда — обратная звезда с управлением реверсом	Т-160 3Б-11	12	То же	—	—	То же	»

Продолжение табл. 2

Тип агрегата	Режим работы	Диапазон УСТ во время протекания выпрямления тока при методе направленного тока	Диапазон УСТ во время обратного выпрямления тока	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент трансформации	Схема выпрямления	Тип тиристоров	Количество тиристоров, шт	Охлаждение тиристора	Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч	Тип преобразователя	Охлаждение и обратная связь	Гарантийный срок
ВАК-630-24У4	1	—	—	8	0,91	Звезда — облатная звезда с уравнительным реактором	Т-160-1-Б	12	Водяное	0,2	—	Воздушно-водяное с обратной связью	Два года со дня пуска в эксплуатацию свыше 3 лет со дня отгрузки
ВАКР-630-24У4	1	240	1—60	8	0,9	То же	Т-160-2Б	12	То же	0,2	—	То же	То же
ВАК 630-48У4	2	—	—	9	0,91		Т-160-2Б	6		0,2	—		
ВАК-1600-12У4	2	—	—	9	0,87		Т-160-3Б	18		0,48	—		
ВАКР-1600-1 У4	2	240	0,1—60	8	0,8		Т-160-3Б	36		0,48	—		
ВАК-1600-24У4	2	—	—	87	0,90		Т-160-2Б	18		0,3	—		
ВАКР-1600-24У4	2	240	0,1—60	87	0,91		Т-160-2Б	36		0,3	—		

Продолжение табл. 2

Тип агрегата	Режим работы	Диапазон УСТ во время протекания выпрямления тока при методе направленного тока	Диапазон УСТ во время обратного выпрямления тока	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент трансформации	Схема выпрямления	Тип тиристоров	Количество тиристоров, шт.	Охлаждение тиристора		Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч	Тип преобразователя	Охлаждение и обратная связь
									Водяное	То же			
ВАК-1600-48У4	1	—	—	8	0,91	Звезда — облатная звезда с уравнительным реактором	Т-160-2Б	18	Водяное	0,3	—	—	Воздушно-водяное с обратной связью
ВАК-3200-12У4	2	—	—			То же	Т-160-3Б	36	То же	0,96	—	—	То же
ВАКР-3200-12У4	1	240	0,1	71	0,92		Т-160-3Б	72		96	—	—	
ВАК 0-24У4				84			Т-160-Б	6		0,6	—	—	
ВАКР 0-24У4	1	240	0,1-6				Т-10-Б	72		0,6	—	—	
ВАК-6 1 У4	1			4	0		Т-1-Б	72		0,9	—	—	ТСЭПУ-25 0, Г
ВАКР-6300-12У4	1	240	0,1	4	0		Т-160-2Б	144		1,8	—	—	ТСЭПУ-2 0 0,7 Г

Тип агрегата	Режим работы	Диапазон уставок времени протекания прямого тока при отключении	Диапазон уставок времени протекания обратного тока при включении	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент мощности	Схема выпрямления	Тип тиристоров	Количество тиристоров, т	Охлаждение тиристоров	Расход охлаждающей воды, л/ч	Тип преобразователя	Охлаждение преобразователя	Параметры срок
ВАК-6300-24У4	1	—	—	88	0,89	Кольцевая звезда — обработка звезд с уравнительными реакторами	ТВ-500	12	Водяное	0,9	—	Воздушное естественное	То же
	2	—	—	78	0,86			144					
ВАК-12500-12У4	1	—	—	81	0,88	То же	Т-160-2Б	144	»	3,5	ТНПУ-1000/10Г	Солговое	»
	2	—	—	66	0,88			8					
ВАК-12500-24У4	1	—	—	88	0,87	»	ТВ-800У2-2Б	144	»	7,7	ТМПУ-2000/10Г	Масляное	»
	2	—	—	76	0,87			96					
ВАК-25000-24У4	1	—	—	88	0,9	»	ТВ-800У2-2Б	8	»	7,7	ТМПУ-2000/10Г	Масляное	»
	2	—	—	80	0,9			96					
ВАКР-25000-48У4	1	1—	—	90	0,9	»	ТВ-800У2-2Б	96	»	15,4	ТМПУ-4000/10Г	То же	»
	2	240	0,1—0,60	86	0,9			96					

Примечания. Агрегаты имеют два режима: режим 1 — соединение сетевой обмотки преобразовательного трансформатора звездой; режим 2 — соединение сетевой обмотки преобразовательного трансформатора треугольником.

рование выпрямленного тока; ручное реверсирование выпрямленного тока; длительная работа с любой полярностью выпрямленного тока.

Ориентировочный срок службы агрегатов 15—20 лет. Вероятность безотказной работы на протяжении 500 ч не ниже 0,75.

Агрегаты серий ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР и ТВИ с выключением напряжением 12—115 В и током 100—3150 А. В связи с возросшими требованиями к качеству гальванопокрытий и развитием новых комплектующих изделий (сильноточных тиристоров, микросхем и т. п.) была разработана новая серия преобразователей типов: ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР и ТВИ. В преобразователях новой серии существенно улучшены технические показатели — точность стабилизации плотности тока; снижены пульсации выпрямленного тока; предусмотрено дистанционное и программное управление выпрямителями.

Основные изменения в схемах выпрямителей новой серии следующие: перевод на новую элементную базу (интегральные схемы, операционные усилители, малогабаритные разъемы, печатный монтаж, резисторы и конденсаторы малых мощностей и габаритов и т. д.); применение сильноточных тиристоров с уменьшенными потерями (на низкомощном кремнии), что позволило повысить в большинстве агрегатов КПД на 1—1,5%, а также уменьшить габаритные размеры благодаря исключению параллельного включения тиристоров; расширение применения водяного охлаждения для трансформаторов и совмещение в одном каркасе выпрямительных блоков и преобразовательного трансформатора; унификация схемных и конструктивных решений агрегатов и их узлов.

Агрегаты серии ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР и ТВИ предназначены для питания гальванических ванн, станков электрохимической обработки металлов и других потребителей постоянного тока. Агрегаты рассчитаны на работу от сети трехфазного переменного тока напряжением 380 В и частотой 50 Гц (для внутрисоздных поставок). Агрегаты устанавливаются в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных помещениях.

Основные технические данные агрегата от основного исполнения приведены в табл. 3.

Агрегаты имеют три вида автоматической стабилизации: выпрямительных тока и напряжения, плотности тока.

Диапазон стабилизированного тока в 1 и 2 режимах при изменении диапазона напряжения на нагрузке 10—100%. Точность автоматической стабилизации, %: напряжения и тока  $\pm 3$ ; плотности тока  $\pm 6$ . Диапазон ручного регулирования тока и напряжения 10—100%.

Для наладочных работ в агрегатах предусмотрено ручное регулирование выпрямленного тока и напряжения от нуля до номинальных значений.

Агрегаты имеют защиту, воздействующую на отключение, со световой сигнализацией: от коротких замыканий постоянного, переменного и сверхтоков (более двойного номинального значения); от перегрузок по току при сверхтоках (1,1 номинального значения) с обратной зависимой токовой характеристикой; от перегрева силовых тиристоров.

Контроль температуры нагрева корпуса тиристоров осуществляют терморезисторы. При превышении допустимой температуры агрегат отключается от сети.

Реверсивные агрегаты по волютают получать постоянный ток с автоматической и ручной сменой его полярности. При автоматической смене полярности постоянного тока установки длительности составляют: 2—200 с прямого тока, 0,2—20 с обратного тока. Дискретность уставки для прямого тока 2 с, для обратного 0,2 с. В агрегатах предусмотрена разделяющая установка значений постоянных тока и напряжения каждого направления.

При необходимости реверсивный агрегат может длительно работать с током любой полярности, а также формировать импульсный однопольный (прямой) ток. При этом установка длительно прямого тока будет отвечать длительности импульса, а установка обратного тока — длительности паузы между импульсами.

Временное переключение прямого и обратного тока производится переключением реле, расположенными на блоке управления.



3. Основные технические данные тиристорных преобразователей серии ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР и ТВИ

Тип агрегата	Номинальный постоянный ток, А	Напряжение, В		КПД, %	Коэффициент мощности	Расход охлаждающей воды, м³/ч	Схема выпрямления	Тип тиристоров	Количество тиристоров, шт	Габаритные размеры
		номинальное	высокое							
ТЕ1-100 12Т-0	10	12	13	78	0,85	—	И	Т11-1		
ТЕ1-100 24Т-0	100	24	26,4	84	0,86	—				
Т10 12Т-0	400	12	13	82	0,92	—	УР	Т12-3,0	2	
ТЕ1-100 4Т-0	400	24	26,4	88	0,93	—				
ТЕ1-400 4Т-0	400	48	52,8	89	0,93	—				
ТЕ1-311 7Т-0	1	115	126,5	92	0,93	—				
ТЕ1-800 12Т-0	800	12	13,2	83	0,92	—	ЗМ	Т143-500		
ТЛ1-8 24Т-0	800	24	26,4	88	0,93	—				
ТВ1-800 Т-0	800	48	52,8	89	0,93	—				
ТВ1-1600 12Т-0	1600	12	13,2	83	0,92	0,1				
ТВ1-1600 24Т-0	1600	24	26,4	87	0,93	0,1				
ТВ1-101 4Т-0	150	12	13,2	83	0,92	0,2	6УР	Т171-320		1
ТВР1-100 12Т-0	100	12	13,2	78	0,85	—				
ТВР1-400 12Т-0	400	12	13,2	82	0,92	—				
ТВР1-800 12Т-0	800	12	13,2	83	0,92	—	3Н	Т123-320		
ТВ1-800 4Т-0	800	24	26,4	88	0,93	—				
ТВР1-100 12Т-0	1600	12	13,2	83	0,92	0,1				
ТВР1-100 24Т-0	1600	24	26,4	87	0,93	0,1				
ТВР1-3150 12Т-0	1	12	13,2	83	0,92	0,2	6УР	Т143-500	1	
ТВН1-1600 24Т-0	160	24	26,4	87	0,93	0,1				
ТВН1-101 1-0	10	1	1	3	0,92	0,2				

И — однофазная; Т — трехфазная; ЗМ — мостовая; УР — трехфазная; 3Н — трехфазная; 6УР — шестифазная; 1 — уравнительный реактор.

Импульсные агрегаты ТВИ обеспечивают выход как импульсного тока, так и непрерывного. Длительность импульса тока 0,01—0,1 с и пауза между ними 0,03—0,5 с. Импульсные агрегаты в зависимости от типа комплектуются дополнительными составными частями: пультом дистанционного управления (ПДУ), пультом программирования (ППУ), стабилизирующим реактором (СР). Состав агрегатов приведен в табл. 3.

ПДУ обеспечивает управление агрегатом дистанционно и осуществляет те же функции, что и аналогичный пульт управления агрегатами в составе агрегата, а также работу агрегатов по заданной программе.

Для управления агрегатом от внешних управляющих систем (например, АСУ ТП) предусмотрены специальные выходы. Размеры и масса агрегата габаритного размера 3 составляют 1740 × 1000 × 600 мм и 525 кг, габаритного размера 1 и 2 — 1740 × 1000 × 400 мм и 345 кг.

Конструкция выпрямительных агре-

гатов. Выпрямительные агрегаты серии ВАК и ВАКР представляют собой устройства, состоящие из следующих функциональных групп электрооборудования: аппаратов управления со стороны питающей сети; преобразовательного трансформатора с уравнительным реактором; блока тиристоров; систем управления, защиты и автоматики.

В зависимости от мощности агрегата комплектуются в одном объеме шкафы и в нескольких шкафах (в большинстве своем унифицированных), в которых размещено электрооборудование в том или ином сочетании функциональных групп.

В комплект агрегатов могут входить: шкафы вводной; трансформаторный; управления; выпрямительный и преобразовательный трансформаторы с уравнительным реактором.

Агрегаты мощностью 300 кВт и выше с напряжением сети 6, 10 кВ комплектуются трансформаторами с масляным или совтоловым охлажде-

4. Состав выпрямительных агрегатов с ПДУ, П

Выпрямительный агрегат (с ПДУ)	Состав агрегата				
	С СР	С ДУ	С ППУ	С РН	С ПРУ
ТЕ1-100 Т-0	+				
ТЕ1-100 1-0					
ТЕ1-400 1-0					
ТЕ1-400 4Т-0					
ТЕ1-400 48Т-0					
ТЕ1-1115Т-0					
ТЕ1-800 Т-0					
ТЕ1-800 Т-0					
ТЕ1-800 4 Т-0					
ТВ1-1600 2Т-0					
ТВ1-1 Т-0					
ТВ1-31 12Т-0					
ТВР1-100 12Т-0					
ТВР1-400 12Т-0					
ТВР1-80 12Т-0					
ТВР1-80 24Т-0					
ТВР1-1600 12Т-0					
ТВР1-1 4Т-0					
ТВР1-1 2Т-0					
ТВН1-6 24Т-0					
ТВН1-31 Т-0					

нием, а агрегат мощностью до 10 кВт с напряжением сети 380 В — типоразмерами с естественным воздушным охлаждением. К сети 6, 10 кВ агрегаты могут индивидуально подключаться через типовые ячейки распределительных устройств или через вводные шкафы с выключателями нагрузки при групповом подключении. Агрегаты подключаются к сети 380 В, в комплект которых входят преобразовательные трансформаторы как отдельные конструктивные единицы, по сравнению с вводными шкафами, в которых размещаются сетевой автомат, контактор, магнитный пускатель, датчики (трансформаторы тока), панель с зажимами для подключения сети, устройства защиты от радиопомех.

Трансформаторные шкафы устанавливаются только в агрегатах, питающихся от сети 380 В. Помимо преобразовательного трансформатора и уравнительного реактора, в них смонтированы все элементы вводных шкафов. Габаритные размеры агрегатов приведены на рис. 7.

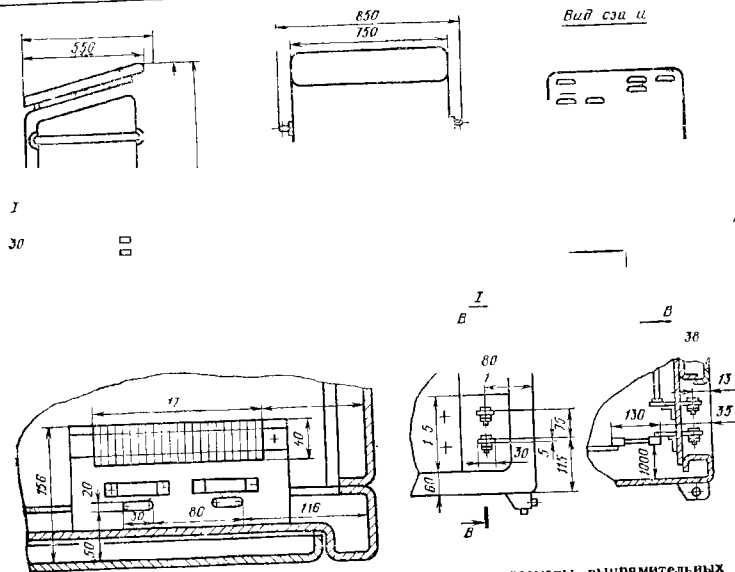


Рис. 7. Габаритные установочные и присоединительные размеры выпрямительных агрегатов типа ВАК и ВАКР

Глава 23.

ОХРАНА ТРУДА  
В ГАЛЬВАНИЧЕСКОМ  
ПРОИЗВОДСТВЕ

Основные научные и практические проблемы инженерной охраны труда нашли отражение в системе стандартов безопасности труда (ССБТ). Внедрение ее в производство необходимо для обеспечения безопасности труда, увеличения эффективности производства, повышения качества, ускорения научно-технического прогресса и совершенствования научной организации труда.

Система охраны труда в гальваническом производстве основывается и осуществляется в соответствии с правовыми требованиями законодательных актов к которым, в первую очередь, относятся ССБТ.

Излагаясь в справочнике краткие сведения по охране труда предназначены для облегчения ориентации в проблеме инженерно-технических решений, оптимизации параметров условий труда в соответствии с требованиями ССБТ.

СИСТЕМА СТАНДАРТОВ  
БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

Основу нормативно-технической документации по охране труда (с 1974 г.) составляет ССБТ — комплекс взаимосвязанных стандартов, предусматривающих обеспечение безопасности труда в частности в гальваническом производстве.

Структура кодирования обозначения стандартов ССБТ состоит из цифровых и буквенных символов, разделенных на пять групп:

группа символ	1	11	111
	ГОСТ	12	2
группа символ	А	В	Г
	003	74	
	д, е, ж	з, и	

здесь а — индекс по ГОСТ 1.2—68\* и ГОСТ 1.3—68\* (г. е. ГОСТ, ОСТ, РСТ, СТП); б, в — класс (в данном случае 12 — означает принадле-

жность к ССБТ); г — код классификационной группировки (табл. 1); д, е, ж — порядковый номер в группе ровке; з, и — год регистрации.

ССБТ предлагает единую терминологию и определения основных понятий в области охраны труда и устанавливает обязательность их применения в документах всех видов, в том числе технической документации гальванических производств.

По современной терминологии ССБТ (ГОСТ 12.0.002—80) охрана труда — система законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических и организационных мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Охрана труда включает подсистемы техники безопасности и производственной санитарии, предназначенные соответственно для предотвращения воздействия на работающих опасных, приводящих к травматизму, и вредных, приводящих к профессиональным заболеваниям, производственных факторов.

1. Классификационные группировки ССБТ

Код классификационной группировки	Наименование классификационной группировки
1	Основополагающие государственные стандарты Государственные стандарты общих требований и норм по видам опасных и вредных производственных факторов
2	Стандарты общих требований безопасности к производственному оборудованию
3	Стандарты общих требований безопасности к производственным процессам
4	Стандарты требований к средствам защиты работающих

Безопасность труда — состояние условий труда, при котором исключено воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов. Безопасность труда достигается рекомендациями ССБТ.

Согласно ССБТ должны быть разработаны стандарты предприятий по безопасности труда (СТП) с учетом конкретных сложившихся специфических

условий.

Основная нормативно-техническая документация ССБТ, необходимая для решения практических инженерно-технических задач техники безопасности и производственной санитарии, улучшения условий труда в гальванических производствах, представлена в табл. 2 в последовательности классификационных группировок.

2. Основные ГОСТ системы стандартов безопасности труда для гальванических производств

Основополагающие стандарты	
ГОСТ 12.0.002—80 (СТ СЭВ 1084—78) ГОСТ 12.0.003—74* (СТ СЭВ 790—77) ГОСТ 12.0.004—79	Основные понятия. Термины и определения Опасные и вредные производственные факторы. Классификация Организация обучения работающих безопасности труда. Общие положения
Стандарты общих требований и норм по видам опасных и вредных производственных факторов	
ГОСТ 12.1.001—83 ГОСТ 12.1.003—83 ГОСТ 12.1.004—76* ГОСТ 12.1.005—76	Ультразвук. Общие требования безопасности Шум. Общие требования безопасности Пожарная безопасность. Общие требования Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности Элеktробезопасность. Термины и определения Взрывобезопасность. Общие требования Смеси взрывоопасные. Классификация Взбрасывание. Общие требования безопасности Строительство. Электробезопасность. Общие требования
ГОСТ 12.1.007—76* ГОСТ 12.1.009—76 ГОСТ 12.1.010—76* ГОСТ 12.1.11—78* ГОСТ 12.1.012—78* ГОСТ 12.1.013—78*	Общие требования безопасности к производственному оборудованию Оборудование производственное. Общие требования безопасности Изделия электротехнические. Общие требования безопасности Источники тока химические. Требования безопасности Изделия светотехнические. Требования безопасности Станки металлообрабатывающие. Требования безопасности Приспособления для безопасного производства работ. Общие требования Электрооборудование взрывоопасное. Классификация. Маркировка Приспособления станочные. Общие требования безопасности Рабочее время при выполнении работ сидя. Общие требования Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования
Стандарты общих требований безопасности к производственным процессам и средствам защиты работающих	
ГОСТ 12.2.0—74* (СТ СЭВ 10—78) ГОСТ 12.2.070—75* ГОСТ 12.2.007.12—75 ГОСТ 12.2.007.13—75 ГОСТ 12.2.09—80* ГОСТ 12.2.012—75	Оборудование производственное. Общие требования безопасности Изделия электротехнические. Общие требования безопасности Источники тока химические. Требования безопасности Изделия светотехнические. Требования безопасности Станки металлообрабатывающие. Требования безопасности Приспособления для безопасного производства работ. Общие требования Электрооборудование взрывоопасное. Классификация. Маркировка Приспособления станочные. Общие требования безопасности Рабочее время при выполнении работ сидя. Общие требования Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования
ГОСТ 12.2.010—76* ГОСТ 12.2.029—77 ГОСТ 12.2.03—78	Общие требования безопасности к производственным процессам и средствам защиты работающих
ГОСТ 12.2.03—78	Общие требования безопасности к производственным процессам и средствам защиты работающих
Стандарты общих требований безопасности к производственным процессам и средствам защиты работающих	
ГОСТ 12.3.001—7* ГОСТ 12.3.002—75* (СТ СЭВ 1728—79) ГОСТ 12.3.003—75 ГОСТ 12.3.004—75*	Пневмоприводы. Общие требования безопасности Процессы производственные. Общие требования безопасности Работы электросварочные. Общие требования безопасности Термическая обработка металлов. Общие требования безопасности Работы окрасочные. Общие требования безопасности Эксплуатация водопроводных и канализационных сооружений и сетей Производство покрытий металлических и неметаллических неорганических. Общие требования безопасности Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности
ГОСТ 12.3.00—7* ГОСТ 12.3.006—75	Общие требования безопасности к производственным процессам и средствам защиты работающих
ГОСТ 12.3.008—75	Общие требования безопасности к производственным процессам и средствам защиты работающих
ГОСТ 12.3.009—76*	Общие требования безопасности к производственным процессам и средствам защиты работающих

Продолжение табл. 2

ГОСТ 12.3.010-82	Тара производственная. Требования безопасности эксплуатации
ГОСТ 12.4.002-74	Средства индивидуальной защиты рук от вибрации. Общие технические требования
ГО Т 1.4.003-80	Очки защитные. Типы
ГОСТ 1.4.004-74*	Респираторы фильтрующие противогазовые РПГ-67
ГОСТ 12.4.009-75*	Пожарная техника для защиты объектов. Общие требования
ГОСТ 12.4.010-75*	Средства индивидуальной защиты. Рукавицы спецодежды
ГО Т 1.4.011-75*	Средства защиты работающего. Классификация
СТ СЭВ 10.6-78)	Средства измерения и контроля вибрации на рабочих местах. Технические требования
ГОСТ 1.4.06-75	Одежда специальная. Номенклатура показателей качества
ГОСТ 1.4.0-82	Средств защиты рук. Номенклатура показателей качества
ГОСТ 12.4.02-75*	Световые и инфракрасные Общественные
ГОСТ 12.4.02-76*	Средства индивидуальной защиты. Шлемофоны. Общие технические требования и методы испытаний
ГОСТ 1.4.06-76	Цвета сигнальные и знаки безопасности
ГОСТ 1.027-76	Знаки электрически опасной зоны. Форма и размеры. Технические требования
ГОСТ 1.4.08-76*	Респираторы ПБ-1 «Ленестоп». Технические условия
ГОСТ 12.4.0-77*	Одежда специальная для защиты от воды и разливов poisonous-активных веществ. Технические условия
ГОСТ 1.4.031-77	Средства индивидуальной защиты. Определен сортности
ГОСТ 1.4.04-78	Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Классификация
ГОСТ 1.4.06-78*	Одежда специальная для защиты от кислот. Костюмы женские. Технические условия
ГОСТ 12.4.07-78*	Одежда специальная для защиты от кислот. Костюмы мужские. Технические условия
ГОСТ 12.4.08-78*	Одежда специальная для защиты от механических повреждений, воды и щелочей. Костюмы мужские. Технические условия
ГО Т 9-78*	Одежда специальная для защиты от механических повреждений, воды и щелочей. Костюмы женские. Технические условия
ГО 1.4.0-78*	Символы органов управления производственным оборудованием
ГОСТ 1.4.041-78	Респираторы фильтрующие. Общие технические требования
ГОСТ 1.042-78	Противогазы промышленные фильтрующие. Общие технические требования
ГОСТ 1.4-78	Методы и средства вибрационной защиты. Классификация
ГО Т 4-7	Средства индивидуальной защиты органов слуха. Общие требования

Примечания: \* СТ СЭВ — международные стандарты ССБТ, согласованные с протоколом о сертификации Совета Экономической Взаимопомощи социалистических стран.

**ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ОХРАНА ТРУДА**

В условиях научно-технического прогресса развитие гальванического производства сопровождается повышением производственных мощностей, интенсификацией технологических процессов, использованием более высокопараметрических физических и химических процессов, ростом разнообразия химических реагентов, что усложняет решение проблемы безопасности труда.

В табл. 3 представлены производственные факторы гальванических цехов, которые влияют на здоровье и

рабочую способность человека на основных этапах технологического процесса. Все многообразные опасные и вредные факторы гальванического производства по природе воздействия на человека можно свести в три основные группы (ГОСТ 12.0.003-74\*): физические (движущиеся части и оборудование, параметры микроклимата, шум, ультразвук, вибрация, пожаро-взрывобезопасность), химические (вредные токсичные вещества в различном агрегатном состоянии), психофизиологические (физические и нервно-психические нагрузки, рабочая поза, темп и ритм труда). Каждый фактор в зависимости от интенсивности и условий воздействия может быть опасным

или вредным, приводящим к возникновению травмы или профессиональному заболеванию. Состояние условий труда характеризуется величиной отклонения факторов от нормативных требований. Максимальные значения факторов рабочей среды, при которых выполняются указанные требования [предельно допустимые уровни (ПДУ) предельно допустимые концентрации (ПДК)] приведены в соответствующих стандартах ССБТ (см. табл. 2).

К наиболее важным и часто встречающимся в гальваническом производстве физическим факторам относятся параметры микроклимата и акустико-механически колебания. Параметры микроклимата гальванических цехов (допустимое сочетание температуры, влажности, скорости движения воздуха) регламентируются ГОСТ 12.1.005-76.

Почти 50% профессиональных заболеваний связано с воздействием неблагоприятных условий микроклимата (перегревания, переохлаждения, запыленности, загазованности и т. п.). Производительность труда при этом снижается на 20-40%.

Особое место занимает в гальванических цехах воздействие электрических процессов, протекающих в больших объемах воды со значительной открытой поверхностью испарения. К ним относятся значительные перепады температур по высоте рабочей зоны (2 м) в холодное время года, пыль и влага до 75-80% относительная влажность воздуха, повышенные скорости движения воздуха при нарушениях режима работы вентиляционных систем.

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата в гальваническом цехе связаны с таким физиологическим фактором, как энерготраты организма в зависимости от тяжести физического труда. Типичные работы в гальванических цехах относятся к категории средней тяжести: IIa (работы, связанные с ходьбой, выполняемые стоя без перемещения тяжести) и IIб (работы, требующие перемещения тяжести до 10 кг).

В гальванических цехах избытки явного тепла, влияющие на температуру среды, не превышают 23 Вт/м<sup>3</sup>. Для этих условий допустимы следующие параметры микроклимата. В холодный и переходный периоды года

3. Потенциально опасные и вредные факторы основных технологических этапов гальванического производства

Технологическая операция	Характеристика процесса	Соподованне	Потенциально опасные и вредные факторы
Приготовление растворов, анализ и корректировка их состава	активации, перемешивания, фильтрация, перекачивание, транспортировка растворов	Вспомогательное оборудование оборудованное вентиляцией и устройством очистки воздуха	Повышенная влажность воздуха
Погручение деталей в электролит	среднее сырье, неоднородная полуфабрикатов, деталей и готовой продукции	При оседании для подбора деталей, деталей, портящих средств грузоподъемных устройств	Движущиеся механизмы и изделия, острые предметы, орудия, перчатки, одежда, детали

Продолжение табл. 3

Технологическая операция	Характеристика процесса	Орудование	Потенциально опасные и вредные факторы
Электрическое оборудование	Преобразование переменного тока в постоянный	Электрическое оборудование переменного тока	Электроопасность
Подготовка деталей к покрытию (этап II)			
Механическая очистка: ручным и механизированным инструментом	Механическое разрушение и удаление загрязнений	Скребок, щетки, наждачные абразивы. Шлифовально-полировальные станки: одно- и двухшпиндельные ленточные, ручные, специальные	Систематические физические нагрузки на человека с повышенными затратами энергии и утомляемостью Повышенные запыленность воздуха, уровень шума и вибрации Движущиеся, вращающиеся механизмы
пневмоабразивная (дробеструйная), гидроабразивная	Воздействие кинетической энергии абразивных частиц, движущихся в струе воздуха или жидкости	Дробеструйные камеры и камеры абразивной очистки для ручной, механизированной, автоматизированной обработки	Повышенные запыленность воздуха и уровень шума При ручной обработке повышенные физические нагрузки
дробеструйная	Воздействие кинетической энергии чугунной или стальной дроби при больших скоростях, создаваемых быстровращающимся ротором	Дробеструйные установки, тушковые и проходные камеры периодического и непрерывного действия	Повышенные запыленность воздуха и уровень шума
жидкостно-абразивная (галтовка)	Взаимное трение между деталями и абразивным наполнителем	Галтовочные барабаны, механизированные и автоматизированные линии	Повышенные запыленность воздуха и уровень шума
виброабразивная	Химико-механический съем металла частицами рабочей среды, совершающим колебательные перемещения	Вибрационные установки мех. износостойкого и режущего действия	Повышенные запыленность воздуха, уровень шума и вибрации
Струйная очистка: пароводоструйная	Ударное действие струй в сочетании с температурой пара и обработкой мощными средствами	Пероводоструйные установки стационарные и передвижные	Повышенные влажность воздуха и уровень шума
гидродинамическая	Комплексное воздействие напора струи большой гидродинамической мощности, высокой температуры в мощных средствах	Машины, камерные моечные машины тушковые, проходные и периодические секционные	Повышенный уровень шума
Погружная очистка: турбулентная	Совместное интенсивное воздействие потоков очищающей среды, температуры, физико-химической активации и колебательно-вращательных перемещений объекта	Погружные установки с колеблющимися платформами, конвейерные, роторные моечные машины	Повышенные выделения вредных веществ в воздух, уровень шума

I подэтап не табл. 3

Технологическая операция	Характеристика процесса	Оборудование	Потенциально опасные и вредные факторы
ультразвуковая	Ультразвуковые явления в течениях, давлении звукового поля, звукокапиллярного эффекта в растворах органических растворителей	Ультразвуковые моечные машины, ванны с различными типами излучателей и генераторов ультразвука стационарные, полуавтоматические, автоматические	Повышенные выделения вредных веществ в воздух, уровень ультразвука
электрохимическая	Выделение H <sub>2</sub> или O <sub>2</sub> на поверхности детали, способствующих обезжириванию и отрыву загрязнений при катодной поляризации	Установки электрохимического обезжиривания	Повышенные взрывоопасность, выделения вредных веществ в воздух
электродинамическая	Воздействие ударных волн, импульсных высоковольтных электрических разрядов в жидкости	Электрогидравлические установки	Повышенные уровень шума, выделения вредных веществ в воздух
физико-химическая	Физико-химическая активация растворов и удаление загрязнений эмульгирующими моющими средствами, химически-активными веществами, органическими растворителями	Установки с ваннами различного типа, стационарные, полуавтоматические, автоматические	Повышенные выделения вредных веществ в воздух, пожароопасность
паровая	Смывание загрязнений при многократной конденсации горячих паров растворителей на поверхности	Одно- и многосекционные, стационарные, полуавтоматические установки очистки в парах растворителя	Повышенные выделения вредных веществ в воздух
Нанесение электрохимических и химических покрытий (этап III)			
Электрохимическое покрытие	Катодное восстановление металлов и сплавов на поверхности металлических деталей в растворах электролитов	Стационарные, полуавтоматические, автоматические линии с ваннами различного типа	Повышенные выделения вредных веществ в воздух, влажность воздуха, уровень шума, вибрация, ультразвук
Химическое покрытие	Осаждение покрытий на поверхности металлов при химических реакциях восстановления металлов из растворов	Полуавтоматические, автоматические линии со стационарными ваннами различного типа	Повышенные выделения вредных веществ в воздух, влажность воздуха, уровень шума
Отделка деталей после покрытия (этап IV)			
Механическое полирование	Механическое уменьшение шероховатости поверхности до зеркального блеска	Шлифовально-полировальные станки, полуавтоматы и автоматы	Повышенные запыленность воздуха, металлосодержащими частицами, уровень шума Движущиеся, вращающиеся механизмы
Химическое и электрохимическое полирование	Сглаживание шероховатости поверхности, глянцевание, заполнение неровностей продуктами химическими и электрохимическими реакций	Оборудование с ваннами различного типа	Повышенные выделения вредных веществ в воздух

(температура наружного воздуха ниже  $10^{\circ}\text{C}$ ) температура для работ категории На должна быть равна  $17-23^{\circ}\text{C}$ , для категории НБ —  $15-21^{\circ}\text{C}$ ; относительная влажность должна быть не более 75 %, скорость движения воздуха — не более  $0,3 \text{ м/с}$  для работ категории На или  $0,4 \text{ м/с}$  — для категории НБ. В теплый период года температура должна быть не более чем на  $3^{\circ}\text{C}$  выше средней температуры наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца, но не более  $31^{\circ}\text{C}$ ; относительная влажность при  $28-31^{\circ}\text{C}$  не более 55 %; при  $27^{\circ}\text{C}$  — не более 60 %; при  $26^{\circ}\text{C}$  — не более 65 %; при  $25^{\circ}\text{C}$  — не более 70 %; при  $24^{\circ}\text{C}$  и ниже — не более 75 %; скорость движения воздуха должна быть  $0,2-0,5 \text{ м/с}$  (большая скорость соответствует максимальной температуре воздуха, меньшая — минимальной).

В гальваническом производстве имеется ряд источников акустических и механических колебаний с широким спектром частот и уровней звукового давления, превращающим ПДУ ультразвука (по ГОСТ 12.1.001—83), шума (по ГОСТ 12.1.003—83), вибрации (по ГОСТ 12.1.012—78\*).

Источником шумового загрязнения среды и вибрации являются механические шумы, возникающие при соударении деталей машин и механизмов аэродинамические шумы при движении газовых потоков в вентиляционной системе, жидкости при кавитационных процессах, электромагнитные шумы в электрических машинах при взаимодействии магнитных сил с ферромагнитными массами. Основание шума на организм человека отличается многообразностью проявления неблагоприятного влияния на центральную нервную систему, сосудистую и пищеварительную системы. Шум, как общебиологический раздражитель, быстро утомляет работающих, снижает работоспособность, производительность труда, тормозит реакции на опасные ситуации. При систематическом воздействии вызывает неблагоприятные органические поражения слухового нерва — тугоухость.

Общая вибрация вызывает деформацию органов и тканей человека, сопровождается изменением функционального состояния организма, при-

водит к патологическим изменениям нервно-мышечного, опорно-двигательного аппарата, сосудистым расстройствам — вибрационной болезни, острой вибрацией вызывают болезни и изменениям рук (симптом «мертвого пальца»).

Общее воздействие ультразвука имеет много общего с воздействием высокочастотного шума. Особенность проявляется в чрезмерном повышении утомляемости, раздражительности, головокружении. Локальное воздействие ультразвука (аналогично вибрации) приводит к поражению периферического нервного и сосудистого аппарата пальцев, кистей рук и предплечья.

Особенно вредно комбинированное (одновременное) воздействие шума, ультразвука и вибрации.

Борьба с ультразвуком (ГОСТ 12.1.001—83), шумом (ГОСТ 12.1.003—83), вибрацией (ГОСТ 12.1.012—78\*) и защита от них достигается проведением следующих мероприятий:

ослаблением этих факторов в источнике возникновения (замена ударных взаимодействий безударными; возвратно-поступательными — вращательными; демпфированием и использованием менее звуковых движущихся деталей; улучшением аэродинамического обтекания и т. д.);

снижением факторов по пути распространения (строительство акустических, обшумо-планировочные мероприятия по размещению виброакустического оборудования в отдельных, удаленных, изолированных помещениях; использование звуко- и вибропоглощающих и оглушающих материалов и экранов и т. д.);

автоматизацией и дистанционным управлением;

индивидуальной защитой в тех случаях, когда технические средства не позволяют снизить уровень шума и вибрации по ПДУ.

Отличительная особенность технологии гальванопокрытия связана с наличием разнообразных химических веществ (более 400 многокомпонентных рецептур электролитов и растворов других назначений). Многие химические вещества оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека, вызывая повре-

ния его нормальных функций различной тяжести. Последствия опасны для здоровья, а в некоторых случаях и для жизни.

Оценка уровня концентрации вредных веществ связана с понятием предельно допустимых концентраций (ПДК). ПДК — это максимальная концентрация вредного вещества, которая не вызывает патологических изменений у работающего в течение всей жизни, генетических последствий у потомства, определяемых с помощью самых чувствительных современных методов.

ПДК — обязательные санитарные нормы для использования при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования и вентиляции, а также предупредительного и текущего санитарного надзора. ПДК химических веществ, применяемых в гальваническом производстве, нормируются ГОСТ 12.1.005—76.

Внедрению в производственную технологию новых химических веществ с неизвестными ПДК должны предшествовать медико-биологические исследования по установлению этого параметра. Обоснование неизвестных ПДК сложно, трудоемко и длительно.

Обслуживающий персонал гальванических цехов постоянно контактирует с токсичными химическими веществами, как правило, относящимися (ГОСТ 12.1.007—76\*) к классу 1 — чрезвычайно опасных (ПДК менее  $0,1 \text{ мг/м}^3$ ) и классу 2 — высокоопасных (ПДК  $0,1-1,0 \text{ мг/м}^3$ ) веществ по воздействию на организм человека.

В новых нормах ГОСТ 12.1.005—76 перечень ПДК вредных веществ в воздухе производственных помещений значительно расширен и доведен до 750 наименований.

Главная причина загрязнения воздуха — несовершенство технологических процессов и негерметичность производственного оборудования. Известно, что значительные загрязнения воздушной среды даже на современных крупных производствах наблюдаются в отделениях приготовления электролитов при операциях дозирования, смешения, растворения сырьевых компонентов.

Методы борьбы с токсичными промышленными веществами в гальванических цехах должны быть отобраны в стандартах предприятия по безопасности труда (СТП) согласно ССБТ (ГОСТ 12.1.007—76). При производстве, применении и хранении вредных веществ предусматривают следующие комплексные мероприятия:

заместу вредных веществ в производстве наименее вредными, сухих способов переработки пылящих материалов — мокрой;

ограничение соприкосновения с вредными веществами в исходных и конечных продуктах;

применение прогрессивной технологии производства (замкнутый цикл, автоматизация, комплексная механизация, дистанционное управление, непрерывность процессов производства, автоматический контроль процессов и операций), исключающей контакт человека с вредными веществами;

выбор соответствующего производственного оборудования и коммуникаций, не допускающих выделение вредных веществ в воздух рабочей зоны, в количествах, превышающих ПДК при нормальном ведении технологического процесса, а также правильную эксплуатацию санитарно-технического оборудования и устройств (отопления, вентиляции, водопровода, канализации);

рациональную планировку промышленных площадок, зданий, помещений;

применение специальных систем по улавливанию и утилизации газовоздушной и взрывоопасной пыли;

контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны, включение в стандарты или технические условия на сырье, продукты и материалы технологических регламентов токсикологических характеристик вредных веществ;

применение средств индивидуальной защиты работающих; специальную подготовку и инструктаж обслуживающего персонала;

## 4. Потенциально опасные и вредные факторы гальванического производства и технические средства инженерной охраны труда для их предотвращения

Потенциально опасные и вредные факторы	Характеристика факторов	Нормативная техническая документация	Технические средства охраны труда
Физические факторы Механические: движущиеся части оборудования	Травмоопасность, баллы	ГОСТ 12.2.003—74 *	Оградительные, организационные, защитные, предохранительные и т. п.
Микроклимат: температура воздуха влажность подвижность	Теплоемкость, °С Благоприятность, % Скорость движения, м/с	ГОСТ 12.1.005—76	Вентиляция, отопление Кондиционирование
Освещенность: естественная искусственная	Уровень освещенности (кео *) То же, лк	СНиП 11-4—79	Светотехнические
Шум	Частота октавных полос, Гц Уровень звукового давления, дБ Уровень звука, дБ А	ГОСТ 12.1.003—83	Шумозащитные
Ультразвук	Частота октавных полос, Гц Уровень звукового давления, дБ	ГОСТ 12.1.001—83	Шумозащитные
Вибрация	Частота октавных полос, Гц Амплитуда, мм Уровень виброскорости, дБ	ГОСТ 12.1.012—78 *	Виброзащитные
Электричество	Частота, Гц	ГОСТ 12.1.009—76	Электробезопасность Индивидуальная защита
	Напряжение, В Сила тока, А	ГОСТ 12.1.013—78 *	
Пожароопасность	Температура вспышки, °С Нижний и верхний концентрационные пределы воспламенения, %	ГОСТ 12.1.004—76 *	Пожаробезопасности
	Температура самовоспламенения, °С Безопасная величина экспериментального максимального зазора, мм	ГОСТ 12.1.010—76 * ГОСТ 12.1.011—78 *	
Взрывоопасность	Температура самовоспламенения, °С Безопасная величина экспериментального максимального зазора, мм	ГОСТ 12.1.007—76 * ГОСТ 12.1.006—76	Взрывобезопасности
Химические факторы Вредные вещества: пары, газы, аэрозоли	Концентрация, мг/м³ Размер частиц, мкм	ГОСТ 12.1.007—76 * ГОСТ 12.1.006—76	Вентиляция Пылегазозащитные Индивидуальная защита

Продолжение табл. 4

Потенциально опасные и вредные факторы	Характеристика факторов	Нормативная техническая документация	Технические средства охраны труда
Психофизиологические факторы: Физическая перегрузка (статическая и динамическая) рабочая поза периодическая перегрузка	Энерготраты, Дж/с Механическая работа, Дж Мощность работы, Вт Удобство при работе Интеллектуальная нагрузка, баллы	ГОСТ 12.1.005—76 ГОСТ 21034—75 ГОСТ 21983—75	Вентиляция Пылегазозащитные Индивидуальная защита

Примечание. Название ГОСТа — см. в табл. 2.  
\* Кео — коэффициент естественной освещенности.

проведение предварительных и периодических медицинских осмотров лиц, имеющих контакт с вредными веществами.

Оптимизация условий труда в гальванических цехах связана с устранением потенциально опасных и вредных факторов и необходима для обеспечения наилучшей работоспособности, хорошего самочувствия и сохранения здоровья человека в процессе труда.

Оптимизация достигается методами и средствами инженерной охраны труда. Применяются три группы методов и средств обеспечения безопасности труда: исключющие контакт человека с опасными вредными производственными факторами путем автоматизации, механизации и дистанционного управления; согласующие характеристики производственной среды с характеристиками человека; обеспечивающие адаптацию, естественные защитные свойства организма к условиям окружающей среды.

Для предотвращения (исключения) воздействия на человека опасных и вредных производственных факторов используются основные и вспомогательные технические средства техники безопасности и производственной санитарии, выполненные в виде устройств, установок, аппаратов, оборудования, сооружений.

При обосновании в процессе проектирования выбора направления технических мероприятий, методов и средств их осуществления, выбора

технического процесса и производственного оборудования предпочтение следует отдавать варианту, который наряду с обеспечением экономичности производства и высокого качества продукции в большей степени отвечает обеспечению безопасных и безвредных условий труда.

В табл. 4 представлены характеристики основных потенциальных опасных и вредных факторов гальванического производства и технические средства инженерной охраны труда для предотвращения их воздействия на работающих.

Безопасность техники и технологии гальванического производства обеспечивается поддержанием в строго нормированных пределах всех физико-химических параметров процессов: массы исходного сырья, промежуточных продуктов, металлов и отходов, скорости их перемещений, объема, давления и температуры на различных стадиях технологии. Отклонения одного или тем более нескольких параметров за нормированные пределы повышают вероятность возникновения опасных ситуаций (травм, острых отравлений, аварий).

Пожарная безопасность гальванического производства обеспечивается системами предотвращения пожаров и пожарной защиты (ГОСТ 12.1.004—76\*), взрывобезопасности — мерами взрывопредохранения и взрывозащиты (ГОСТ 12.1.010—76\*).

## НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

### ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ОХРАНА ГИДРОСФЕРЫ

В машиностроительной промышленности расходуется ~10 % свежей воды, потребляемой всей промышленностью народного хозяйства, и из этого количества около половины идет на промывку деталей после гальванической обработки (на 1 м<sup>2</sup> гальванопокрытия требуется 0,5—1 м<sup>3</sup> деминерализованной воды).

Ежегодная потребность гальванического производства в пресной деминерализованной воде приближается к 5 км<sup>3</sup>. С учетом тенденции возрастания мощности гальванического производства к 2000 г. особо актуальной будет проблема охраны гидросферы — сокращения водопотребления и перехода к экологической технологии электрохимических покрытий.

Ближайшая цель совершенствования гальванического производства состоит в создании малоотходной экологической технологии, развивающейся по направлениям:

снижение металлоемкости (расхода металлов, идущих на металлопокрытие), энергоемкости (расхода электроэнергии на электрохимические и электрофизические процессы), водоемкости (расхода воды, как все более дефицитного и дорогостоящего минерального сырья);

минимизация отходов производства, сточных вод и содержания в них извлекаемых компонентов;

замена токсичных реагентов и отходов на менее опасные с более высоким порогом биологического воздействия;

замена не утилизируемых отходов на утилизируемые;

переработка загрязняющих опасных и вредных отходов химическими, физическими и биологическими методами до полной трансформации в безвредные продукты.

Первоочередная задача технологии гальванических покрытий связана с методами обезвреживания сточных вод. Предпочтительны такие технологические методы и способы гальванотехники и очистки сточных вод, при которых достигается минимальный расход цветных металлов и минимальное воздействие на окружающую среду.

В гальваническом производстве вода расходуется на разные технологические цели и загрязняется различными компонентами.

По характеру использования воды в гальваническом производстве применяют следующие типы систем водоснабжения: прямоточную, оборотную, смешанную. В прямоточной системе отработавшая в производственном процессе технологически загрязненная сточная вода после обезвреживания до требуемых ПДК возвращается (канализируется) в естественные водоемы. В оборотной системе сточные воды после обезвреживания и очистки от загрязнений повторно возвращаются в производственный процесс.

Очистка сточных вод гальванического производства. Сточные воды гальванического производства различают по составу загрязнений, режиму сброса и концентрации. По составу загрязнений сточные воды делятся на группы: кислотно-щелочные, циансодержащие, хромсодержащие, содержащие соли тяжелых металлов (табл. 1).

По режиму сброса и концентрации сточные воды делятся на постоянно поступающие разбавленные воды после промывки деталей и периодически сбрасываемые из основных отработанные концентрированные электролиты. Концентрация загрязняющих веществ в отработанных электролитах в 100—1000 раз больше, чем в разбавленных промывных водах, а объемы во много раз меньше.

Химический состав и концентрация сточных вод гальванического произ-

1. Классификация сточных вод гальванических цехов по химическому составу загрязнений

Группа сточных вод	Основные технологические процессы образования сточных вод	Состав загрязнений	pH ст-ды
Кислотно-щелочные: кислотные	Предварительное травление, кислотное меднение, никелирование, цинкование, обезжиривание	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HCl, HNO <sub>3</sub> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> и др.	<6,5
щелочные		NaOH, KOH, Ca(OH) <sub>2</sub> и др.	>8,5
Содержащие соли тяжелых металлов	Поверхностная металлообработка и нанесение гальванопокрытий	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Al <sup>3+</sup> и др.	<6,5
Циансодержащие	Цианистое меднение, цинкование, кадмирование, серебрение	KCN, NaCN, CuCN, Fe(CN) <sub>2</sub> , [Cu(CN) <sub>2</sub> ] <sub>2</sub> , [Cu(CN) <sub>3</sub> ] <sub>2</sub> , [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>4-</sup> , [Zn(CN) <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup> , [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup> и др.	2,8—11,5
Хромсодержащие	Хромирование, пассивация, травление деталей из стали и медных сплавов, оцинкованных, кадмированных стальных деталей, электрохимическое анодирование деталей из алюминия, электропассивирование стальных деталей	Соединения Cr <sup>3+</sup> , Cr <sup>6+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> и др.	2,3—8,8

водства изменяются в зависимости от назначения металлопокрытия, уровня совершенства технологии и оборудования. Основными компонентами загрязнения сточных вод являются высокотоксичные соединения тяжелых металлов и цианиды. Около 40 % стоков гальванического производства составляют хромсодержащие сточные воды.

Отработанные концентрированные электролиты сбрасываются в специальные емкости для обезвреживания. Растворы, содержащие кислоты и щелочи, используются как реагенты для нейтрализации. Хром- и циансодержащие, а также растворы солей тяжелых металлов должны регенерироваться и вновь возвращаться в производство.

Основное количество воды в гальванических цехах расходуется для промывки деталей, которая в значительной мере предопределяет качество и надежность гальванопокрытий и составляет 90—95 % общей потребности в воде. Поэтому уменьшение потребляемой воды связано главным образом с эффективностью технологии промывки.

При выгрузке деталей из каждой гальванической ванны микрорельеф их поверхности способствует захвату значительных количеств концентрированного раствора электролита. Перед

последующей операцией поверхность должна быть тщательно промыта.

Содержание загрязнений в промывной воде зависит от объема, концентрации и вязкости раствора электролита, захватываемого поверхностью обрабатываемой детали, шероховатости поверхности детали и от других факторов.

Сокращение расхода воды достигается каскадно-проточной системой, позволяющей не только улучшить качество промывки, но и вернуть в производство ценные компоненты. Обычные каскадные ванны требуют значительных производственных площадей, поэтому перспективными следует считать многоступенчатые струйные установки, имеющие во много раз меньшие габариты.

Экономное водопотребление может быть также осуществлено путем уменьшения концентрации вредных веществ в сточных водах:

снижением выноса электролита из основной ванны с помощью технических мероприятий;

применением непроточных ванн улавливания, растворов которых после достижения предельных концентраций возвращается в основную технологическую ванну для восполнения потерь выноса и испарения;

рег е аци н электролитов н отра- ботан х растворов, что исключает сброс б ыных количеств ценных веществ .

пр нием метода Ланси, позво- ляю г обесвреживать вредные ве- щества непосредственно в технологи- чес ои линии;

по ром новых составов электро- литов, с держащих меньше конденса- ции или менее вредных вещества.

Сниж ние выноса раствора из техно- логич ских ванн, в свою очередь, до- стига т я увеличением продолжитель- ности екания растворов с деталями; устано ой наклонных щитов между ос ов й и промывными ваннами; вве- дение г еханических приспособлений для встряхивания, обдувки деталей и подогрев при переносе из основной ванны в промывную; правильным раз- веши нием деталей для обеспечения хорошего стока с них; применением подогрев к с гладкой водоотталкиваю- щей золяцией.

Обе вреживающие промывных вод различного состава производится разд ьно, так как при смешении циан- содержащих вод с хромсодержащими или кислотными возможно образова- ние токсичной синильной кислоты.

О ентир вочный состав промывных сто я вод цехов гальваникопокрытий пред л я в табл. 2.

На техни еские мероприятия охр гид осферы в гальваническом про з стве дол ны обеспечивать реш н двух ос овных задач: прек- ращ сбр са загрязненных сто- чных н значительное сокращение по р ение свежей воды. Решенне б ре овано путем созда-

ния, во первых, процессов без заг- знения сточных вод с извлечение из них всех ценных компонентов; во- вторых, локальной очистки сточных в местах их возникновения без е- шения и разбавления другими сто- ками с повторным использованием воды в производстве. Локальная очи- ка позволяет избежать сооружен я дорогостоящих общезаводских очи- ных сооружений. Сочетание лока- кой очистки с замкнутым водооб р том считается одним из наиболее пер- спективных путей охраны гидроосфе

Методы очистки сточных вод галь- ванических цехов. Совершенствование технологии, качества и надежности гальванических покрытий сопровож- дается возрастанием числа рецептур электролитов, обновлением их хим- ческого состава и свойств, что требу- ет поиска новых эффективных метод- очистки и обесвреживания сточны- вод. Технологические сточные вод гальванических процессов отличаются многокомпонентностью состава, фа- вым состоянием и токсичностью сое- нений, соотношением и концент- цией гетерогенных и гомогенных с- ставляющих, загрязняющими приме- сями. Методы очистки от гетерогенных нерастворимых примесей зависят о природы взаимодействия с раствори- телем н геометрических размеров ча- стиц. Грубодисперсные частицы с раз- мерами  $10^{-1}-10^{-2}$  см (суспензии, эмул- сии) п д действием гравитационных сил жести постепенно само ой во льно оседают или всплывают. Тонк диспе сные коллоидные частицы с ра- мерами  $10^{-3}-10^{-2}$  см могут находить я во взвеш ном состоянии дл нельно время, значительно превышающ технологические воз южности.

Источниками гетерогенных заг- нений являются продукты очистки поверхности деталей до нанесения гальв окрытия, осадкообразова- ния в ходе процессов химического и электрохимического нанесения метал- лов обесвреживания сточных вод. Гом гная состо яющая сточных вод вы очает растворимые при си молеку неорганических н органиче- ских с динении в молекулярных и ионны растворах. К растворимым приме я относятся соединения циана, ионы желтых металлов, в част ости хрома

2 С промывных сточных вод гальванических цехов

С ст	д, в точных водах		
	цин- ст	хромо- вых	кислот- но-щел- чных
Е з	0,1—0,4	0,0—0,90	0,3—3,5
С т	0—1	0,3—0,8	0,6—3,6
С ы	< 0,0	< 0,05	0,1—0,7
Тяме	< 0,1	0—0,2	0,1—0,8
Ци	0,0	0,05—0,10	0,01—0,20
рл	—11	3—6	1—10

Качественная очистка а х слож- ных гетерогенных растворов может быть достигнута только комплексным применением осб- разных по природе и техно л мето- дов. Современная классификация методов очистки сточных вод гальванических цехов основывается на химическом составе и характере воздействия на процесс (табл. 3), принятых в системе анализа химической технол

Все методы очистки сточных вод делятся на три группы: 1) основанные на выделении примесей; 2) основанные на превращении примесей в биохимические.

В методах первой группы выделе- ние примесей из раствора происходит без изменения их химических свойств. Во

второй группе основными являются физико-химические процессы, в результате которых примеси переходят в менее токсичные или более легко удаляемые вещества методами химического или электрохимического воздействия на ионы примесей в растворе.

Очистка сточных вод гальванических производств, как правило, осуществляется в несколько этапов: механическая очистка от грубодисперсных примесей и вторичная от гомогенных примесей.

Первый этап очистки от гомогенных примесей осуществляется с помощью механических методов: процеживания, отстаивания, флотации, разделения в поле градиента

3. Классификация методов очистки сточных вод гальванического производства

№ группы	Группы методов	№ подгруппы	Подгруппы методов
I	Основные методы выделения примесей	1.1.	Непосредственное выделение примесей из раствора
		1.1.1.	Механическое удаление крупных примесей на решетках, скрубках, кропроцеживании
		1.1.2.	Отстаивание при естественном освещении
		1.1.3.	При естественном освещении
		1.1.4.	Центрифугирование
		1.1.5.	Фильтрование
		1.1.6.	Флотация
		1.1.7.	Электрореципиция
		1.1.8.	Мембранные методы выделения примесей (пленочная, обратный осмос, ультрафильтрация, диализ)
		1.1.9.	Выделение примесей с помощью адсорбции
		1.2.	Выделение примесей с помощью химических реакций
		1.2.1.	Дезагрегация
1.2.2.	Обратная реакция		
1.2.3.	Обратная реакция		
1.2.4.	Обратная реакция		
1.2.5.	Кристаллизация		
1.2.6.	Экстракция		
1.2.7.	Вымораживание		
1.2.8.	Кристаллизация		
1.2.9.	Сублимация		
1.2.10.	Дистилляция		
2	Основанные на превращении примесей	2.1.	Окисление
		2.2.	Восстановление
		2.3.	Осаждение
		2.4.	Синтез
		2.5.	Окислительно-восстановительные процессы (в том числе электрохимические)
2.6.	Термическое		
3	Биохимические	—	—



ных сил (подгруппы 1.1.1.—1.1.3; 1.1.7 см. в табл. 3) и центрифугирования в поле центробежных сил (подгруппа 1.1.5). Устройства и аппаратура для механической очистки имеют множество различных конструктивных модификаций (решетки, сита, отстойники, центрифуги, гидроциклоны).

Процеживание применяется для отделения крупных частиц размером более 15 мм на механических решетках: вертикальных, наклонных, решетках-дробилках. Отстаивание грубодисперсных суспензий, образуемых при различных способах механической струйной, погружной очистки деталей на стадии подготовки для гальванопокрытий, производится в песколовках, отстойниках. Явление оседания или всплывания нерастворимых в водной среде примесей взвеси, эмульсии масел, нефтепродуктов широко используется в практике очистки сточных вод.

Второй этап очистки сточных вод, вагранпных гомогенными растворимыми молекулярными и ионными соединениями, осуществляется сочетанием методов выделения и превращения примесей (см. табл. 3). Эффективное использование на этом этапе методов ионнообменного, гиперфильтрации, электролиза возможно только после предварительной тщательной очистки сточных вод от гетерогенных примесей.

4. Основные методы очистки сточных вод гальванических отделений

Методы	Химический состав сточных вод			
	кислотно-щелочное	содержание солей тяжелых металлов	циан-содержание	хром-содержание
Реагентные	+	+	+	+
Ионнообменные	+	+	+	+
Электрохимические:				
электродный	+	—	+	+
электролизный	+	—	+	+
Мембранные:				
электролизный	—	+	+	—
гиперфильтрация	—	—	—	+
обратный осмос	—	—	—	+
ультрафильтрация	—	—	+	+
Сорбционные	—	—	+	+
Термические	—	—	+	+
Биохимические	—	—	+	+

Примечание. «+» — используются для очистки; «—» не используются.

Основные физико-химические методы окислительной очистки сточных вод сгруппированы в табл. 4 с учетом химического состава. В табл. 4 указана целесообразность оптимального и эффективного использования различных методов. Целесообразность выбора того или иного метода и схемы очистки сточных вод гальванических отделений зависит от состава, концентрации и объема стоков, медико-биологических и технологических требований к очищенной воде, необходимости регенерации, утилизации и повторного использования воды и ценных компонентов, требуемых материальных и энергетических ресурсов, экономических показателей и соответствия определенному уровню экологических требований.

Технические и экономические требования к степени и критериям очистки сточных вод в первую очередь зависят от типа системы водоснабжения гальванических производств. В прямых (незамкнутых) системах сбрасываемые в канализацию сточные воды должны соответствовать медико-биологическим нормам ПДК. В оборотных (замкнутых) системах допускается менее жесткая очистка до технически допустимых концентраций для повторного применения воды в технологических процессах.

Наиболее радикальным и перспективным направлением охраны гидро-

сферы следует считать путь внедрения систем оборотного водоснабжения каждого промышленного узла с многократным использованием воды и утилизацией ценных отходов производства. Замкнутые системы существенно снижают расход свежей воды, забираемой из водосточников, и предупреждают попадание вредных веществ в водоемы.

Создание водооборота в гальваническом производстве может быть достигнуто комплексным использованием нескольких методов.

Все методы очистки сточных вод могут быть осуществлены по периодической или непрерывной схеме технологического процесса. Условной границей экономически рационального перехода к непрерывной технологии служит объем сточных вод 10—30 м<sup>3</sup>/ч.

Реагентный метод очистки позволяет обезвреживать примеси самого разнообразного состава до ПДК. Широкая область применения и относительная простота обработки сточных вод обусловили наибольшее распространение модификаций реагентного метода в практике гальванического производства по сравнению с другими методами, так как они позволяют химически превращать токсичные загрязнения сточных вод в безвредные или легко удаляемые соединения.

Вместе с тем реагентному методу присущи недостатки, ограничивающие его технологичность:

— безвозвратные потери нежелательных из сточных вод ценных компонентов;

— возможность повторного использования в оборотном цикле без дополнительной обработки очищенных солевых растворов;

— необходимость в больших объемах планировочных размерах для размещения комплекса реагентного хозяйства и очистных сооружений.

Поэтому наряду с совершенствованием модификаций реагентного метода разрабатываются научные и инженерные принципы промышленного использования широкого набора других физико-химических методов обезвреживания гальванических стоков.

В последние годы предпочтение отдается ионнообменному, электрохимическим, мембранным методам, как наиболее соответствующим комплексным требованиям водочистки от гомогенных загрязнений.

## МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ЦИАНСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Технологические сточные воды в гальванических процессах меднения, цинкования и кадмирования содержат высокотоксичные простые и комплексные соединения циана (цианиды): NaCN, KCN, CuCN, Fe(CN)<sub>2</sub> — простые цианиды; [Cu(CN)<sub>2</sub>]<sup>-</sup>, [Cu(CN)<sub>3</sub>]<sup>2-</sup>, [Cu(CN)<sub>4</sub>]<sup>3-</sup>; [Zn(CN)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup>, [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>4-</sup>, [Fe(CN)<sub>6</sub>]<sup>3-</sup> — комплексные цианиды.

Количество цианидов в сточных водах гальванических отделений варьируется в широких пределах. Наличие в технологической схеме оборудования накопителей позволяет выравнивать (усреднять) состав сточных вод во времени до средних значений концентрации цианидов 30 ± 10 мг/л. Без накопителей концентрация цианидов может достигать 300 мг/л.

Для очистки сточных вод от цианидов наиболее широко применены электрохимические методы.

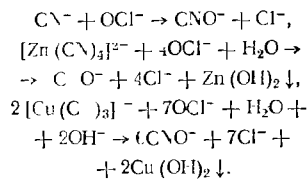
Модификации реагентного метода. Для обезвреживания циансодержащих сточных вод используются различные модификации реагентного метода, основанные на химическом превращении высокотоксичных цианидов в нетоксичные, легко удаляемые продукты.

Получили распространение методы окисления активными Cl<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>.

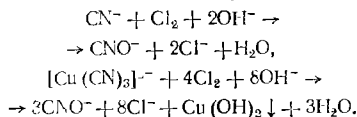
Окислительными реагентами, содержащими активный хлор. Область применения. Обезвреживание циансодержащих сточных вод различных объемов и концентраций.

Основные процессы. В качестве реагентов применяются: CaOCl<sub>2</sub>, гипохлориты Ca(OCl)<sub>2</sub> и NaOCl, жидкий Cl<sub>2</sub>. Высокотоксичные цианиды превращаются гипохлоритом в тысячу раз менее токсичные цианаты с после-

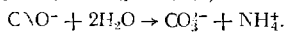
Ду щим их гидролизом до карбонатов в газе



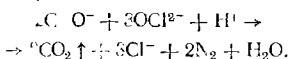
При окислении жидким хлором протекают следующие реакции:



Реакции окисления простых и комплексных цианидов активным хлором протекают в щелочной среде (рН 10,5—12,0). Цианат-ионы  $\text{CNO}^-$  гидролизуются (рН  $\leq$  6,5):



При вытеснении гипохлорит-иона протекает реакция



Для предотвращения побочных реакций образования токсичного хлорциана:  $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{HOCl}$ ,  $\text{CN}^- + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{HCl}} 2\text{CICN}$  — выделяемую  $\text{HCl}$  необходимо нейтрализовать постоянным добавлением щелочи.

При механическом или гидравлическом перемешивании длительность обработки сточных вод активным хлором составляет 3—5 мин.

**Сроки осадки.** Технологическая схема очистки может быть периодической или непрерывного действия. При очистке по схеме периодического действия сточная вода поступает в усреднитель (накопитель), откуда подается в реактор с непрерывным перемешиванием, который оборудован приборами автоматического регулирования подачи реагентов до требуемой рН среды. После обезвреживания сточные воды подаются на очистительные сооружения для нейтрализации и отстаивания.

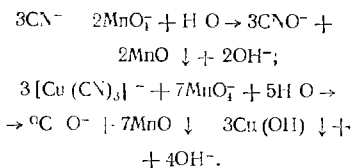
При очистке по схеме непрерывного действия сточная вода непрерывным потоком через усреднитель попадает в камеру реактора, куда с помощью автоматического устройства подаются требуемые реагенты до оптимального значения рН среды и вводится реактор активно хлора. Далее сточная вода поступает на нейтрализацию для совместной очистки с кислотно-щелочными стоками.

**Преимущества.** Обезвреживание по ПДК. Простота в эксплуатации.

**Недостатки.** Не обеспечена защита от повышения соледождения. Требуется большое количество реагентов и значительные площади. Большой расход реактивов.

**Окисление перманганатом калия.** Область применения. Обезвреживание небольших объемов отработанных электролитов любой концентрации.

**Основные процессы.**  $\text{KMnO}_4$  окисляет цианиды до цианатов и в конечном итоге до  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$ :



Оптимальное рН  $\geq$  7. Точное поддержание реакционной среды не требуется.

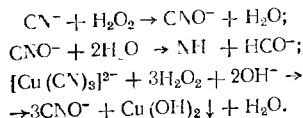
**Оборудование.** Типовое для реагентного метода периодического действия.

**Преимущества.** Высокая степень очистки сточных вод любой концентрации при использовании очищенной воды. Незначительное количество осадка.

**Недостатки.** Высокая стоимость перманганата калия. Необходимость полного удаления из воды токсичного  $\text{MnO}_2$ .

**Окисление перекисью водорода.** Область применения. Обезвреживание небольших объемов концентрированных (концентрация  $\text{CN}^- > 1$  г/л) цианосодержащих сточных вод, например элюатов ионообменных установок.

**Основные процессы.**  $\text{H}_2\text{O}_2$  окисляет цианиды по реакциям



Оптимальное рН 10—11. Комплексные цианиды окисляются перекисью  $\text{H}_2\text{O}_2$  быстрее и легче простых цианидов. Окисление каталитически ускоряется в присутствии соединений меди.

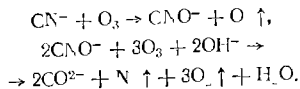
**Оборудование.** Установки периодического действия, аналогичные используемым для обработки сточных вод активным хлором. Трубопроводы, резервуары и другое оборудование, находящееся в длительном контакте с  $\text{H}_2\text{O}_2$ , рекомендуется изготавливать из поливинилхлорида или тефлона; резервуары для хранения концентрированных растворов  $\text{H}_2\text{O}_2$  — из чистого алюминия, полиэфирных пластиков или полиэтилена.

**Преимущества.** Обезвреживание до ПДК. Высокая окислительная активность  $\text{H}_2\text{O}_2$ , отсутствие токсичных промежуточных соединений, ввода посторонних ионов и стабильность соледождения отработанной воды. Самопроизвольное разложение избытка реагента в сточных водах. Возможность автоматизации дозировки  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

**Недостатки.** Нестабильность  $\text{H}_2\text{O}_2$  при хранении. Высокое коррозионное воздействие на материалы оборудования.

**Окисление озоном.** Область применения. Обезвреживание больших объемов цианосодержащих сточных вод с концентрацией менее 100 мг/л.

**Основные процессы.** В слабощелочной среде  $\text{O}_3$  быстро реагирует с цианидами, образуя цианаты, которые, в свою очередь, окисляются до карбонатов и  $\text{N}_2$ :



При окислительной дефлуорации цианистых комплексов образуются также гидроокиси тяжелых металлов.

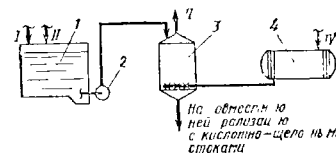


Рис. 1. Принципиальная схема очистки цианосодержащих сточных вод окислением озоном:

1 — усреднитель-накопитель; 2 — насос контактной колонны; 4 — озоноатор; I — сточные воды из гальванического цеха; II — раствор щелочи; III — остаточный озон для повторного использования; IV — осушенный.

Реакционная среда имеет рН 9—10. При повышенной щелочности и низких концентрациях цианидов распад  $\text{O}_3$  катализируется гидроксильными ионами. Для полноты и интенсификации реакции, уменьшения расхода  $\text{O}_3$  необходимо непрерывное постоянное удаление выпадающих гидроксидов.

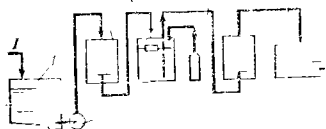
**Оборудование.** Контактная колонна с подводом к стекающим сточным водам озонированного воздуха противотоком через барботер. Обработанная вода перекачивается через фильтр с активным углем. Предусмотрено автоматическое регулирование величины рН сточных вод. Принципиальная схема очистки представлена на рис. 1. Промышленные озонаторы ОПТ-121, ОПТ-315, ОПТ-510 выпускаются серийно с производительностью по озону соответственно 1,6; 3,6; 8,0 кг ч.

**Преимущества.** Высокая степень очистки. Отсутствие промежуточных токсичных соединений. Возможность использования воды в оборотном цикле. Возможность автоматизации процесса.

**Недостатки.** Громоздкость оборудования.

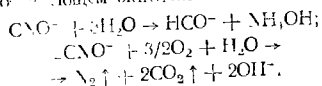
**Окисление кислородом воздуха.** Область применения. Обезвреживание сточных вод, содержащих цианистые соединения  $\text{Cu}$  и  $\text{Zn}$  концентрацией не более 35 мг/л.

**Основные процессы.** Окисление простых и комплексных цианидов  $\text{Cu}$  и  $\text{Zn}$  кислородом воздуха происходит на поверхности активного угля. Цианиды сорбируются из сточных вод



Ртуть	Григорианский	Средняя	Относительная	Плотность
цианида	жидкого	плотности	при 20°C	при 20°C
1	0,000000	1,000000	1,000000	1,000000
2	0,000000	1,000000	1,000000	1,000000
3	0,000000	1,000000	1,000000	1,000000
4	0,000000	1,000000	1,000000	1,000000
5	0,000000	1,000000	1,000000	1,000000
6	0,000000	1,000000	1,000000	1,000000
7	0,000000	1,000000	1,000000	1,000000
8	0,000000	1,000000	1,000000	1,000000
9	0,000000	1,000000	1,000000	1,000000
10	0,000000	1,000000	1,000000	1,000000

на поверхности углей и окисляются растворенным  $O_2$  до цианатов. Цианаты блокируют активные центры угля катализатора, что замедляет процесс и препятствует дальнейшей более глубокой окислке. Освобождение активных центров угля происходит при медленном гидролизе цианатов и их последующем окислении:



В качестве абсорбентов используются активные угли СКТ, БАУ, АГ-3. Реакционная среда имеет pH 6—9. Интенсификация процесса окисления и увеличение глубины очистки достигается применением угля катализатора БАУ и увеличением концентрации растворенного кислорода в сточных водах. Для усиления контакта и смешивания вращающаяся ось с электродом создает вихревые движения. Zn-аноды в виде чешуек солей  $\text{Zn}^{2+}$  образуют пленку на поверхности стальных водосборных емкостей.

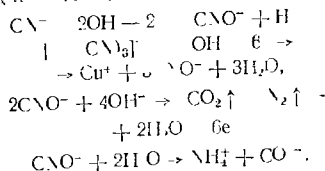
**Оборудование.** Окисление цианидов сточных вод осуществляется в окислительной камере с барботированием сточной воды в реакторе. Реактор оборудован активным углем и электродами. Раствор  $\text{HCl}$  не поступает в реактор. Принципная схема очистки представлена на рис. 2.

**Примечания.** Простота технологии облегчает оборудование. Возможность автоматизации

**Недостатки.** Для использования воды в оборотном цикле необходима доочистка.

**Электрохимические методы.** Электролиз сточных вод окисляет цианиды. Область применения. Очистка сточных вод и отапливаемых водоснабжения.

Электроды: анод —  $\text{Cu}$ , катод —  $\text{Zn}$ . Раствор:  $\text{NaCN}$  (1—2 г/л),  $\text{NaCl}$  (5—10 г/л), pH 6—9.



На катоде происходит образование водорода при разряде ионов  $\text{H}^+$  и осаждение металлов при разряде ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , образующихся при диссоциации комплексных ионов, содержащих  $\text{CN}^-$  группы.

Для повышения электропроводности очищаемых сточных вод, снижения расхода электроэнергии, интенсификация процесса окисления добавляется  $\text{NaCl}$  (5—10 г/л), при электролизе которого образуется  $\text{Cl}_2$ . Реакция среды pH > 11, температура не более 40—50°C. Применяются аноды из графитированного угля в виде плит или стержней по ГОСТ 11256—73 или магнезита и  $\text{PbO}_2$  на титановой основе. Катоды — из легированных сталей. Анодная плотность тока 0,3—2 А/дм<sup>2</sup>.

**Оборудование.** Электролиз сточных вод осуществляется в открытом бездиафрагменном реакторе с непрерывным движением электролитической среды. Принципальная схема очистки представлена на рис. 3.

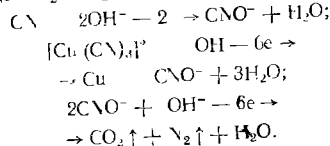
**Примечания.** Непрерывная работа обеспечивает простоту эксплуатации. Возможность автоматизации. Степень очистки от цианидов 100%, удаление металлов в сточных водах 80%. Возможности сокращения расхода сточных вод за счет использования воды концентрированных растворов.

**Недостатки.** Сточные воды загрязнены активным хлором до 200 мг/л.

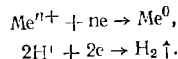
Невозможность интенсификации процесса путем повышения температуры в реакционной среде.

**Электролизный метод.** Область применения. Селективное окисление сточных вод и отработанного раствора в скважинах и в водопроводных трубах.

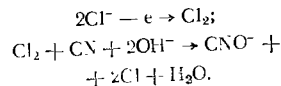
Электроды: анод —  $\text{Cu}$ , катод —  $\text{Zn}$ . Раствор:  $\text{NaCN}$  (1—2 г/л),  $\text{NaCl}$  (5—10 г/л), pH 6—9.



Комплексные цианид-ионы диссоциируют и образуют катионы тяжелых металлов, которые на катоде превращаются в нейтральные атомы. Ионы  $\text{H}^+$  на катоде образуют газообразный водород:



Для интенсификации процессов переноса ионов и электрохимических реакций к сточным водам добавляется  $\text{NaCl}$ , который при разложении на аноде образует  $\text{Cl}_2$ , дополнительно окисляющий цианиды:



При анодной плотности тока 0,5—2 А/дм<sup>2</sup> степень очистки сточных вод цианидов достигает 100%. На катоде утилизируется до 80% металлов, содержащихся в сточных водах. Остальная часть металлов удаляется в виде гидроксида.

**Оборудование.** Электролиз производится в открытом бездиафрагменном электролизере с непрерывным или периодическим движением электролита из графитированного угля в виде плит или стержней по ГОСТ 11256—73, или магнезита и  $\text{PbO}_2$ .

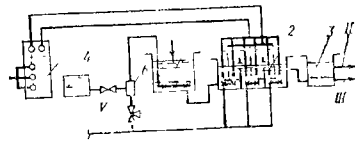


Рис. 3. Принципиальная схема очистки хромосодержащих сточных вод электрохимическим методом:

1 — уродте; 2 — литро; 3 — проточная камера; 4 — бак для раствора поваренной соли; 5 — выхлопная труба; 6 — электроды; 7 — катод из свинца; 8 — анод из графитированного угля; 9 — анод из магнезита; 10 — анод из  $\text{PbO}_2$ ; 11 — обезжелезиватель; 12 — шлам; 13 — окислитель воздуха.

**Примечания.** Максимальное содержание хрома в сточных водах. Отсутствие необходимости в химических реагентах. Компактность и простота эксплуатации оборудования. Возможность автоматизации процесса.

**Недостатки.** Повышенное содержание в обработанных сточных водах активного хлора. Пассивация анодов.

## МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ХРОМОСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Соединения  $\text{Cr}^{6+}$  ( $\text{H}_2\text{CrO}_4$  и ее соли) широко используются в различных технологических процессах гальванического производства, при химическом травлении и пассивировании поверхности деталей из обычной, оцинкованной и кадмиевой стали, медных сплавов при гальванопокрытиях и электрополировании стальных деталей, а также электрохимическом анодировании деталей из алюминия. Соединения  $\text{Cr}^{6+}$  относятся к классу токсичных, чрезвычайно опасных веществ. В сточных водах  $\text{Cr}^{6+}$  находится в виде ионов  $\text{CrO}_4^{2-}$ .

При использовании в технологической схеме очистки резервуаров-усреднителей средняя концентрация хрома (в пересчете на  $\text{Cr}^{6+}$ ) в сточных водах составляет  $20 \pm 10$  мг/л. В стоках содержится также соли трехвалентного хрома  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Fe}$ , сульфатов, хлоридов. При отсутствии усреднителей пиковые значения концентрации хрома ( $\text{Cr}^{6+}$ ) достигают 600 мг/л.

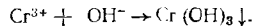
Предшественная очистка хромосодержащих сточных вод может и водиться модификациями этого метода, но наиболее эффективными являются химические, мембранные (ультра и микрофильтрация) и сорбционные методы.

**Модификация реагентного метода.** В графике обслуживания хромосодержащих сточных вод наиболее распространены два основных модифицированных метода, отличающихся реагентами восстановителями ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

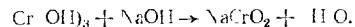
Область применения реагентного метода очистки хромосодержащих сточных вод зависит от условий процесса. При pH > 12 адекватны реакции восстановления хрома в виде гидроксида:

в нем протитовит вод каскад 1) сточной воды и галей.

2-й этап окисление  $\text{Cr}^{3+}$  происходит в щелочной среде. Для экономии и повышения эффективности используют известковое молоко, в некоторых случаях с добавлением  $\text{NaOH}$ . Обратная реакция  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  происходит по реакции:



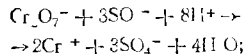
Оптимальные условия для осаждения  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  значения pH 8,5—9,0; при выходе за эти пределы растворимость  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  увеличивается и, как следствие, ухудшается эффективность извлечения хрома. При pH > 12 адекватны реакции восстановления хрома в виде гидроксида:



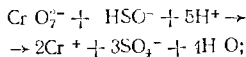
Восстановление сульфитными соединениями. **Область применения.** Обезвреживание хромосодержащих сточных вод в широком диапазоне концентраций.

**Основные процессы.** Сульфитными реагентами в виде сульфитов используются  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{NaHSO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ .

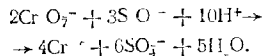
1-й этап. Восстановление  $\text{Cr}^{6+}$  в  $\text{Cr}^{3+}$  происходит по следующим реакциям: восстановление сульфитом натрия:



восстановление дисульфидом натрия:



восстановление гидросульфидом натрия:



Реакции восстановления протекают в кислой среде для чего сточные воды подкисляют 10—15%-ым раствором  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Наибольшая скорость и полнота реакции восстановления имеет место при слабокислой pH 2—2,5 с интенсивным перемешиванием реагентов. Для сокращения времени реакции до 5—7 мин используются сточные воды с концентрациями  $\text{Cr}^{6+} \geq 100$  мг/л, что может быть достигнуто 1-й ступе-

ной очистки. Применяются два варианта технологического оборудования — установки периодического и непрерывного действия.

На установках периодического действия на 1-м этапе окислительные сточные воды очищаются известково-щелочной реакцией, куда добавляют  $\text{NaOH}$  до pH 8—9 подается 1-й этап реагентного восстановления. Реализуется при помощи схемы двух реакторной установки. После обезвреживания сточные воды поступают на общую установку для осаждения  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  (см. рис. 4).

На установках непрерывного действия очистка сточных вод осуществляется в камерах секционного типа, кислая сточная вода поступает в камеру с известковым молоком, в ней до  $\text{Cr}^{6+}$  (1-й этап). Далее поток направляется в камеру установки для совместного нейтрализации и окисления с другими сточными гальваническими цехов. Установки непрерывного действия оборудуются усреднителями смесителями для выравнивания концентрации и расхода в сточных водах аппаратуры контроля и регулирования параметров процесса очистки.

Для обезвреживания хромосодержащих и цианосодержащих сточных вод установки периодического и непрерывного действия аналогичны.

Принципиальная технологическая схема обезвреживания сточных вод гальванических цехов производительностью до 50 м<sup>3</sup>/ч представлена на рис. 4.

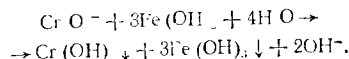
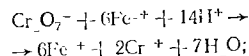
**Преимущества.** Очистка до ПДК. Простота эксплуатации. Для непрерывно действующих установок по сравнению с периодическими требуются очистные сооружения (емкости) в 2—3 раза меньшие по объему.

**Недостатки.** Значительный расход реагентов. Дополнительные загрязнения сточных вод реагентами. Потери хрома. Невозможность возврата воды в оборотный цикл из-за повышенного содержания.

Восстановление железным купоросом. **Область применения.** Обезвреживание хромосодержащих сточных вод с концентрацией  $\text{Cr}^{6+}$  10—900 мг/л.

В качестве реагентов-восстановителей кроме  $\text{FeSO}_4$  используются отходы металлического Fe (стружки, скрап и т. д.).

**Основные процессы.** В отличие от солей сернистой кислоты восстановление  $\text{Cr}^{6+}$  до  $\text{Cr}^{3+}$  сульфатами  $\text{Fe}^{2+}$  происходит с достаточно высокой скоростью в широком диапазоне pH среды (в кислой, нейтральной и щелочной) по реакциям:



При использовании отходов металлического Fe сточные воды фильтруют в реакторе через слой железных стружек. В результате реакции происходит четырехкратное увеличение массы твердого осадка  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , который удерживает до 98% воды. Для полного восстановления  $\text{Cr}^{6+}$  до  $\text{Cr}^{3+}$  необходим 5%-ый избыток реагента от стехиометрического количества независимо от исходной концентрации  $\text{Cr}^{6+}$ .

**Обрудование.** Типовое для реагентного метода.

**Преимущества.** Очистка до ПДК. Простота и малые объемы аппаратуры при фильтрации через железные стружки. Высокая скорость процесса восстановления до  $\text{Cr}^{3+}$ .

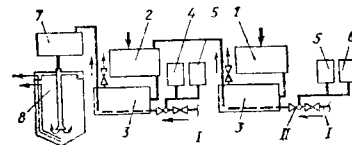


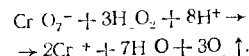
Рис. 4. Принципиальная технологическая схема обезвреживания сточных вод гальванических цехов:

1 — илитель хромосодержащих сточных вод; 2 — насос; 3 — реактор; 4 — щелочная камера; 5 — кислородная камера; 6 — восстановитель; 7 — регулирующий блок; 8 — отстойник; I — в воздухе

**Недостатки.** Необходимость больших затрат реагента. Окисляемость  $\text{Fe}^{2+}$  в  $\text{Fe}^{3+}$  при хранении. Большие количества осадка и сложность его обезвреживания.

Восстановление перекисью водорода. **Область применения.** Обезвреживание хромосодержащих сточных вод с высокой концентрацией (до 1 г/л).

**Основные процессы.** Восстановление  $\text{Cr}^{6+}$  до  $\text{Cr}^{3+}$  осуществляется в кислой среде:



Для строго и полного протекания реакции необходим значительный избыток  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Последующее осаждение  $\text{Cr}^{3+}$  в виде гидроксида проводится  $\text{NaOH}$  в щелочной среде. При pH 8 происходит обратная реакция окисления  $\text{Cr}^{3+}$  до  $\text{Cr}^{6+}$  избытком  $\text{H}_2\text{O}_2$ , поэтому  $\text{H}_2\text{O}_2$  должна удаляться из реакционной среды. Удаление достигается каталитическим разложением на активном угле, металлических катализаторах или при взаимодействии с твердой  $\text{MnO}_2$ .

**Оборудование.** Установки периодического действия, аналогичные используемым для обработки сточных вод активным хлором.

**Преимущества.** Обезвреживание сточных вод с высокой исходной концентрацией до ПДК. Простота технологии. Незначительное содержание окислительной воды. Возможность использования очищенной воды в оборотном цикле. Возможность автоматизации дозировки перекиси водорода.

Н остатков. Сложность хранения  $H_2O_2$ .

Ионнообменный метод. Обезвреживание хромосодержащих сточных вод с конц. трайной  $Cr^{6+}$  не более 300 мг/л и хл. ид. ионов не более 0 мг/л. Регенерация отработанных хромосодержащих электролитов для повторного использования.

Основные процессы. Обработка хромосодержащих сточных вод достигается рядом операций по схеме, представленной на рис. 5.

Ионирование содержащихся в растворе ионов  $Cr^{6+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$  проводят путем обмена на ионы  $H^+$  при фильтрации через катионы в Н-форме. Очищенная от загрязняющих катионов сточная вода направляется на ионирование. Из электролитов химическими и физико-химическими методами извлекаются соединения тяжелых металлов для их утилизации в производстве. После удаления ионов тяжелых металлов вода поступает на дальнейшую очистку. Катионы периодически регенерируются 5—10% ным раствором  $H_2SO_4$  с переводом их в Н-фор-

му, а ионы тяжелых металлов — в растворимые соли.

Ионирование ионов  $H_2CrO_4$  осуществляется при ионировании через аниониты в ОН-форме. Сточная вода после анионирования используется в оборотном цикле гальванического производства.  $Na_2CO_3$  содержится в щелочном средстве, первичном для катионита в Н-форме в 4—5% раствор  $H_2CrO_4$  для повторного использования. Аниониты регенерируют 4—6% ным раствором  $NaOH$ , после чего для перекристаллизации в более активную для ионного звешения хромат-ионов сульфатную форму переводят с 1—2% ным раствором  $Na_2SO_4$ .

Кислые и основные сточные воды после регенерации ионитов подвергаются последующей обработке на катионитах в Н-форме и анионитах в ОН-форме для полной деминерализации и повторно используются.

Оборудование. Принципиальная схема очистки представлена на рис. 6. Преимущество. Возврат (до 90—95%) очищенной воды и раствора  $H_2CrO_4$  в оборотный цикл производ-

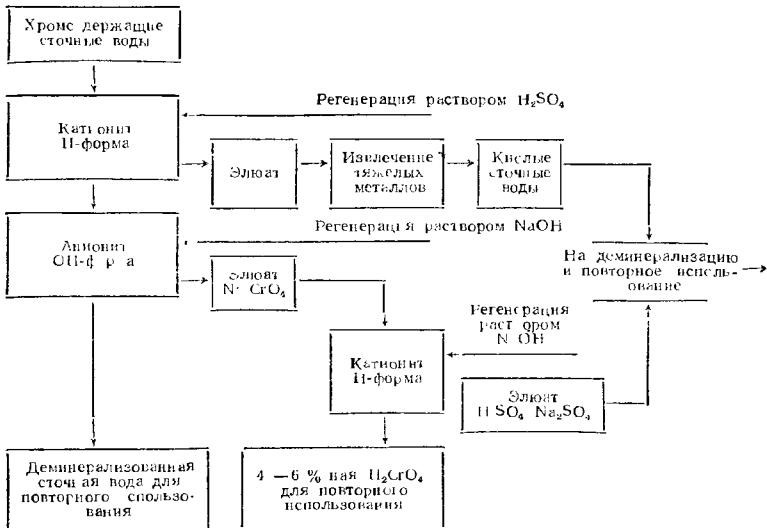


Рис. 5. Схема ионнообменного метода очистки хромосодержащих сточных вод гальванического производства

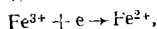
ства. Возможность утилизации отходов тяжелых металлов. Возможность автоматизации процессов очистки сточных вод.

Недостатки. Необходимость тщательной предварительной очистки стоков от растворителей, масел, органических соединений, поверхностно-активных веществ и т. п. Потребность в значительных количествах химикатов для регенерации ионитов и обработки электролитов. Предварительное разделение промывных вод от концентрированных растворов.

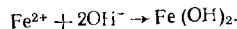
Электрохимические методы. Для очистки хромосодержащих сточных вод гальванического производства в последнее время весьма широко применяются модифицированные электрохимические методы (электрокоагуляционный, электродиализный, электролизный).

Электрокоагуляционный метод с растворимыми железными анодами. Область применения. 1. Обезвреживание хромосодержащих сточных вод при расходе 100 м<sup>3</sup> ч и концентрации  $Cr^{6+}$  или суммарной концентрации ионов тяжелых металлов до 100 мг/л. 2. Регенерация отработанных растворов от процессов хромовокислого анодирования и нанесения хромовых гальванических покрытий.

Основные процессы. В результате электролитического растворения железных электродов возникают ионы  $Fe^{2+}$ :



которые при  $pH \geq 5,5$ , взаимодействуя с ионами  $OH^-$ , образуют  $Fe(OH)_2$ :



Ионы  $Fe^{2+}$  способствуют химическому восстановлению  $Cr^{6+}$  до  $Cr^{3+}$  в бихромат-ионах и хромат-ионах, а также выпадению осадка  $[Fe(CrO_2)_3]$ :

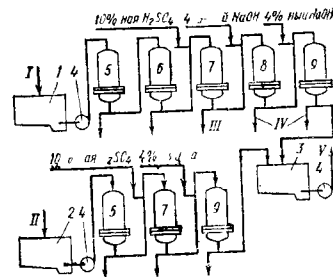
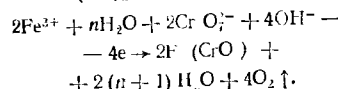
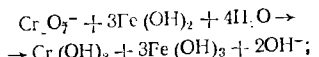
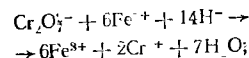
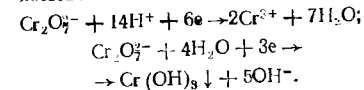


Рис. 6. Принципиальная схема очистки хромосодержащих и кислотно-щелочных стоков методом ионного обмена:

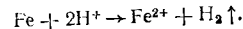
1 — накопитель кислотно-щелочных стоков; 2 — накопитель хромосодержащих стоков; 3 — накопитель обезсоленной воды; 4 — насос; 5 — механический фильтр; 6 — фильтр с активным углем; 7 — фильтр катионитовый; 8, 9 — фильтры анионитовые; 1 — кислотно-щелочные стоки; II — хромосодержащие стоки; III — кислые электролиты; IV — щелочные электролиты; V — возврат в оборотную систему производства

Дополнительно происходят катодные электрохимические процессы восстановления  $Cr^{6+}$ :



При электролизе раствор подщелачивается, что благоприятствует коагуляции рыхлых хлопьев  $Fe(OH)_2$  с разветвленной сорбционной поверхностью, способствующей сосаждению ионов тяжелых металлов.

На катоде образуется газообразный  $H_2$ :



Оптимальная среда имеет  $pH$  3—7 и корректируется в зависимости от соотношения  $Cr^{6+}$  и ионов тяжелых металлов в сточных водах. В оптимальных условиях происходит практически одновременное восстановление  $Cr^{6+}$  в  $Cr^{3+}$  и осаждение  $Cr^{3+}$  в виде  $Cr(OH)_3$ . Необходимое время контакта раствора с электродами — несколько десятков секунд. Материал электродов — низкоуглеродистые стали. Плотность тока на аноде 0,8—1,2 А/дм<sup>2</sup>. Для поддержания оптимальной электропроводности раствора минимальное

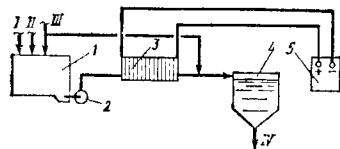


Рис. 7. Принципиальная схема очистки хромосодержащих стоков электрохимическим методом:

1 — усреднитель-накопитель; 2 — насос; 3 — электрокоагулятор; 4 — отстойник; 5 — выпрямитель; 11 — сточные воды из гальванического цеха; 12 — раствор  $\text{NaCl}$ ; 13 — раствор щелочи; 14 — осадок на обезвреживание

обшее содержание не должно превышать 300 мг/л. При исходных концентрациях  $\text{Cr}^{6+} > 100$  мг/л возрастают удельный расход металла, электроэнергия, время обработки, выделение газообразного водорода, необходимость применения депассивирующих добавок. Для предотвращения пассивации в обрабатываемые сточные воды вводят некоторый избыток  $\text{NaCl}$ .

Образующийся объемный осадок отстаивают и уплотняют в течение суток. Добавление флокулянта (1—2 мг/л полиакриламида) ускоряет коагуляцию частиц осадка. Остаточные концентрации  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  и других ионов тяжелых металлов в сточной воде не превышают ПДК.

**Оборудование.** Принципиальная схема очистки (рис. 7) включает электрокоагулятор со стальными анодами, снабженный вытяжной вентиляцией, емкости для корректировки величины рН щелочными реагентами и электропроводности раствором  $\text{NaCl}$ , аппараты для фильтрации и осветления воды.

Осадок  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  и других тяжелых металлов после обезвреживания на вакуум-фильтре, фильтрпрессе или центрифуге может быть использован в качестве металлургического сырья.

**Преимущества.** Компактность, простота эксплуатации и высокая производительность оборудования. Отсутствие в потребности химических реагентов. Малая чувствительность к изменениям параметров процесса (рН,  $t$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ). Возможность автоматизации. Экономический эффект по сравнению с реагентным методом.

**Недостатки.** Для использования воды в оборотном цикле при большом солесодержании требуется введение ионообменного метода. Значительный расход металла для растворимых анодов. Пассивация анодов. Необходимость предварительного разбавления концентрированных стоков перед очисткой. Значительное образование шламов.

**Электрохимический метод с нерастворимыми анодами.** Область применения. Обезвреживание хромосодержащих сточных вод с большими концентрациями  $\text{Cr}^{6+}$  (более 2 г/л).

**Основные процессы.** Электролиз проводится со свинцовыми анодами, не подвергающимися электролитическому растворению. Применяются аноды из  $\text{Pb}$  или  $\text{Pb-Sb}$ -сплава. Катоды — из легированной стали.

В присутствии ионов  $\text{Fe}^{3+}$  катодный процесс восстановления  $\text{Cr}^{6+}$  до  $\text{Cr}^{3+}$  интенсифицируется и одновременно ингибируется анодный процесс окисления  $\text{Cr}^{2+}$  до  $\text{Cr}^{3+}$ .

После электрохимической обработки к сточным водам добавляются щелочные реагенты для осаждения  $\text{Cr}^{3+}$  в виде  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ . Выход  $\text{Cr}^{3+}$  по току составляет 70—90 %.

**Оборудование.** Бездиафрагменный непроточный электролизер периодического действия со свинцовыми анодами.

**Преимущества.** Полное исключение реагентов восстановит дей и сокращение затратного хозяйства. Значительное уменьшение количества шламов. Простота эксплуатации производственных установок. Экономический эффект от сокращения расходов на химические реагенты.

**Недостатки.** Аноды из дефицитного  $\text{Pb}$  и его сплавов.

**Мембранные методы. Ультра- и гиперфильтрация.** Область применения. Очистка сточных вод от  $\text{Cr}$  в оборотной системе водоснабжения с утилизацией ценных компонентов.

**Основные процессы.** К мембранным методам относятся ультра- и гиперфильтрация. Ультрафильтрация — процесс отделения растворенных веществ от растворителя полупроницаемыми мембранами с порами 0,005—0,2 мкм под давлением 0,1—0,5 МПа. Гиперфильтрация (обратный осмос) —

процесс отделения воды от гидратированных ионов растворенных солей при фильтрации через полупроницаемые мембраны толщиной 0,1—0,2 мкм с порами 0,001 мкм под давлением 6—10 МПа.

Гиперфильтрацию рекомендуется использовать для очистки сточных вод не только от солей  $\text{Cr}$ , но и от солей других металлов.

Мембраны должны обладать высокой разделяющей способностью (селективностью), большой удельной производительностью (проницаемостью), устойчивостью к действию среды, достаточной механической прочностью и стабильностью при эксплуатации. Мембраны изготавливают из полимерных материалов.

Наибольшее распространение получили мембраны из ацетицеллюлозы, устойчивые при давлениях до 10 МПа, температурах 0—30  $^{\circ}\text{C}$ , рН 3—8. При 50  $^{\circ}\text{C}$  ацетицеллюлозные мембраны разрушаются. Намечены к промышленному производству ацетицеллюлозные мембраны марки УАМ для ультрафильтрации и марки МГА для гиперфильтрации. Например, мембраны марки УАМ-200м имеют средний диаметр пор  $0,018 \pm \pm 0,003$  мкм, пористость  $75 \pm 3$  % и позволяют обеспечить производительность 500—1400 л/(м<sup>2</sup>·сут). Мембраны марки МГА-95 с селективностью 95 % и пористостью  $75 \pm 3$  % обеспечивают производительность 250 л/(м<sup>2</sup>·сут). Регенерация мембран осуществляется через 2—3 сут эксплуатации.

**Оборудование.** Аппараты для ультра- и гиперфильтрации характеризуются большой поверхностью фильтрации и подразделяются по способу укладки мембран на четыре типа: фильтрпресс с плоскопараллельными фильтрующими элементами; с трубчатыми фильтрующими элементами; с рулонными или спиральными фильтрующими элементами; с мембранами в виде пучков волокон.

Принципиальная схема очистки сточных вод методом гиперфильтрации представлена на рис. 8. Для очистки сточных вод гальванических производств разработаны два типа установок: УГОС-1 и УГОС-2. Эти установки выполнены двухступенчатыми. На первой ступени происходит концентрирование сточных вод, полу-

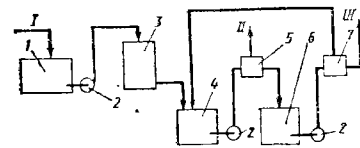


Рис. 8. Принципиальная схема очистки хромосодержащих сточных вод методом гиперфильтрации (замкнутая):

1 — накопитель; 2 — насос; 3 — механический фильтр; 4 — накопитель; 5 — гиперфильтрационный аппарат 1-й ступени; 6 — выпрямитель; 7 — гиперфильтрационный аппарат 2-й ступени; 11 — сточная вода из гальванического цеха; 12 — возврат концентрированного раствора в производство; 13 — возврат очищенной воды в оборотную систему производства

ченный концентрат возвращается в производство. На второй ступени проводят дополнительную очистку фильтрата первой ступени. Производительность установки УГОС-1 по фильтрату на первой и второй ступенях составляет соответственно 95 и 70 л/ч, общая поверхность ацетицеллюлозных мембран 19 м<sup>2</sup>. Давление 6,3 МПа. Производительность первой и второй ступени установки УГОС-2 равна соответственно 630 и 450 л/ч. Общая площадь полиамидных мембран 150 м<sup>2</sup>. Мембраны поставляются рулонами длиной 20—25 м и шириной 0,4 и 1,0 м.

**Преимущества.** Возможность полного использования сточных вод в оборотной системе. Значительное сокращение расхода энергии и ценных химикатов. Возможность утилизации ценных компонентов сточных вод. Возможность автоматизации процесса.

**Недостатки.** Большие капитальные вложения на оборудование и эксплуатационные затраты. Явление концентрационной поляризации на поверхности мембран уменьшает проницаемость (производительность), степень разделения и срок службы.

**Сорбционный метод. Область применения.** Обезвреживание хромосодержащих сточных вод с концентрацией  $\text{Cr}$  до 150 г/л.

**Основные процессы.** При фильтрации подкисленных сточных вод через активный уголь содержащийся в них  $\text{Cr}^{6+}$  восстанавливается до  $\text{Cr}^{3+}$ , который практически полностью сорбируется поверхностью сорбента.

Не связывают сорбенты различных марок, например БАУ-А (ГОСТ 6217-74\*). Сточные воды предварительно подкисляются  $H_2SO_4$  до pH 1,5—2,0. Скорость фильтрации в pH среды меняются в зависимости от содержания  $Cr^{6+}$  и составляют соответственно 7 м/ч и pH 2 при концентрации до 5 г/л и 0,1 м/ч и pH 1 при 150 г/л.

В сравнении сорбента производят  $H_2SO_4$ . Образующийся элюат содержит  $Cr^{6+}$  в виде  $Cr_2(SO_4)_3$ . При регенерации сорбента 15%-ным NaOH элюат содержит ионы  $CrO_4^{2-}$  в виде  $Na_2CrO_4$ . После регенерации сорбент ошпаривают водопроводной водой до pH 1—8.

**Процесс очистки.** Очистка сточных вод на гранулированных сорбентах происходит в аппаратах — адсорберах с плотным, взрыхленным, движущимся и последовательным слоем. Одно- и многослойные адсорберы с плотным слоем гранулированного активного угля работают с восходящим и нисходящим потоком воды, по параллельной и последовательной схемам.

Сорбцию загрязнений на пылевидных сорбентах ведут либо в аппаратах с перемешиванием воздуха или мешалкой, либо на намывных фильтрах. Во всех случаях могут применяться одна или несколько последовательных ступеней с неограниченным числом параллельных технологических линий.

**Преимущества.** Высокая эффективность очистки (до 95 %). Возможность совместного удаления различных по природе загрязнений практически до любой концентрации. Отсутствие вторичных загрязнений. Возможность повторного использования очищенной воды после корректировки pH для промывочных операций. Возможность регенерации сорбирующих веществ.

**Недостатки.** Значительная стоимость сорбентов, особенно активных углей. Необходимость узла регенерации сорбентов.

#### МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ КИСЛОТЫ, ЩЕЛОЧИ И ИОНЫ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Промывные воды и отработанные электролиты после процессов нанесе-

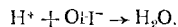
ния электролитических покрытий, обезжиривания, травления и кислотной активации без цианистых и хромистых соединений обычно смешиваются перед очисткой и образуют группу кислых, щелочных и содержащих ионы тяжелых металлов сточных вод. В сточных водах гальванических цехов обычно содержатся следующие катионы тяжелых металлов:  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и т. п.

Щелочные воды характеризуются высоким pH 10—12. Кислые воды загрязнены кислотами (pH 2—5). Концентрации ионов тяжелых металлов обычно для  $Fe^{3+}$  и  $Fe^{2+}$  до 1,5 г/л, для  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  до 100 мг/л.

При смешении вод разных технологических линий достигается предварительная частичная нейтрализация. Для сброса сточных вод в городские канализационные сети проводят коррекцию pH среды до допустимой нормативно-техническими документами величины 6,5—8,5. Нейтрализация и очистка кислотно-щелочных стоков с ионами тяжелых металлов могут быть осуществлены реактивными, ионообменными и электрохимическими методами.

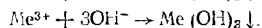
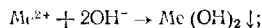
**Реактивный метод.** Область применения. Обезвреживание не содержащих цианистых и хромистых соединений кислотно-щелочных сточных вод с ионами тяжелых металлов до предельно допустимых концентраций.

**Основные процессы.** Химическая нейтрализация кислых (с pH < 6,9) и щелочных (с pH > 8,5) вод происходит по реакции



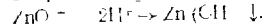
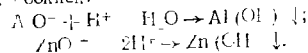
Нейтрализация свободных минеральных кислот достигается добавками растворимых в воде щелочных реагентов.

Ионы тяжелых металлов при нейтрализации превращаются в труднорастворимые гидроксиды, выпадающие в осадок:



В щелочных сточных водах, например при щелочном травлении алюминевых сплавов и нанесении цинковых покрытий из щелочных электролитов,

металлы с амфотерными свойствами (Zn, Al и др.) содержатся в виде амфиов. Их нейтрализация достигается кислотами, при которой образуются гидроксиды:



Если же pH падает, то в результате с водой и при окислении от природы металлов и целого ряда физико-химических параметров (температура, концентрация, посторонние примеси и т. п.).

Реактивная очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов состоит из двух процессов: образования труднорастворимых соединений и выделения их в осадок. Для лучшей и более быстрой коагуляции осаждаемых гидроксидов используют флокулянт — полиакриламид.

**Оборудование.** Очистка кислотно-щелочных сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, по классической схеме входит в общую схему канализации и периодически обезвреживания циан- и хромсодержащих (рис. 9). Каждый вид стоков канализируется отдельно во избежание смешивания, которое может привести к образованию токсичных веществ. По этой причине воздерживаются от гальванопокрытий циансодержащими реагентами.

При осаждении гидроксидов тяжелых металлов образуются значительные количества шламов, для отделения которых применяют отстойники различных конструкций (горизонтальные, вертикальные), а для обезжиривания — вакуум-фильтры, флюиды и центрифуги.

При объемах сточных вод 0—30 м<sup>3</sup>/ч обычно реализуется периодическая схема очистки, а при боль-

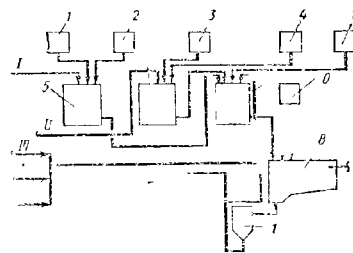


Рис. 9. Типовая схема канализации для обезвреживания сточных вод цехов гальванических цехов.

1 — отстойник; 2 — фильтр; 3 — емкость для реагентов; 4 — насос; 5 — отстойник; 6 — емкость для реагентов; 7 — отстойник; 8 — емкость для реагентов; 9 — отстойник; 10 — емкость для реагентов; 11 — емкость для реагентов.

ших — смешанная или непрерывная. Имеются разновидности непрерывного процесса нейтрализации металлов, очистки от тяжелых металлов, схема которых включает дозаторы, насосную систему, смеситель-реактор нейтрализации, систему датчиков измерения и исполнительных механизмов регулирования pH-среды, расхода, концентрации, температуры.

**Преимущества.** Простота эксплуатации. Возможность автоматизации непрерывной очистки до ПДК.

**Недостатки.** Непригодность использования очищенной воды в оборотном цикле из-за большого содержания соли. Невозможность извлечения из шлама тяжелых металлов для утилизации. Потребность в значительных площадях для шламоотвалов.

**МАТЕРИАЛЫ,  
ПРИМЕНЯЕМЫЕ  
В ГАЛЬВАНИЧЕСКОМ  
ЦЕХЕ**

**ХИМИКАТЫ**

Гальваническое производство является крупным потребителем различных химических препаратов — растворителей, щелочей, кислот и солей. Перечень этих материалов дан в табл. 1 и 2.

**МЕТАЛЛЫ**

Металлы в гальваническом производстве, используемые в качестве анодов, а также для изготовления гальванического оборудования, приспособлений, змеевиков, барботеров, приведены в табл. 3 и 4.

**НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ  
МАТЕРИАЛЫ**

В гальванических цехах, в связи с применением большого количества различных видов химических продуктов, полимерные материалы ис-

пользуются в широком ассортименте для футеровки ванны, изоляции приспособлений, изготовления барабанов и колоколов, зубчатых колес к ним, изготовления трубопроводов, втулок бортовых отсосов, змеевиков, барботеров и т. д.

Основные виды применяемых неметаллических материалов приведены в табл. 5.

**АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Стандарты на материалы для механической обработки поверхности приведены в табл. 6.

Характеристики шлифовальных материалов в соответствии с ГОСТ 3647—80 приведены в табл. 7.

**ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Вспомогательные материалы, применяемые в гальваническом производстве, приведены в табл. 8.

**1. Растворители**

Растворитель	ГОСТ, ТУ	Растворитель	ГОСТ, ТУ
Ацетон	2768—79	Ксилол	5280—79Е
Бензин Б-70	1012—72*	Скипидар	1571—82
Бензин А-72, А-74	2084—77*	Тетрахлорэтилен	ТУ 6-09-4084—75
Бензин БР-1, БР-2	445—76*	Толуол	5789—78*
Бензол	8448—78Е	Трихлорэтилен	9976—70*
Растворители: 645,	18188—72**	Уайт-спирит	3134—78*
646, 647, 648		Хладон П3	23844—79
Растворитель Р-4	7828—80	Четыреххлористый углерод	4—75*
Керосин	4753—68*		

**2. Кислоты, щелочи и другие химические соединения**

Химическое соединение	Химическая формула	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Квалификация	
Кислоты:	азотная	HNO <sub>3</sub>	4461—77	Ч* Техн.*
	азотная концентрированная	HNC <sub>3</sub>	701—78	
	адипиновая	(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> (COOH) <sub>2</sub>	10558—80	Ч.
	бензойная	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	10521—78*	Ч.
	борная	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	9656—75*	Ч.
	борная	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	18200—79Е	Техн. Ч.
	серфтористоводородная	HBF <sub>4</sub>	ТУ 6-09-2577—77	Ч.
	винная (виннокаменная)	(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	5817—77	Ч.
	ванадиевая	HVO <sub>3</sub>	ТУ 6-09-02-128—75	Ч.
	гидратированная	C <sub>4</sub> H <sub>7</sub> (COOH) <sub>2</sub>	ТУ 6-09-472—79	Ч.
	кремнефтористая (45 %-ная)	H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	ТУ 6-09-2774—79	Ч.
	лимонная	(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COH(COOH) <sub>2</sub>	СТ СЭВ 394—76	Ч.
	меллеборовая	H <sub>2</sub> MeO <sub>4</sub>	ТУ 6-09-2154—77	Техн. Ч.
	меларж кислотный	89 % HNO <sub>3</sub> + + 7,5 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1500—78*	Техн.
	ортофосфорная термическая	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	10678—76*Е	Ч.
	ортофосфорная	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	6552—80	Ч.
	олеиновая	C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH	7580—59*	Техн. Ч.
	олеиновая	C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH	10476—75*	Техн. Ч.
	пикриновая (30 %-ный раствор)	(NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> OH	ТУ 6-14-253—74	Ч.
	пирофосфорнокислая	H <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5653—75*	Ч.
серная	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4204—77*	Техн. Ч.	
серная аккумуляторная	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	667—73*	Техн. Ч.	
серная техническая	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2184—77*	Техн. Ч.	
соляная	HCl	3118—77*	Техн. Ч.	
стеариновая	HCl	ТУ 6-01-1164—79	Техн. Ч.	
сульфамидная	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> COOH	6484—64**	Ч.	
сульфосалициловая	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	ТУ 6-03-381—80	Ч.	
сульфамиловая	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	4478—78*	Ч.	
уксусная	NH <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> SO <sub>3</sub> H	3821—78*	Ч.	
п-фенолсульфоновая	CH <sub>3</sub> COOH	61—75*	Ч.	
фосфитоводородная (плашкивая) 40 %-ная	HOC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> SO <sub>3</sub> H	ТУ 6-09-4137—75	Техн. Ч.	
фтористоводородная	HF	2567—73	Ч.	
щавелевая	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	10484—78	Ч.	
ятарная	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub>	2210—76	Ч.	
6341—75*				
Щелочи:				
аммиак водный	NH <sub>3</sub> OH	3760—79	Ч.	
аммиак водный	NH <sub>3</sub> OH	9—77*	Техн. Ч.	
бария гидроксид	Ba(OH) <sub>2</sub> ·8H <sub>2</sub> O	10848—79Е	Техн. Ч.	
кальция гидроксид	KOH	9285—78	Техн. Ч.	
кальция гидроксид	Ca(OH) <sub>2</sub>	9262—77	Ч.	
натрия гидроксид	NaOH	2263—79	Техн. Ч.	
натрия гидроксид	NaOH	41078—78*	Техн. Ч.	
общедоступная	NaOH	4328—77**	Ч.	
натрия гидроксид	—	ТУ 6-14-549—80	Техн. Ч.	
Авириоль ОГ (смазочный)	KAl(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·12H <sub>2</sub> O	15028—77*	Техн. Ч.	
Алюмокалиевые квасцы	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·18H <sub>2</sub> O	12966—75*	Техн. Ч.	
Алюминий сернокислый	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	22867—77	Ч.	
Аммоний азотнокислый	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	4208—72	Чда.	
Аммоний-железо (II)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	ТУ 6-09-1032—76	Ч.	
сернокислый	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O		Ч.	
Аммоний-железо (III)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	3763—76*	Ч.	
диаммоний-железо (III)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		Ч.	
щавелевокислый	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	20478—75*	Ч.	
Аммоний двухромовокислый				
Аммоний надсернокислый				



Продолжение табл. 2

Химическое соединение	Химическая формула	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Квалификация
Аммоний сернистый очищенный	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	10873—73*	Техн.
Аммоний сернокислый	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	3769—78	Ч.
Аммоний титанофтористый	$(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$	ТУ 6-09-01-456—77	Ч.
Аммоний углекислый	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	3770—75	Ч.
Аммоний фосфорнокислый двузамещенный	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	3772—74	Ч.
Аммоний фтористый	$\text{NH}_4\text{F}$	4518—75*	Ч.
Аммоний фтористый кислый	$\text{NH}_4\text{HF}_2$	9516—75*	Ч.
Аммоний хлористый	$\text{NH}_4\text{Cl}$	3773—79*	Ч.
Аммоний хлористый	$\text{NH}_4\text{Cl}$	2210—73*	Техн.
Аммоний роданистый	$\text{NH}_4\text{CNS}$	СТ СЭВ 222—75	Техн.
Аммоний уксуснокислый	$\text{CH}_3\text{COONH}_4$	3117—78	Ч.
Аммоний щавелевокислый	$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	5712—78	Ч.
Ангидрид малеиновый	$\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_3$	58*4—78	Ч.
Ангидрид хромовый	$\text{CrO}_3$	2548—77*Е	Техн.
Ангидрид хромовый	$\text{CrO}_3$	3776—78	Ч.
Анилин олянокислый	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NCl}$	5822—78	Ч.
Аэросил А-380	—	14922—77*	Ч.
Барий азотнокислый	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	3777—76	Ч.
Барий уксуснокислый	$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ba}$	5816—77	Ч.
Барий углекислый	$\text{BaCO}_3$	2149—75*	Техн.
Бензолсульфамид	$\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_2\text{NH}_2$	ТУ 6-09-2659—81	Ч.
1,4-Бутиндиол (раствор)	$\text{HOCH}_2\text{C}\equiv\text{CCH}_2\text{OH}$	ТУ 64-5-52—79	Ч.
БОС-2	—	ТУ 6-09-05-318—75	Ч.
Велскообразователь БЦУ	—	РСТ Лит. ССР 788—81	Ч.
Бутанол-1	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	8006—78	Хч.
Вератровый альдегид	$(\text{CH}_3\text{O})_2\text{C}_6\text{H}_4\text{CHO}$	ТУ 64-6-32—73	Ч.
Висмут сернокислый	$\text{Bi}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	ТУ 6-09-4218—81	Ч.
Водорода перекись	$\text{H}_2\text{O}_2$	177—7*	Техн.
Гидразин	$\text{NH}_2\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	3832—76	Ч.
Гидразин сернокислый	$\text{NH}_2\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$	5811—74*	Ч.
Гидразина дигидрохлорид	$\text{NH}_2\text{NH}_2 \cdot 2\text{HCl}$	22159—76	Ч.
Гидроксиламина гидрохлорид	$\text{HOONH}_2 \cdot \text{HCl}$	5436—79	Ч.
Гидрохинон	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$	19627—74*	Техн.
Глицерин (гликоколь)	$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	5860—75*	Ч.
Глицерин динамический	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$	6289—75*	Техн.
Глюкоза	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	6038—79	Ч.
Декстрин	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	8031—74*	Ч.
Деталин	—	ТУ 18 РСФСР № 506—72	Техн.
Диметилформамид	$(\text{CH}_3)_2\text{NCHO}$	20*9—74	Ч.
Диспергатор ПФ	—	6848—79	Ч.
Дихлорэтан	$\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	1941—74	Техн.
Диэтилен	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}$	9875—75*	Техн.
ДХТН-10	—	ТУ 6-09-6211—75	Ч.
ДХТН-11	—	ТУ 3-09-149—79	Ч.
ДХТН-20	—	ТУ 6-09-4632—78	Ч.
ДХТН-10.	—	ТУ 6-09-09-4737—79	Ч.
ДХТН-ВННППДВ-001	—	ТУ 38—40846—80	Техн.
Железоаммонийные квасцы	$\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	4205—77*	Ч.
Железо (II) сернокислое	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4148—78	Ч.
Железо (III) сернокислое	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	9485—74*	Ч.
Железо треххлористое	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	11159—76	Техн.
Железо щавелевокислое	$\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	11090—75	Ч.
Желатина фотографическая	—	1821—77*	Ч.
Жидкость гидрофобизирующая 136-41	—	10831—76	Ч.
Защитители ДЦУ и устойчивый-2	—	6858—78	Ч.
Инициатор И-2-В	—	ТУ 38.103339—76	Ч.
Инициатор И-1-Е	—	ТУ 38.103525—82	Ч.
Известка строительная гидратная (венская)	$\text{CaO} + \text{Mn}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	9179—74	Техн.
Известка хлорная	—	1692—58*	Техн.
Кадмий сернокислый	$\text{CdS} \cdot \frac{8}{3} \text{H}_2\text{O}$	1456—75	Ч.
Кадмий хлористый	$\text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$	4330—76	Ч.

Продолжение табл. 2

Химическое соединение	Химическая формула	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Квалификация
Кадмия окись	$\text{CdO}$	11120—7	Ч.
Кадмий борфтористый	$\text{Cd}(\text{BF}_4)_2$	ТУ 6-09-196—77	Ч.
Кадмий дицианоселенат	$\text{KAg}(\text{CN})_2$	ТУ 6-09-1—75	Ч.
Кадмия дигидроурат	$\text{KAg}(\text{CN})_2$	20*75	Ч.
Кадмий трибромвиннокислый	$\text{K}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$	84—79	Ч.
Кадмий азотнокислый	$\text{NO}$	117—77*	Ч.
Кадмий селитрат	$\text{K}_2\text{O}$	1990—4*	Техн.
Кадмий титанохлорид	$\text{K}_2\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	6*5—77	Ч.
Кадмий двуххромовокислый	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	262—78	Техн.
Кадмий двуххромовокислый	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	4220—75*	Ч.
Кадмий железосинеродистый	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	40—	Ч.
Кадмий железосинеродистый	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	207—7	Ч.
Кадмий железосинеродистый	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	6816—79Е	Техн.
Кадмий йодистый	$\text{KJ}$	42—74	Ч.
Кадмий лимоннокислый трехзамещенный	$\text{K}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	38—78	Ч.
Кадмий кремнефтористый	$\text{K}_2\text{SiF}_6$	ТУ 6-09-160—77	Ч.
Кадмий лимоннокислый однозамещенный	$\text{K}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$	9189—73	Ч.
Кадмий марганцовокислый	$\text{KMnO}_4$	577—71*	Техн.
Кадмий марганцовокислый	$\text{KMnO}_4$	2090—*	Ч.
Кадмий надсернокислый	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$	4146—74*	Ч.
Кадмий пирофосфорнокислый	$\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	ТУ 6-25-0—81	Ч.
Кадмий ренгенокислый	$\text{KReO}_4$	ТУ 6-09-04-79—74	Ч.
Кадмий роданистый	$\text{KSCN}$	4139—75	Ч.
Кадмий сернокислый	$\text{K}_2\text{SO}_4$	4145—74*	Ч.
Кадмий сурьмяновиннокислый	$\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	ТУ 6-09-03—76	Ч.
Кадмий титанощавелевокислый	$\text{K}_2\text{Ti}(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	ТУ 6-09-1785—77	Ч.
Кадмий титанохлорид	$\text{K}_2\text{TiCl}_6$	ТУ 6-09-4652—78	Техн.
Кадмий трифосфат	$\text{K}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$	1499—78	Ч.
Кадмий углеродистый	$\text{K}_2\text{CO}_3$	4221—76	Ч.
Кадмий фосфорнокислый двухзамещенный	$\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	2403—75*	Ч.
Кадмий фосфорнокислый однозамещенный	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	4198—75*	Ч.
Кадмий фтористый	$\text{K}_2\text{F}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	20848—75	Ч.
Кадмий хлористый	$\text{KCl}$	4234—77*	Ч.
Кадмий цианистый	$\text{KCN}$	5465—79*	Техн.
Кадмий этакрилат	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	4142—77*	Ч.
Кальций окись	$\text{CaO}$	8677—76	Ч.
Кальций углекислый	$\text{CaCO}_3$	12085—73*	Техн.
Кальций хлористый	$\text{CaCl}_2$	7167—77*	Ч.
Кальций хлористый	$\text{CaCl}_2$	4460—77	Ч.
Кальций хлористый	—	ТУ 21-25-194—76	Ч.
Кальций хлористый	—	ТУ 6-01-873—74	Техн.
Кальций хлористый	—	4462—78	Ч.
Кальций хлористый	$\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4525—77	Ч.
Кальций хлористый	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10561—80	Техн.
Кальций хлористый	$\text{NaAlF}_6$	ТУ 6-09-3503—74	Техн.
Концентрат противозадирный фосфат рудный КФФ-1	—	ОСТ 6-2-9—79	Техн.
Концентрат фосфатирующий КФФ-1	—	ТУ 6-09-3503—75	Техн.
Концентрат фосфатирующий КФФ-2	—	ТУ 6-25-31—77	Техн.
Концентрат фосфатирующий КФФ-3	—	ТУ 81-4-419—76	Техн.
Концентрат литиевые сульфитно-сернистый бард	—	ТУ 6-09-1787—77	Чда
Краситель алizarиновый красный С	—	ТУ 6-09-2105—77	Чда

Продолжение табл. 2

Химическое соединение	Химическая формула	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Квалификация
Красители органические для алюминия (желтый, 3, золотистый, оранжевый 2Ж, черны)	—	ТУ 6-14-515—76	Техн.
Ликонда Ф-1	—	ТУ 88 Лит. ССР 3—81	Техн.
Ликонда ZnSR-A, B, C	—	ТУ 6-09-4286—76	Техн.
Ликонда 1А	—	ТУ 6-18-134—72	Техн.
Ликонда 1В	—	ТУ 6-09-3662—74	Техн.
Ликонда 2А-Т	—	ТУ 6-18-203—75	Техн.
Ликонда 21	—	ТУ 6-18-193—77	—
Ликонда 22	—	ТУ 6-18-214—76	—
Ликонда 25	—	ТУ 6-18-200—78	—
Ликонда 31	—	ТУ 6-09-4410—77	—
Ликонда 32	—	ТУ 6-09-4411—77	—
Ликонда 41	—	ТУ 6-09-4429—77	—
Ликонда 1	—	ТУ 6-09-4753—81	—
Лимед БЦ-1, БЦ-2, БЦ-3, БЦУ	—	РСТ Лит. ССР 870—78	—
Лимед НБЦ-О, НБЦ-К	—	ТУ 88 Лит. ССР 5—77	—
Лимед НЦ	—	ТУ 6-09-4428—77	—
Лимед БК-2, БК-2с	—	РСТ Лит. ССР 855—78	—
Лимед БК-10	—	ТУ 88 Лит. ССР 3—78	—
Лимеда Sn-2, Sn-22	—	ТУ 6-09-4615—78	—
Лимеда Л-2	—	ТУ 88 Лит. ССР 1—78	—
Магний сернокислый	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	4 23—77*	Ч.
Магний хлористый	MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	4209—77*	Ч.
Марганец (IV) двуокись	MnO <sub>2</sub>	4470—79	Ч.
Марганец (II) сернокислый	MnSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	435—77	Ч.
Марганец хлористый	MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	612—75	Ч.
Медь жемчужная (40% воды в створ)	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O	ОСТ 6-25-14—79 ТУ 6-09-3757—74	Техн. Хч.
Медь борфтористая	Cu(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	ТУ 6-09-3964—75	Ч.
Медь (I) сернокислая	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	416—78*	Ч.
Медь (II) углекислая основная	CuCO <sub>3</sub> ·Cu(OH) <sub>2</sub>	8927—79	Ч.
Медь двухлористая	CuCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	4167—74*	Ч.
Медь цианурная	Cu(CN) <sub>2</sub>	10018—79*	Техн.
Медь триаминная	NO <sub>2</sub> C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> N <sub>3</sub>	ТУ 6-14-983—75	Техн.
МЛ-1 МЛ-2 (оцинк)	—	ТУ 84-288—76	Техн.
Моноэтиленгликоль	NH <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> OH	ТУ 6-09-2447—77	Ч.
Мышьяк технический	—	750—69	Ч.
Натрий азотнокислый	NaNO <sub>2</sub>	419—74*	Ч.
Натрий азотистокислый	NaNO <sub>2</sub>	19906—74*	Техн.
Натрий азотнокислый	NaNO <sub>3</sub>	828—77*	Техн.
Натрий азотнокислый	NaNO <sub>3</sub>	4165—79	Ч.
Натрий виннокислый	Na <sub>2</sub> C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub> ·2H <sub>2</sub> O	36 6—78	Ч.
Натрий вольфрамвоксислый	Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	18289—78	Ч.
Натрий двуххромовокислый	Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ·2H <sub>2</sub> O	4237—6*	Ч.
Натрий дитиодитиокарбамат	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> NCSSNa·3H <sub>2</sub> O	8864—71*	Ч.
Натрий кремнефтористый	Na <sub>2</sub> SIF <sub>6</sub>	87—77	Техн.
Натрий карбоксиметилцеллюлоза	—	ОСТ 6-05-385—80	Техн.
Натрия лаурилсульфат	C <sub>12</sub> H <sub>25</sub> OSO <sub>3</sub> Na	ТУ 6-09 64—75	Ч.
Натрий лимоннокислый	Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub> ·5,5H <sub>2</sub> O	22*80—76	Ч.
Натрий молибденовокислый	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	10931—74**	Ч.
Натрий оловянокислый	Na <sub>2</sub> SnO <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	ТУ 6-09-1506—76	Ч.
Натрий пирофосфорнокислый	Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	342—77	Ч.
Натрий салициловокислый	HOOC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> COONa	17628—72	Ч.
Натрий селенистокислый	Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	ТУ 6-09-1315—76	Ч.
Натрий сернистый	Na <sub>2</sub> S·9H <sub>2</sub> O	546—79	Техн.
Натрий сернистокислый	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	5644—75*	Техн.
Натрий серноватистокислый	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	СТ СЭВ 223—75	Ч.

Продолжение табл. 2

Химическое соединение	Химическая формула	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Классификация
Натрий сернокислый	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	6 18—77*	Техн.
Натрий сульфосалициловокислый	NaO SC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (OH)X X:COONa·3H <sub>2</sub> O	ТУ 12П-140—72	Ч.
Натрий тетраортоокислый	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	41 9—76*	Ч.
Натрий углекислый	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O	84—76*	Ч.
Натрий уксуснокислый	CH <sub>3</sub> COONa	199—78	Т.Хч.
Натрий уксуснокислый	CH <sub>3</sub> COONa·3H <sub>2</sub> O	2 80—76	Ч.
Натрий фосфорноватистокислый	NaH <sub>2</sub> PO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	00—76	Ч.
Натрия гипофосфит	NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	6 7—79	Техн.
Натрий фосфорнокислый трехзамещенный	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·1H <sub>2</sub> O	9 7—79*	Ч.
Триплатрифосфат	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	2 1—6*	ехн.
Натрия триполифосфат	Na <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	1 493—77Е	н.
Натрий фосфорнокислый двухзамещенный	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	41 2—76	—
Натрий фтористый	HF	2 1—75*	Техн.
Натрий хлористый	NaCl	4 3—77	Ч.
Натрий цианурный	NaCN	8 64—79*	Т.Хч.
Натрий этиловый	NaC	ТУ 6-03-16 79	Ч.
2,6-2,7-нафтандисульфокислота	C <sub>10</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	ТУ 6-14-10 9 8	Техн.
НИБ-3	—	—	—
НИБ-11	—	—	—
Никель сернокислый	NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	ТУ 6-09-4313—78	Ч.
Никель сернистый	NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	6 14-19-1—78	Ч.
Никель сульфаминовокислый	NiNH <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·2·4H <sub>2</sub> O	4 6—74*	Ч.
Никель хлористый	NiCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	9—76	Т.Хч.
Никель уксуснокислый	(Cl)NiOO·4H <sub>2</sub> O	4 8—79	Ч.
Олово борфтористое (30%)	S(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	ТУ 6-09-2 83—73	Ч.
Олово двухлористое	SnCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	6—78*	Ч.
Олово сернокислое	SnSO <sub>4</sub>	6-09-1502—75	Ч.
ОП-7 и ОП-10 (смазочные)	—	8433—81	Т.Хч.
ОС-20	—	—	—
Палладий двухлористый	PdCl <sub>2</sub>	1 730—82	Техн.
Пираминил изосульфид	(NH <sub>2</sub> C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>2</sub>	ТУ 6-09-2025 72	Ч.
Пентон сухой ферментальный	—	ТУ 130-71—68	Ч.
Пентаметилэтиленгликоль-115	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> N	13 47—78	Ч.
Пентаметилэтиленгликоль-115	HO(CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH) <sub>115</sub> H	ТУ 6-14-826—78	Ч.
Пентаметилэтиленгликоль-115	—	ТУ 6-02-94—80Е	Ч.
«Пегрес (смазочный)»	—	ТУ 36-10 19 71	Техн.
Родий	—	ТУ 6-09-14 18 —75	Ч.
Родий азотнокислый	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> NOS <sub>2</sub>	ТУ 64-6-126 80	—
Сахарин	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>5</sub>	35 8—75	Техн.
Свинцовый борбористый	Pb(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	9199—77*	Техн.
Свинца (II) оксид	PbO	ТУ 6-09-3118—78	Ч.
Свинца сернистый	PbS	027—67*	Ч.
Свинца углекислый	PbCO <sub>3</sub>	1 275—74	Ч.
Свинца уксуснокислый	Pb(CH <sub>3</sub> C O) <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O	027—67*	Ч.
Серебро азотнокислый	PbC O <sub>3</sub>	4521—78	Ч.
Серебро азотнокислое	AgNO <sub>3</sub>	12 7—75	Ч.
Серебро йодистое	AgI	ТУ 6-09 474—75	Ч.
Серебро хлористое	AgCl	ТУ 6-09-3862 75	Ч.
Сн тамд-5 (смазочный)	—	ТУ 6-02-64 — 0	Техн.
Спиритол ДС-10 (смазочный)	—	ТУ 6-14 577—77	ехн.
Сода кальциевая	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	5100-73*	Техн.
Сорбит	—	ТУ 6-09-158 — 77	Техн.
Средства моющие Лабомид 101, 203, 204	—	ТУ 38.10738—80	Техн.
Средство моющее ТМС-31	—	ТУ 38.10951—79	Техн.
Сульфатрон-8	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> SO <sub>3</sub> Na	9 82—77*	Ч.
Сulfonol	—	ТУ 6-01-1001—75	Техн.
Стекло натриевое жидкое	N SiO <sub>3</sub> ·nH <sub>2</sub> O	1 078—81	Ч.
Стронций сернокислый	SrSO <sub>4</sub>	ТУ 6-09-1164—77	Ч.
СПФ 2 фоторезист сухой пленочный	—	ТУ 6-17-859—76	Техн.

Продолжение табл. 2

Химическое соединение	Химическая формула	ГОСТ, ТУ, ОСТ	Квалификация
Спирт этиловый	$C_2H_5OH$	17299—78*	Техн.
Тиомочевина	$NH_2CSNH_2$	6344—73*	Ч.
Трилон Б	$C_{10}H_{14}O_8N_2Na_2 \cdot 2H_2O$	10652—73*	Ч.
Трилон (с ацидатель)	—	ОСТ 6-15-543—82	Техн.
Триэтилмин	$(C_2H_5)_3N$	9966—73*	Техн.
Триэтилзамин	$N(C_2H_5OH)_3$	ТУ 6-09-2448—72	Ч.
Укривол 14	—	ТУ 38-101-197—74	Техн.
Уротропин	$(CH_2)_6N_4$	1381—73*	Техн.
Фенол	$C_6H_5OH$	6417—72*	Ч.
Форма ин (40 %-ный формальдегид)	$CH_2O$	1625—75*	Техн.
Фталат Д	$C_8H_4(CO)_2NH$	ТУ 6-09-3635—75	Ч.
Фурфурол	$C_4H_4OCHO$	10930—74	Ч.
Хлорамин-Б	$C_4H_9SO_2N(Cl)Na \cdot 3H_2O$	ТУ 6-09-3021—73	Ч.
Хромовый ОХП-1	$Cr_2O_3$	2912—79Е	Техн.
Хром хлорный	$CrCl_3 \cdot 6H_2O$	4473—73	Ч.
Хромин	—	ТУ 6-02-788—77	Техн.
Цинк окись	$ZnO$	10262—73*	Ч.
Цинковый купорос	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	8723—82	Техн.
Цинк сернокислый	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	4174—77*	Ч.
Цинк фосфорнокислый однозамещенный	$Zn(H_2PO_4)_2 \cdot 3H_2O$	16992—78	Техн.
Цинк азотнокислый	$Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	5106—77	Ч.
Этамон ДС	—	ТУ 6-14-912—78	—
Этиленгликоль	$HOCH_2CH_2OH$	10164—75*	Ч.
Этилендиамин (50 %-ный раствор)	$NH_2CH_2CH_2NH_2$	ТУ 6-09-146—75	Ч.

Примечание. Квалификация химических веществ дана в сокращенном виде: Техн. — технический, Ч. — чистый, Чд. — чистый для анализа, Хч — химически чистый.

## 3. Аноды

Аноды	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ
Цинковые, марок Ц0, Ц1, Ц2. Прокат листовый	Толщина 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 20; ширина 65, 75, 100—600; длина 40—1000	Выпускаются по ГОСТ 1180—71; состав по ГОСТ 3640—79
Цинковые, марок ЦВ. Засыпаются в корзины Кадмиевые, марок Кд0, Кд1. Прокат листовый	Форма — парабола вращения, $\varnothing$ 50—60	Выпускаются по ТУ 48-6-22—76; состав по ГОСТ 3640—79
Оловянные, марки О1	Толщина 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15; ширина 100—300; длина 400—1000	Выпускаются по ГОСТ 1468*—71; состав по ГОСТ 22860—77
Свинцовые, марок С0, С1, С2	Отливаются по требуемым размерам непосредственно в цехе	Состав по ГОСТ 860—75*
Свинцово-сурьмянистые для хромирования, марки ССу8	Отливаются по требуемым размерам непосредственно в цехе	Состав по ГОСТ 3778—77Е
Медные, марок М0, М1, М2. Прокат листовый	Отливаются по требуемым размерам непосредственно в цехе	По ГОСТ 1292—81Е свинец сурьмы листы со сжиг 7—8,5 % Sb
Медные фосфорсодержащие, марки АМФ	Толщина 1—15; ширина 75—1000; длина 300—2000	Выпускаются по ГОСТ 767—70; состав по ГОСТ 859—78*
Никелевые, марок Н1, Н1у	Квадратные пластинки 25×25×10	Выпускаются по ТУ 48-21-5045—79; содержат P = 0,03 ± 0,06 %
	Квадратные пластинки 25×25×10	Выпускаются по ТУ 48-3-40—76; состав по ГОСТ 8419—70

Продолжение табл. 3

Аноды	Размеры, мм	ГОСТ, ТУ
Никелевые, марок НПА1, НПА2 и НПАН (неопасно вирулосные)	Толщина 4, 6, 8, 10, 12; ширина 100—600, длина 400—2000; форма — овальное сечение 8 × 3 длиной 400—1200	Выпускаются по ГОСТ 2132—75; состав по ГОСТ 492—7*
Стальные, с стелей 10 и 20 или армо-железо	Пластины и прутки в готовом виде по требуемым размерам	Листовая сталь по ГОСТ 103—76 и ГОСТ 1050—74**
Нерастворимые из стали 12Х18Н10Т для электролитов золоточения	Аноды нарезают в цехе по необ. одним раз срам	Листовая сталь по ГОСТ 7 0—77*
Серебряные марки Ср 999,9 Ац	Толщина 2—10; ширина 70, 100 и 150; длина 100—300	Выпускаются по ГОСТ 2 474—82
Золотые, марки Зл 999,9 Ац, плотностью 19,3 г/см <sup>3</sup>	Толщина 0,1—5; ширина 50, 100, 150 и 200; длина 100, 200 и 300	Выпускаются по ГОСТ 25475—82

## 4. Металлы

Наименование	ГОСТ, ТУ, ОСТ
Сталь углеродистая обыкновенного качества	380—71*
Сталь тонколистовая коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная	5882—75*
Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали	9941—81
Листы свинцовые	9559—75*
Трубы из титановых сплавов	ОСТ 190050—72
Трубы сварные из титановых сплавов	24890—81
Провода сварочные из титановых сплавов	ОСТ 90015—71
Проволока латуны	1066—80
Прутки латуные	2060—73*
Листы и полосы латуные	931—78*

## 5. Неметаллические материалы

Материал	Назначение, характеристика и размер, мм	ГОСТ, ТУ, ОСТ
Винилест листовый	Для футеровки ванн. Стоек в кислотах, щелочах и растворах солей; Трамм = 60 С, толщина 2—20, длина 1300 и ширина 500	9639—71*
Краска гальваническая СГ-3-13	Для лащли приспособлений	ТУ 6-29-02-568—76
Лак кислотостойкий Б1-7-3	Для лащли приспособлений	1347—77*
Пластиль Д-2А	Для лащли приспособлений. Стоек в растворах кислот, щелочей, олей; Тпллер = 160 С	ТУ (-01-900—74
Полипропилен листовый	Для футеровки ванн, изготов. злия колоколов, барабанов, сортовых отсеков. Стоек в кислотах, щелочах, растворах солей; Трамм = 110 С. Листы толщиной 1—6; 8, длиной 1 00, шириной 850 и 1450	ТУ 38-10290—75
Полиэтилен листовый	Для футеровки ванн. Стоек в кислотах, щелочах и растворах солей. Толщина 0,8—5, длина < 1600, ширина 1450	ТУ 6-19-228—83

П. одолжене табл. 5

Материал	Назначение, характеристика и размер, мм	ГОСТ, ТУ, ОСТ
Полиэтилен порошкообразный	Для изоляции приспособлений	ТУ 6-05-1866-78
Ручка резиновые напорные с текстильным каркасом	Для перекачки воды	18698-79*
Ткань капроновая	Для изготовления сетчатых трафаретов	ОСТ 17-46-82
Ткань полипропиленовая	Для фильтрации растворов, изготовления чехлов на аноды. Для фильтрации кислотных растворов	ТУ 17-04-14-81
Ткань фильтровальная из стеклянных нитей	Для фильтрации агрессивных растворов	10146-74*
Ткань хлоридная	Для фильтрации кислотных растворов, изготовления чехлов на аноды	20714-75*
Фторопласт-3	Сток в растворах кислот, щелочей, солей; T <sub>разм</sub> = 250 °C	13744-76*
Фторопласт-4	Сток в растворах кислот, щелочей, солей; T <sub>разм</sub> = 250 °C	ТУ 6-05-810-76
Эмаль перхлорвиниловая ХВ-1100	Для изоляции приспособлений	6993-79

## 6. Материалы для механической подготовки поверхностей

Наименование	ГОСТ, ТУ, ОСТ
Др. техническая из чугуна и стали	11964-81Е
Кр. а мраморная электротехническая	16426-81
Кр. и: почные для обработки металлических деталей	10684-75*
с: р зинг	ОСТ 37.002.0605-80,
шфовальные	ОСТ 37.002.0611-80
Кр. о: о ровальные:	21963-82
с: дискладчатые хлопчатобумажные	2424-83
а: омерпоскладчатые хлопчатобумажные	ТУ 2-036-323-77
Ленты шлифовальные бесконечные и бабины шлифовальные	ТУ 2-036-321-77
Материалы шлифовальные. Шлифпорошки. Микрпорошки	ТУ 2-036-814-79
Микрпорошок электрокорунда ЭБМЗ	12439-79
Пасты абразивные:	3647-0
жидкие	ТУ 2-036-147-72
тисряде	ТУ 2-036-773-78
Песок кварцевый	ТУ 2-6-190-78
Шкурка шлифовальная водостойкая:	4417-75
бумажная	16-4-82
тканевая	13344-79

## 7. Характеристики шлифовальных материалов

Группа зернистости и назначение	Зернистость	Размер зерен, мкм	
Шлифзерно для обдирочного, предварительного и чистового шлифования *	200	2000	
	160	1600	
	125	1250	
	100	1000	
	80	800	
	63	630	
	50	500	
	40	400	
	32	320	
	25	250	
	20	200	
	16	160	

Продолжение табл. 7

Группа зернистости и назначение	Зернистость	Размер зерен, мкм
Шлифпорошки: для тонкого шлифования *	12	125
	10	100
	8	80
для шлифования с засаливанием	6	63
	5	50
	4	40
	M63	50
Микрошлифпорошки и тонкие микрошлифпорошки для полирования	M50	40
	M40	28
	M28	20
	M20	14
	M14	10
	M10	7
	M7	5
	M5	3

\* См. гл. 4 том 1.

## 8. Вспомогательные материалы

Материал	Назначение	ГОСТ, ТУ
Бумага индикаторная «Рифан»	Для определения показателя pH растворов	ТУ 6-19-3410-83
Бумага парафинированная	Для упаковки и транспортировки деталей	9569-79
Бумага противокоррозионная	Для упаковки и хранения деталей	16295-82
Бумага фильтровальная	Для фильтрации растворов	12028-66*
Бязь хлопчатобумажная	Для протирки деталей	11680-76*
Вазелины кремнийорганические КВ-3	Для смазывания приспособлений перед нанесением изоляции	15976-70*
Вата медицинская гигроскопическая	Для протирки поверхности плат растворителями	5556-81
Ветошь	Для протирки приспособлений, оборудования	5854-78
Вода дистиллированная	Для чистой промывки	6709-72
Капфоль сосновая	Для приготовления флюсов и консервирующих составов	19113-73*
Катиониты, сульфуголь	Для получения деионизированной воды	5696-74*
Клей БФ-4	Для склейки медной фольги с диэлектриками	12172-71*
Масло смазочное «Ветосит»	Для протирки покрытий	20799-75*
Марля бытовая хлопчатобумажная	Для протирки деталей	11109-74*
Плитки кислотоупорные и термостойкие керамические	Для футеровки ванн травления	961-79
Паста полировальная ПХЗ (ГОИ)	Для полирования деталей	ТУ 6-78-176-80
Сетки проволоочные вязкие	Для изготовления сетчатых трафаретов	6613-73*
Сукно шивельное	Для изготовления полировальных кругов и фильтров	6621-82Е
Сажка ПМ-75 (гранулированная) и ПГ-10 (негранулированная)	Для фильтрации растворов	7885-77*
Термометры стеклянные, технические жидкие (не ртутные)	Для измерения температуры растворов	2823-73*Е 9177-74*
Уголь активированный БАУ		6217-74**
Уголь осветляющий древесный порошкообразный марки ОУ-А	Для удаления примесей из электролитов	4453-74*
Фланель хлопчатобумажная	Для изготовления секций полировальных кругов	7259-77*
Целлюлоза порошковая фильтровальная	Для фильтрации растворов	ТУ 84-889-80

А

**Агрегаты (выпрямительные) на кремниевых и селеновых вентилях** 2.186, 187  
 — серий ВАР и ВАКР — Технические характеристики 2.187—194  
 — серий ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВТ, ТВИ с выключением напряжением 12—115 В и током 100—3150 А 2.195—197 — Технические характеристики 2.196  
 — Агрегация 2.29, 30 — Составы растворов и режимы акселерации 2.30  
 Активация 2.25, 26  
**Активация поверхности** — Назначение 1.74 — Составы растворов и режимы для химической активации 1.76, 76 — Составы растворов и режимы травления алюминия и его сплавов 1.74, 75  
 — анизотропная перед хромированием — Длительность 1.123 — Условия проведения 1.123  
 — электрохимическая — Составы электролитов и режимы активации металлов 1.81, 82  
**Активирование** 2.25, 28  
 — прямое — Назначение 2.28 — Составы растворов и режимы прямого активирования 2.28  
**Алюминирование** — Типы электролитов 2.37  
**Анализ комплексобразующих и других компонентов электролитов** 2.78—81  
 — аммиака сернокислого и хлористого аммония — Электролит меднения 2.79, 80 — Электролит цинкования 2.80  
 — борной кислоты 2.80, 81  
 — борфторида 2.79 — Электролит меднения 2.79 — Электролит цинкования 2.80  
 — пирофосфата 2.78, 79 — Электролит меднения 2.78 — Электролит цинкования 2.79  
 — сульфитов 2.81  
 — цинкида 2.78

**Анализ металлов в электролитах** 2.72—78

— железа 2.76  
 — золота 2.78  
 — кадмия 2.75, 76  
 — меди 2.72  
 — никеля 2.72, 73  
 — олова 2.76, 77  
 — свинца 2.77  
 — хрома трехвалентного 2.74, 75  
 — хрома шестивалентного 2.73  
 — цинка 2.74, 75  
**Анализ растворов оксидирования и фосфатирования** 2.81, 82  
 — эфирно-гидридного электролита — Определение концентрации  $AlCl_3$  2.38, 39 — Определение общей концентрации алюминия 2.39, 40  
**Аноды** 1.195, 205, 211

Б

**Безопасность труда в гальваническом производстве** — Система стандартов 2.198—200  
**Бицикель** — Режимы осаждения 1.112 — Составы электролитов для нанесения первого и второго слоя никеля 1.111, 112

В

**Ванн гальванические** — Модернизация при подборе геометрических параметров 2.178—180 — Стандартные геометрические соотношения 2.177, 178 — Футеровка их 2.129, 130 — барабаны — Коэффициенты осадки — Назначение 2.132 — Расчет 2.136, 137 — Технические характеристики 2.135  
 — для осаждения покрытий 2.125 — Конструктивные особенности 2.126—128  
 — колокольные — Конструктивные особенности 2.130, 131 — Назначение 2.130 — Недостатки 2.130 — Преимущества 2.130 — Расчет 2.136 — Технические

характеристики 2.131, 132—  
**Типы** 2.130  
 — обезжиривания — Конструктивные особенности 2.120—124 — Технические характеристики 2.123, 124  
 — промывки — Назначение 2.124 — Особенности работы 2.123, 124  
 — травления — Материалы для их изготовления 2.124  
**Вентиляторы** 2.142, 146  
**Вентиляция гальванических цехов** местная вытяжная — Виды 2.141, 142 — общеобменная 2.142  
 — смешанная 2.142  
**Висмут** — Свойства 1.236  
**Выход по току** — Параметры гальванических ванн 1.30, 31  
 — Появление 1.29, 30  
 — формулы для расчета толщины осаждаемого покрытия, времени осаждения и напряжения на ванне 1.30

Г

**ГОСТ** 1.3—68\* 2.198  
 9.047—75 1.71, 98, 111 2.31  
 9.073—77\* 1.105 2.47  
 9.301—78 1.31  
 9.302—79\* 2.181  
 12.0.002—80 2.198  
 12.0.003—74\* 2.200  
 12.1.001—83 2.204  
 12.1.003—83 2.204  
 12.1.004—76\* 2.207  
 12.1.005—76 2.25, 142, 201, 205  
 12.1.007—76\* 2.205  
 12.1.010—76\* 2.207  
 12.1.012—78\* 2.204, 207  
 380—71\* 2.172  
 443—76 2.129  
 859—78\* 2.172, 175  
 961—79 2.130  
 3647—80 2.129  
 5632—72\* 2.172  
 6787—80 2.130  
 7201—80\* 2.143  
 11964—81Е 1.64 2.129  
 14007—68 1.34  
 14623—69 1.34  
 19797—80 2.120  
 23505—79 1.55 2.113

Д

**Диэлектрики** — Виды 2.20  
 — Конструирование деталей из них 2.21, 22  
 — Получение неметаллического электропроводного подслоя 2.30—33  
 — Прочность сцепления с металлом-

покрытиями 2.21  
 — Технологический процесс получения покрытий 2.23—35

Ж

**Железные** — Назначение 1.191  
 — Неполудки 1.196, 197  
 — Подготовка электролитов 1.197, 198  
 — Свойства покрытий 1.191, 192  
**Железо** — Свойства 1.191

З

**Золочение** — Назначение 1.221 — Покрытия сплавами на основе золота 1.224—226 — Составы электролитов, их особенности, режимы работы 1.224—226 — Технологические особенности процесса 1.226, 227  
 — Без внешнего тока 1.228 — Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения 1.222, 223  
**Золото** — Свойства 1.220, 221

И

**Изоляция деталей** — Места изоляции 1.155 — Назначение 1.155 — участки поверхности, не подлежащих покрытию — Нанесение и удаление изоляционных материалов 1.90 — Основные изоляционные материалы 1.89, 90  
**Источники питания гальванических цехов** — Пульсации выпрямленного тока 2.182, 183 — Сглаживающие фильтры 2.183  
 — тока специальной формы 2.185, 186

К

**Кадмий** — Свойства 1.181  
**Кадмирование** — Добавки 1.182  
 — Катодные поляризационные кривые в различных электролитах 1.182  
 — Неполудки 1.188, 189  
 — Приготовление электролитов 1.189  
**Кислотность** — Влияние на скорости коррозии 1.8, 9  
**Константы физические металлов** 1.31  
**Контроль качества покрытий** — Внутренние напряжения 2.104—106 — Защитная способность 2.106, 107 — Микрогладкость 2.103, 104 — Пористость покрытий 2.100—103 — Прочность сцепления 2.97—100.  
 — кислотности — Калориметрический метод 2.83—85 — Потенциометрический метод 2.85—87

— распределения металла — Выравнивающая способность электролитов 2.109 — Определенные допустимой плотности тока 2.108 — Определенные рассеивающей способности электролита 2.108, 109

**Коррозия** — Диаграммы Пурбе 1.7 — Коррозионные диаграммы 1.8 — Обратимые потенциалы 1.7, 8 — Прямые и косвенные показатели коррозии 1.6 — Стандартный электродный потенциал 1.6, 7 — атмосферная — Загрязненность воздуха 1.12 — Критическая влажность 1.12 — Образование фазовых и адсорбционных пленок 1.12 — Понятие 1.12 — Продолжительность увлажнения 1.12.

— в почве и морской воде — Взаимосвязь между содержанием влаги и агрессивностью почвы 1.14 — Взаимосвязь между электросопротивлением и агрессивностью почвы 1.14 — Присутствие ионов-активаторов в воде 1.14 — Характеристики почвы как коррозионной среды 1.14.

— газовая — Меры борьбы 1.18 — Механизация оборудования 1.18

— контактная и щелевая — В ды контактах металлов 1.15 — Устойчивость контактов металлов 1.15—17 — Причины возникновения 1.14, 15

— радиационная — Деструктурирующий эффект 1.18 — Радиолитический эффект 1.18 — Фот радиационный эффект 1.18

## Л

**Линии автоматические для нанесения гальванических покрытий** — Классификация 2.144

— Назначение 2.144

**Линии автоматические автооператорные с программным управлением** — Конструктивное расположение автооператора 2.151 — Назначение 2.150 — Технические характеристики 2.151—153 — Цикл 2.151

— дуплекс-операторные — Особенности конструкции 2.157 — Принципы работы 2.157 — Технические характеристики 2.158

— с автооператором мостового типа 2.157

— с автооператором порталного типа 2.156 — Назначение 2.156 — Особенности конструкции 2.156

— с консольным автооператором — Особенности конструкции 2.151, 152

— с тельферным автооператором — Недостатки 2.156 — Особенности конструкции 2.156

**Линии автоматические кареточные с жестким единичным циклом** — Достоинства 2.144 — Конструктивные особенности 2.145 — Назначение 2.144 — Недостатки 2.144 — Технические характеристики 2.148, 149 — Типы 2.148, 149

— барабанного типа — Назначение 2.143 — Особенности конструкции 2.149, 150

— колокольного типа — Особенности конструкции 2.149 — Технические характеристики 2.148, 149

## М

**Материалы, применяемые в гальваническом цехе, абразивные** 2.226, 234, 235

— вспомогательные 2.226, 235, 236

— металлы 2.226, 232, 233

— неметаллические 2.226, 233

— химикаты 2.226, 227—232

**Меднение** — Удаление дефектов качественных покрытий 1.104 — Электролитическое осаждение сплавов на основе меди 1.102, 103

— химическое — Основные неполадки в асете в 1.102 — Составы растворов и их особенности 1.101, 102 — Составы растворов и режимы химического меднения 2.31 — Химическое восстановление меди 1.101

**Медь** — Свойства 1.91

**Метод анализа металлосодержащего компонента в электролитах** весомой 2.73, 75

— гомометрический 2.72, 76, 77

— комплексометрический 2.72—77

— объемный 2.73, 74, 78

— перманганометрический 2.74—76

— фотокалориметрический 2.73

**Метод испытаний защитной способности покрытий** КАСС 2.107 — Особенности 2.107

— кородот — Назначение 2.107 — Особенности 2.107

**Метод контроля внутренних напряжений покрытий** гибкого катода 2.104, 105

— измерения деформации после окончания электролиза 2.105

— растяжения-сжатия 2.106

— спиральным контактометром 2.105

**Метод контроля пористости покрытий** контактных отпечатков 2.103

— коррозионный 2. — Виды 2.100—102 — Растворы 2.101

— электрографический 2.102, 103 — Сущность 2.102

**Метод контроля прочности сцепления покрытий с основой** качественный — Виды 2.97

— количественный — Виды 2.98—100

— электрохимический — Виды 2.98 — Сущность 2.98

**Метод определения толщины покрытия физических вихревых токов** 2.96, 97

— измерения масс 2.94, 96

— магнитный 2. — Виды 2.94, 96

— прямого измерения 2.94

— радиоактивный 2.97

**Метод определения толщины покрытия химической капельный** 2.87, 88 — Растворы 2.89

— кулонометрический 2.94

— струйный — Виды 2.88, 92, 93, 96

**Метод очистки сточных вод, содержащих кислоты, щелочи и ионы тяжелых металлов** 2.224, 225

— электролизный — Недостатки 2.217 — Преимущества 2.217

**Метод очистки хромосодержащих сточных вод** ионообменный 2.220, 221

— мембранный 2.222, 223

— реагентный — Модификация 2.218, 219 — Недостатки 2.218 — Преимущества 2.218—220

— сорбционный 2.223, 224

— электрохимический — Виды 2.221, 222

**Микротвердость электролитического покрытия** — Способы определения 2.104

## Н

**Наводороживание сталей** — Влияние его на физико-механические свойства металла 1.45 — Термической обработка 1.50, 51

— при кадмировании — Особенности процесса 1.48, 49

— при нанесении гальванических покрытий — Влияние состава электролита, плотности тока, природы и структуры покрытий 1.47 — Определение пластичности сталей методом изгиба 1.47 — Оценка механических свойств стали 1.47 — Факторы, определяющие степень наводороживания стали 1.48

— при травлении — Влияние концентрации и природы кислоты 1.46

— Зависимость пластичности стали — время травления 1.46

— при хромировании 1.49 — Особенности процесса 1.49—51

— при цинковании — Влияние плотности тока на время до появления трещин 1.48 — Особенности процесса 1.48 — Применяемые электролиты 1.48

**Напряжения внутренние покрытий** — Виды 2.104

**Никелирование** — Неполадки и способы их устранения 1.117, 118 — блестящее — Добавки блескообразователей 1.109 — Назначение 1.109 — Недостатки 1.109 — Особенности 1.109 — Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения 1.109—111

— матовое — Особенности электроосаждения Ni 1.105, 106 — Типы электролитов — см. под их названиями, например, *Электролиты никелирования сернокислые*

— многослойное — Структура слоев никеля 1.111—113

— химическое — Катализаторы 1.114 — Оптимальное осаждение Ni 1.114 — Предел прочности 1.114 — Составы и режим химического никелирования 2.31 — Составы электролитов 1.114, 115 — черное — Назначение 1.113 — Составы электролитов и режимы работы 1.113, 114

**Никель** — Свойства 1.105

## О

**Обезвреживание** 2.25

**Обезжиривание** 2.24

**Обезжиривание поверхности** — Концентрация компонентов обезжиривающих растворов 1.66, 67 — Механизм обезжиривания 1.66 — Продолжительность удаления жировых загрязнений при оптимальной концентрации фосфатов 1.68 — Растворяющая способность органических растворителей 1.66 — Составы растворов для одновременного обезжиривания и травления 1.69 — Составы растворов для химического обезжиривания 1.67 — Составы растворов для химического обезжиривания в ультразвуковом поле 1.69, 70 — Составы растворов для эмульсионного обезжиривания 1.69, 70

— электрохимическое — Виды 1.79, 80 — Назначение 1.79 — Применяемые растворы 1.79 — Составы электролитов и режимы обезжиривания 1.80, 81

Оборудование гальванических цехов вспомогательное — Технические характеристики 2.164—166  
— для механической подготовки поверхности шпифовально-под ровалий — Виды обработки на них 2.113—119 — разновидности станков и установок 2.110—119  
Орудование гальваническое — Работа по безотходной технологии 2.158, 160  
Обработка механическая поверхности — Виброобразивная обработка 1.60—63 — Галтовка 1.55—60 — Обработка щетками 1.63 — Струйно-образивная обработка 1.63—6 — Шлифовальные и полировальные 1.54—57  
— перед хромированием — Влияние ее на механические свойства 1.124, 125  
Обработка окончательная хромированных деталей — Отпуск 1.156  
— Притирка 1.157  
— Хонингование 1.157  
— Шлифование 1.137  
Обработка поверхности термическая перед хромированием — Назначение 1.125 — Режимы 1.125  
— химическая — Активация 1.74—76 — см. также Активация поверхности — Обезжиривание 1.65—70 — см. также Обезжиривание поверхности — Травление 1.70—74 — см. также Травление поверхности — Химическое полирование 76—78 — см. также Полирование химическое поверхности  
— электрохимическая — Электрохимическая активация 1.82 — см. также Активация поверхности электрохимическая — Электрохимическое обезжиривание 1.79—81 — см. также Обезжиривание поверхности электрохимическое — Электрохимическое травление 1.81, 82 — см. также Травление поверхности электрохимическое  
Окрашивание адсорбционное 2.63 — Особенности процесса 2.63, 64 — неорганическими красителями 2.63 — Состав неорганических красителей 2.63, 64  
— пленки в проценте ее формования 2.63  
— электрохимическое 2. — Особенности процесса 2.63  
Оксидирование анодное — Юм.ниевых сплавов — Особенности процесса 2.60, 61 — Режимы обработки 2.60, 61 — Составы растворов 2.60

— в серной кислоте 2.60, 61  
— в хромовой кислоте — Особенности процесса 2.61 — Режимы обработки 2.61 — Состав растворов 2.61  
— толстоосное — Назначение 2.61 — Особенности процесса 2.61, 62 — Составы растворов 2.62  
— цинковое — Особенности процесса 2.62, 63 — Режимы обработки 2.62 — Составы растворов 2.63, 64  
Оксидирование анодное магнелиевых сплавов — Особенности процесса 2.3, 65 — Режимы обработки 2.65 — Составы растворов 2.5 — меди и ее сплавов — Особенности процесса 2.566 — Режимы обработки 2.66 — Составы растворов 2.66  
— стали — Особенности процесса 2.6 — титановых сплавов 2.66  
— цинка и кадмия 2. — Особенности процесса 2.66  
Оксидирование химическое алюминевых сплавов — Качество оксидной пленки 2.59 — Особенности процесса 2.59 — Режимы обработки 2.59 — Составы растворов 2.59  
— медных сплавов — Назначение 2.59 — Особенности процесса 2.59 — Составы растворов 2.59  
— стали и чугуна — Защитные свойства оксидных пленок 2.57—59 — Особенности процесса 2.57—59 — Режимы обработки 2.57, 58 — Составы растворов 2.57, 58  
Оксидирование электрохимическое (анодирование) 2.60—66 — Особенности процесса 2.60  
Олово — Свойства 1.199  
Оловянирование — Декоративная отделка — 1.206 — Оплавление 1.206 — Пассивирование 1.206 — Свойства оловянных покрытий 1.199, 200 — Удаление покрытий 1.207  
— без внешнего тока (химическое) — Области применения растворов 1.205 — Составы растворов и режимы 1.205, 206  
Осаждение гальванических покрытий на детали из Al и его сплавов без применения промежуточного подслоя 2.10—12  
— для защитно-декоративных целей и придания функциональных свойств — Особенности процесса 2.12 — Режимы осаждения 2.12 — Составы растворов 2.12  
— по контактно осаждаемым Zn и Ni — Недостатки 2.9 — Особенности

процесса 2.8 — Режимы осаждения 2.8 — Составы электролитов  
— Ni и Cu по окисной пленке — Особенности процесса 2.9, 10 — Режимы анодного окисления 2.10 — Составы электролитов 2.10  
— по электролитически нанесенным Zn и Ni 2.9  
Осаждение контактное Zn и Ni — Влияние концентрации NaOH на толщину покрытия 2.7  
— Составы растворов 2.7, 8  
Осаждение сплавов на основе никеля — Виды сплавов 1.115—117 — см. также под их названиями, например, *Сплав никель-кадмий*  
— при кадмировании — Составы электролитов и режимы осаждения 1.187 — Типы сплавов 1.187  
— при цинковании — Разновидности сплавов 1.174, 175 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.175  
— W и Mo — Составы электролитов и режимы осаждения 1.238  
Осаждение электролитическое сплавов на основе меди — Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения сплавов медь-олово 1.103 — Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения сплавов медь-цинк 1.102, 103  
Осаждение Bi, Sb, As, Mn, Re, Se — Составы электролитов и режимы осаждения 1.237, 238  
— In и сплавов на его основе — Типы электролитов 1.234, 235 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.234—236  
Оснастка технологическая гальванических автоматических линий 2.167—181  
ОСТ 190042—71 2.172  
2.160—1—74 1.174  
2.1165—1—80 2.128

П

Палладий — Свойства 1.230  
Палладирование — Назначение 1.230 — Свойства покрытий 1.230  
— Технологические особенности процесса 1.233  
— Типы электролитов 1.230—233  
Пассивирование — Особенности процесса для различных материалов 2.71 — Режимы обработки 2.71 — Составы растворов 2.7  
Пассивность металла — Кривая анодной пассивности 1.10

— Понятие 1.10  
— Потенциал при тинг-образивании 1.11  
— Характеристика пассивного состояния 1.11, 12  
Перевод чисел твердости на прочность для сталей 1.32  
Пластмассы — Конструирование деталей из них 2.21, 22 — Способы и режимы их переработки 2.22, 23  
— терморактивные 2.21  
Пленки фосфатные — Повышение их защитных свойств 2.57  
— аморфные — Их защитные свойства 2.55 — Составы электролитов 2.55  
Площадь поверхности деталей — Понятие 1.33  
— полная цилиндрических деталей — Понятие 1.32  
Подвески — Изоляция 2.172, 173 — Обслуживание 2.174 — Расчеты распределения тока на них и на деталях 2.180  
— для анодного окисления деталей из алюминевых сплавов 2.173  
— для хромирования 2.173  
Подготовка деталей из Al и его сплавов обычная — Обезжиривание в органическом растворе 2.7 — Обезжиривание химическое 2.7 — Осветление 2.7 — Травление 2.7  
— специальная — Способы нанесения подслоя — см. также под их названиями, например, *Осаждение контактное Zn и Ni*  
Подготовка деталей из Mg и его сплавов обычная — Активация 2.12  
— Обезжиривание в органическом растворителе 2.13  
— Обезжиривание химическое 2.13  
— Обезжиривание электрохимическое 2.13  
— Травление 2.13  
Подготовка деталей из Ti и его сплавов обычная — Гидропескоструйная обработка 2.14, 15 — Обезжиривание 2.14, 15  
— специальная — Активация 2.15 — Нанесение гидридной пленки 2.15 — Нанесение подслоя металла 2.15 — Режимы обработки 2.15 — Составы электролитов 2.15  
Подготовка поверхности диэлектриков механическая 2.23—25  
— перед нанесением гальванических покрытий — Изоляция участков поверхности, не подлежащих покрытию 1.89, 90 — см. также *Изоляция участков поверхности, не подлежащих*

покрытию — Механическая обработка 1.54—65 — см. также *Обработка механика кая поверхности* — Удаление зазоров 1.80—89 — см. также *Промывка деталей* — Химическая обработка 1.65—79 — см. также *Обработка химическая поверхности* 1.65—78 — Электрохимическое полирование 1.82—86

Подслой электропроводный неметаллический — Получение 2.31—33

Покрытия гальванические — Вид и толщина покрытий для деталей, выполненных по 8-му и 9-му квалитетам 1.41, 42 — Вид и толщина покрытий для дружин 1.42 — Вид и толщина покрытий для резьбовых деталей 1.40—42 — Выбор покрытий 1.34 — Зависимость минимальной толщины подслоя и основного покрытия от условий эксплуатации 1.37—40 — Классификация 1.34 — Кристаллическая структура 1.42, 43 — Микротвердость 1.42 — Обозначение 1.34—36 — Требования к качеству 1.36 — Требования к поверхности основного металла 1.34 — алюминия и его сплавов 2.8—12 — бериллиевые — Режимы электролитов 2.42 — Составы электролитов 2.42 — германцевые — Особенности работы электролитов 2.42, 43 — Применение 2.42 — диэлектриков и пластмасс 2.18, 19 — контактные — Режимы осаждения 2.46 — Составы электролитов 2.46 — магниевые — Особенности электролита 2.42 — Режимы работы электролита 2.42 — магния и его сплавов 2.12—13 — меди и ее сплавов 2.17 — многослойные Cu—Ni—Cr — Предварительное меднение 2.6 — Режимы осаждения 2.6 — Составы электролитов 2.6 — титана и его сплавов 2.14—17

Покрытия хромовые 2.44 — блестящие — Твердость 1.122 — защитно-декоративные — Виды 1.122 — износостойкие и антифрикционные — Виды 1.122, 123 — коррозионно-стойкие — Виды 1.122 — молочные — Пластичность 1.122

Покрытия цинковых сплавов 2.5, 6

Полипропилен — Механические и химические показатели 2.20 — область применения 2.20

Полирование химическое поверхности —

Составы растворов и режимы полирования алюминия, цинка, кадмия, титана, циркония 1.77, 78 — Составы растворов и режимы полирования стали, меди и ее сплавов, никеля 1.76, 77

Полирование электрохимическое поверхности алюминия — Составы электролитов и режимы полирования 1.83, 85, 86 — цветных сплавов — Составы электролитов и режимы полирования 1.83, 84 — черных металлов — Кривые анодной поляризации 1.82 — Составы электролитов и режимы полирования 1.83, 84

Полистирол — Область применения 2.20, 21

Полисульфон — Область применения 2.20

Полифениленоксид 2.20

Полярография — Потенциалы полу-волн 2.82, 83

Предварление 2.24, 25

Приборы для регулирования режимов осаждения и контроля качества покрытий 2.160—164

Производство гальваническое — Охрана гидросферы 2.216, 217 — Охрана труда 2.200—207 — Очистка сточных вод 2.213—225 — Потенциально опасные и вредные факторы 2.201—203, 206, 207

Промывка деталей — Номограмма для определения удельного расхода воды на промывку 1.88 — Способы промывки 1.87—89 — Требования к промывке и воде 1.86, 87

## Р

Разрушение металлов коррозионно-механическое — Коррозионная усталость 1.17 — Коррозионное растрескивание 1.17 — Меры борьбы с ним 1.17, 18 — Причины 1.17 — Среды, вызывающие растрескивание 1.17 — Фреттинг-коррозия 1.17, 18

Растворители органические — Физические константы 2.37

Растворы для активации коллоидные — Особенности обработки ими 2.29 — Приготовление 2.29 — Составы растворов и режимы активации 2.29

Растворы для оксидирования алюминиевых сплавов 2.82

— серноокислые — Необходимые реактивы 2.82 — Ход анализа 2.82 — хромовоокислые 2.82

Растворы оксидного фосфатирования — Назначение 2.53 — Режимы обработки 2.53 — Составы растворов 2.53 — универсальный для фосфатирования — Особенности процесса 2.55 — Состав раствора 2.55 — фосфатирования стали — Необходимые реактивы 2.61 — Ход анализа 2.81 — щелочного оксидирования стали — Отбор проб для анализа 2.61 — Ход анализа 2.61

Родий — Свойства 1.227

Родирование — Назначение 1.227 — Недостатки 1.227 — Свойства покрытий 1.227 — Технологические особенности процесса 1.229, 230 — Электролиты родирования 1.227—229

## С

Свинец — Свойства 1.207

Свинцевание — Назначение 1.208 — Неполадки 1.211 — Удаление покрытий 1.211 — Электросоакция сплава Sn—Pb 1.211, 212

Сенсибилизация 2.26

Серебрение — Покрытия сплавами на основе серебра 1.216, 217 — Свойства покрытий 1.213 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.219, 220 — Технические особенности процесса 1.218 — без внешнего тока — Назначение 1.215 — Составы растворов, их особенности и режимы осаждения 1.215, 216

Серебро — Свойства 1.213

Селен — Особенности процесса 1.112, 113 — Режимы осаждения 1.113 — Составы электролитов 1.112, 113

Скорость коррозии — Факторы влияющие на нее 1.8—10

Сопотивление усталости основного металла — Влияние хромовых покрытий 1.51, 52

Сплав никель—железо — Назначение 1.115 — Режимы осаждения 1.116 — Составы электролитов 1.116 — никель—кобальт — Назначение 1.115 — Режимы осаждения 1.115 — Составы электролитов 1.113 — никель — олово — Назначение

1.117 — Режимы осаждения 1.117 — Составы электролитов 1.117 — никель — цинк — Особенности 1.116 — Составы электролитов 1.116

Способность электролитов кристаллизоваться — Факторы, влияющие на нее 1.29 — микрорассеивающая — Углеродная для ее определения 1.29 — рассеивающая — Распределение тока 1.28 — Формулы для расчета 1.29

Стойкость коррозионная металлов 1.18

Сурьма — Свойства 1.237

## Т

Тонирование химическое — Составы растворов 2.70, 71 — электрохимическое 2.71

Травление 2.25

Травление поверхности — Назначение 1.70 — Скорость травления 1.70, 71 — Составы растворов и режимы травления различных материалов 1.71—74 — электрохимическое — Составы электролитов и режимы анодного травления стали 1.80—82

Трансформаторы регулируемые 2.182

Триникель — Особенности процесса 1.112 — Состав электролита для получения среднего слоя 1.112

ТУ 16-529.403—71 1.187  
1.38105 480—72 1.130  
36105 1082—76 1.129

## У

Удаление недоброкачественных медных покрытий — Составы растворов электролитов и режимы работы 1.104

Удельная электропроводность — Поддержание постоянного уровня электролита 1.156 — При довращении его 1.155, 156

Устройства подвесочные — Анализ экспериментальных данных для их выбора 2.176, 177 — Изоляция подвесок 2.172, 173 — Конструкция подвесок и их элементов 2.167—170 — Материал для подвесок иругой технологической оснастки 2.171, 172 — Размещение деталей на подвеске 2.171 — Схема расчетов при проектировании 2.181 — Учет влияния геометрических параметров на распределение тока при проектировании 2.175



## Ф

**Фосфатирование** — Влияние вида катиона на состав фосфатных пленок 2.47 — Особенности процесса 2.47 — Подготовка поверхности 2.44 — Преимущества фосфатных пленок 2.48 — в растворе соли Мажеф — Достоинства процесса 2.49 — Исходные компоненты 2.48 — Недостатки процесса 2.49 — Особенности процесса 2.49 — Приготовление раствора 2.49 — Ускорение процесса 2.49, 50 — в цинк-фосфатном растворе — Концентраты для фосфатирования сталей 2.51, 52 — Корректировка раствора 2.50, 51 — Особенности процесса 2.51 — Параметры технологического процесса фосфатирования 2.51, 53 — Составление раствора 2.50, 51 — Состав фосфатных пленок 2.52 — Составы растворов 2.50 — окисное — Оптимальные параметры процесса 2.54 — Составы растворов 2.54.

**Фосфатирование химическое алюминия и его сплавов** 2.56 — магния и его сплавов — Назначение 2.56 — Особенности процесса 2.56 — Режимы обработки 2.56 — Составы растворов 2.56 — никеля и его сплавов 2.57 — цинковых и кадмиевых покрытий 2.56

**Фосфатирование холодное** — Особенности процесса 2.53, 54 — Составы растворов 2.53, 54 — электрохимическое — Особенности процесса 2.55 — Составы растворов 2.55

## Х

**Хром** — Свойства 1.111 — Химическая стойкость 1.119, 120 — электроосажденный — Влияние хромирования на предел выносливости 1.131, 132 — Внутренние напряжения 1.129, 130 — Износостойкость 1.130, 132 — Наводороживание 1.132, 133 — Пористость 1.132 — Содержание газов 1.129 — Структура 1.128, 129

**Хромирование** — Состав пленок 2.66 — химическое — Назначение 2.69 — Особенности процесса 2.66—69 — Составы растворов 2.67—69 — электрохимическое катодное — Назначение 2.70 — Особенности процесса 2.69, 70 — Режимы обработки 2.70 — Составы растворов 2.70

**Хромирование** — Неполадки 1.158—160 — Основные типы осадков 1.121—123 — см. также год их названиями, например, *Покрытия хромовые защитно-декоративные* — Предварительные операции 1.123—125 — см. также под их названиями, например, *Активация поверхности анодной перед хромированием* — Технологические особенности процесса 1.150—158 — деталей из цинковых отливок 2.6

**Хромирование при нестационарных режимах электролиза** 1.143 — Назначение 1.143 — в ультразвуковом поле 1.145, 146 — импульсным током 1.143 — многослойное 1.147 — пористое 1.149, 150 — программным изменением режима электролиза 1.143 — проточное и струйное 1.144, 145 — реверсивным током 1.143

**Хромирование размерное** — Варианты конструкций хромируемых деталей 1.150—154 — Метод дозирования тока 1.154; 155 — Назначение 1.150 — Специальные подвески 1.151, 152

## Ц

**Цинк** — Свойства 1.161

**Цинкование** — Назначение 1.161 — Неполадки и способы их устранения 1.175—178 — Области применения 1.161 — Приготовление электролитов 1.179, 180 — деталей из цинковых отливок — Изъяны и поры на наружной поверхности деталей 2.6 — Назначение 2.6 — Режим полирования 2.6 — Состав выравнивающего электролита 2.6 — Состав электролита для электрохимического полирования 2.6

## Э

**Электрокристаллизация** — Влияние поверхности-активных веществ 1.27 — Влияние режима электролиза 1.23 — Пассивационное перенапряжение 1.26 — Стадии 1.22, 26 — Схема роста двумерного зародыша 1.26

**Электролиты алкилсульфонатные** — Особенности работы 2.40, 41 — Приготовление 2.41 — Составы их и режимы осаждения 2.41

— алюмосоединения с не — Приготовление 2.42 — Применение 2.42 — Составы 2.42

**Электролиты железные для осаждения сплавов на основе железа** — Особенности электролитов 1.195, 196 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.195, 196 — сернокислые и борфтористоводородные — Активация на аноде 1.195 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.195 — хлористые — Скорость осаждения Fe 1.193 — Типы 1.193, 194 — Характеристики электролита 1.12—194

**Электролиты золочения железа с осине-родностью и этилендиаминовые** — Приготовление 1.222, 223 — Типы 1.222, 223 — цианистые — Влияние pH на выход по току 1.222 — Природа цианида 1.222 — Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения 1.221

**Электролиты кадмирования аммиачные** — Особенности 1.185 — Составы электролитов и режимы работы 1.185, 186 — кислые — Катодные поляризационные кривые 1.182 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.183 — пирофосфатные — Основные компоненты 1.185 — Особенности 1.185 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.186 — с органическими и смешанными лигандами комплексов — Составы электролитов и режимы осаждения 1.187 — Типы 1.186, 187 — цианистые — Вредные примеси 1.184 — Выход по току 1.184 — Добавки 1.184 — Концентрация Cd 1.184 — Основные компоненты 1.183

**Электролиты меднения комплексные** — Основные неполадки 1.100 — Свойства электроосажденной меди 1.99 — Скорость осаждения меди 1.99, 100 — Составы различных электролитов, их особенности и режимы осаждения 1.95—98 — простые — Неполадки 1.93 — Преимущества и недостатки 1.91 — Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения 1.92, 3 — Электроды никелирования борфтористоводородные и трифтористоводородные — Качество получаемых осадков 1.108, 109 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.109 — сернокислые — Основной компо-

нент 1.106 — Скорость осаждения никеля 1.106, 108 — Составы электролитов, физико-химические свойства и режимы осаждения 1.106—108 — сульфаминовые — Назначение 1.108 — Составы электролитов 1.108

**Электролиты оловянно-роганические** — Их составы и режимы осаждения 1.203, 204 — Приготовление растворов 1.204 — Их составы и режимы осаждения 1.204, 205 — Назначение 1.204 — Приготовление электролитов 1.204, 205 — кислые — Их составы и режимы осаждения 1.206, 201 — Неполадки 1.201, 202 — Области применения 1.200 — Способы приготовления 1.200, 201 — пирофосфатные — Добавки 1.205 — Приготовление электролитов 1.205 — щелочные — Вредные примеси 1.202 — Их составы и режимы осаждения 1.201, 202 — Неполадки 1.203 — Способы приготовления 1.201, 202

**Электролиты синцевания кислые** — Режимы электролиза 1.209 — Типы и особенности 1.208, 209 — кремнефтористоводородные — Получение 1.10 — Эксплуатационные качества 1.209, 210 — феносульфоновые — Основной компонент 1.210 — Преимущества 1.21 — щелочные — Добавки 1.210 — Недостатки 1.211 — Свойства 1.210 — Способы приготовления 1.210, 211

**Электролиты серебряные нецианистые** — Приготовление 1.215 — Свойства электролитов 1.215 — Унос электролитов 1.215 — цианистые — Выход по току 1.213 — Основные компоненты 1.213 — Составы электролитов, их особенности и режимы осаждения 1.213, 214

**Электролиты хромирования** — Преимущества и недостатки 1.133, 134 — для осаждения сплавов на основе хрома — Их составы, особенности и режимы работы 1.140—142 — для черного хромирования — Назначение 1.138 — Составы электролитов, их особенности и режимы работы 1.138, 139 — на основе трехвалентных соединений хрома — Составы электролитов, их особенности, режимы работы 1.139, 140 — саморегулирующиеся — Преимущества и недостатки 1.134 — При-

цнп действия 1.134 — Соли-катализаторы 1.134 — Составы электролитов, их особенности, режимы работы 1.134, 135 — сверсульфатные — Назначение 1.136 — Скорость осаждения 1.136 — Сочетания температуры и плотности тока 1.36  
— с добавками катионов цинка и кадмия — Назначение 1.137 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.137, 138  
— с добавками органических соединений — Добавки 1.140, 141 — Цель ввода добавок 1.140  
— стандартные — Аноды 1.128 — Приготовление 1.125, 126 — Рассеивающая способность 1.127 — Скорость осаждения 1.126, 127 — Типовые режимы хромирования 1.128  
— тетраоксидные — Выход по току 1.136 — Назначение 1.133 — Неполадки в работе 1.137, 138 — Приготовление электролита 1.133 — Свойства покрытий 1.137  
— фторидные 1.133, 134  
Электролиты цинкования аммиачные — Особенности 1.173 — Улучшение структуры осадков 1.173  
— для нанесения цинковых покрытий и с в на основе цинка — Катодная поляризация 1.162 — Скорость осаждения Zn в зависимости от плотности тока 1.163 — Типы 1.162, 164 — 174 с также под их названиями, например Электролиты цинкования нецианистые  
— кадмиевые — Аноды 1.165, 166 — Вредные примеси 1.164 — Добавки 1.164 — Кислотность 1.164 — Основные компоненты 1.164 — Составы электролитов 1.164, 166, 167  
— на основе аммиакокомплексных соединений Zn — Добавки кадмия 1.173, 174  
— нецианистые (цинкатные) — Анодная поляризация 1.170 — Добавки 1.168, 170 — Катодная поляризация 1.168 — Основные компоненты 1.168 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.170  
— пирофосфатные — Добавки 1.171 — Исходные компоненты 1.170 — Составы

электролитов и режимы работы 1.171, 172  
— щелочно-цианистые — Вредные примеси 1.168 — Добавки 1.168 — Основные компоненты 1.166 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.169, 170  
Электролиты эфирно-гидридные — Анализ электролита 2.38 — Компоненты 2.37 — Особенности работы 2.37 — Подготовка поверхности 2.38 — Приготовление 2.38  
Электроосаждение железа 2.45 — кадмия — Особенности ограниченных растворителей 2.44 — Режимы работы 2.44 — Составы электролитов 2.44  
— кобальта — Режимы работы 2.45 — Составы электролитов 2.45  
— меди — Режимы осаждения 2.43 — Составы органических электролитов 2.43 — Типы растворителей 2.43  
— молибдена — Особенности процесса 2.43 — Составы электролитов 2.43  
— никеля — Растворители 2.45 — Режимы осаждения 2.45 — Составы электролитов 2.45  
— ниобия — Режимы осаждения 2.43 — Составы растворов 2.43  
— титана — Особенности процесса 2.43 — Составы электролитов 2.43  
— цинка — Режимы осаждения 2.43 — Составы растворов 2.43  
Электрохимия — Постоянные для уравнения Тафеля 1.25  
— Стандартные электродные потенциалы металлов в водных растворах 1.22, 27  
— Электрохимические эквиваленты 1.22, 25  
Элементы химические — Атомная масса 1.22, 23  
— Атомные номера 1.22, 23  
— Валентность 1.22, 23  
— Зависимость между концентрацией и плотностью раствора 1.22 — 24  
— Металл в пересчете на его соль или оксид 1.22, 24  
Эмаллирование алюминиевых сплавов — Приготовление раствора 2.62  
— Режимы обработки 2.62  
— Составы растворов 2.62

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бучило Э. Очистка сточных вод травильных и гальванических отделений Пер. с польск. М.: М аллургия, 1974. 199 с.
2. Вячеслав П. М. Электролитическое осаждение сплавов. 1.: Машиностроение, Ленинград. отделение, 1977. 92 с.
3. Герасимов А. , Милюков В. И. Определение параметров электрохимического процесса в осадочных покрытиях. М.: Металлургия, 1980. 184 с.
4. Гилихес С. Я. Окисные и фосфатные покрытия металлов. М.: Машиностроение, Ленинград. отделение, 1978. 10 с.
5. Доян А. А., Пальян И. Я. Оборудование цинковых электролитических покрытий. М.: Машиностроение, Ленинград. отделение, 1977. 15 с.
6. Згурский В. А. Огнемзащита потреления и очистки воды в гальванических цехах Киев. Техника, 1974. 68 с.
7. Иженерная гальванехника в промышленности. М.: Гинбергера. 1. Машиностроение, 1977. 512 с.
8. Гагер Л. . Справочник по гальваностегии. Киев. Техника, 1976. 253 с.
9. Ключков Б. , Луцко С. В., Мирон В. И. Нитрование сточных вод в гальваностегии. М.: НИИТ восток, 1979. 72 с.

10. Котик Ф. И. Ускоренный контроль электролитов, растворов и расплавов. М.: Машиностроение, 1978. 191 с.
11. Кудрявцев Н. Т. Электролитическое покрытие металлами. Л.: Химия, 1979. 32 с.
12. Марова Н. А., Лебедева М. А., Набокова В. Н. Металлография в автомобилестроении. М.: Машиностроение, 1977. 244 с.
13. Саифулин Р. С. Неорганические композиционные материалы. М.: Химия, 1983. 300 с.
14. Сребряный Л. А. Безопасность труда при нанесении гальванических покрытий. М.: Машиностроение, 1980. 70 с.
15. Смирнов Д. Н., Бенен В. Е. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. М.: Металлургия, 1980. 195 с.
16. Справочник по гальваностегии. М.: Металлургия, 1969. 418 с.
17. Шалкаускас А. И., Вильялис А. . Химическая металлургия пластмасс. М., Химия, Ленинград. отделение, 1977. 169 с.
18. Шмелева Н. М. Контроль работ по металлопокрытиям. М.: Машиностроение, 1980. 176 с.
19. Япольский А. М., Ильин В. А. Краткий справочник гальваностегии. М.: Машиностроение, Ленинград. отделение, 1981, с. 199—210.

цип действия 1.134 — Соли-катализаторы 1.134 — Составы электролитов, их особенности, режимы работы 1.134, 135 — сверхсульфатные — Назначение 1.136 — Скорость осаждения 1.136 — Сочетания температуры и плотности тока 1.36 — с добавками катнонов цинка и кадмия — Назначение 1.137 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.137, 138 — с доавками органических соединений — Добавки 1.140, 141 — Цель ввода добавок 1.140 — стандартные — Аноды 1.128 — Приготовление 1.125, 126 — Рассеивающая способность 1.127 — Скорость осаждения 1.126, 127 — Типовые режимы хромирования 1.128 — тетраокроматные — Выход по току 1.136 — Назначение 1.133 — Неполная в работе 1.137, 138 — Приготовление электролита 1.133 — Свойства покрытия 1.137 — фторидные 1.133, 134  
 Электролиты цинкования аммиачные — Особенности 1.173 — Улучшение структуры осадков 1.173 — для нанесения цинковых покрытий и с в на основе цинка — Катодная поляризация 1.162 — Скорость осаждения Zn в зависимости от плотности тока 1.163 — Типы 1.162, 164 — 174 — также под их названиями, например *Электролиты цинкования нецистые* — кые — Аноды 1.165, 166 — Вредные примеси 1.164 — Добавки 1.164 — Кислотность 1.164 — Основные компоненты 1.164 — Составы электролитов 1.164, 166, 167 — на основе аммиакокомплексных соединений Zn — Добавки кадмия 1.173, 174 — нецианатные (цинкатиные) — Анодная поляризация 1.170 — Добавки 1.168, 170 — Катодная поляризация 1.168 — Основные компоненты 1.168 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.170 — пирофосфатные — Добавки 1.171 — Исходные компоненты 1.170 — Составы электролитов и режимы работы 1.171, 172 — щелочно-цианатные — Вредные примеси 1.168 — Добавки 1.168 — Основные компоненты 1.166 — Составы электролитов и режимы осаждения 1.169, 170  
 Электролиты эфирно-гидридные — Анализ электролита 2.38 — Компоненты 2.37 — Особенности работы 2.37 — Подготовка поверхности 2.38 — Приготовление 2.38  
 Электроосаждение железа 2.45 — кадмия — Особенности ограниченных растворителей 2.44 — Режимы работы 2.44 — Составы электролитов 2.44 — кобальта — Режимы работы 2.45 — Составы электролитов 2.45 — меди — Режимы осаждения 2.43 — Составы органических электролитов 2.43 — Типы растворителей 2.43 — молибдена — Особенности процесса 2.43 — Составы электролитов 2.43 — никеля — Растворители 2.45 — Режимы осаждения 2.45 — Составы электролитов 2.45 — ниобия — Режимы осаждения 2.43 — Составы растворов 2.43 — титана — Особенности процесса 2.43 — Составы электролита 2.43 — цинка — Режимы осаждения 2.43 — Составы растворов 2.43  
 Электрохимия — Постоянные для уравнения Тафеля 1.25 — Стандартные электродные потенциалы металлов в водных растворах 1.22, 27 — Электрохимические эквиваленты 1.22, 25  
 Элементы химические — Атомная масса 1.22, 23 — Атомные номера 1.22, 23 — Валентность 1.22, 23 — Зависимость между концентрацией и плотностью раствора 1.22 — 24 — Металл в пересчете на его соль или оксид 1.22, 24  
 Эматаллирование алюминиевых сплавов — Приготовление раствора 2.62 — Режимы обработки 2.62 — Составы растворов 2.62

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бучило Э. Очистка сточных вод травильных и гальванических отделений Пер. с польск. М.: М аллургия, 1974. 199 с.
2. Вячеслав П. М. Электр литические покрытия сплавов. 1.: Машиностроение, Ленинград. отд. и е, 1977. 92 с.
3. Герасимов А., Милюков В. И. Определение параметров электрохимического процесса в осадительных покрытиях. М.: Металлургия, 1980. 184 с.
4. Гилих С. Я. Оксидные и фосфатные покрытия металлов. М.: Машиностроение, Ленинград. отделение, 1978. 10 с.
5. Доян А. А., Палья И. Я. Оборудование цинковальных электролитических покрытий. М.: Машиностроение, Ленинград. отделение, 1977. 15 с.
6. Згурский В. А. Отношения потерь и очистки воды в гальванических цехах Киев. Техника, 1974. 68 с.
7. Иженерная гальваника в промышленности. Под ред. М. Гинберга. 1. Машиностроение, 1977. 512 с.
8. Гатер Л. Справочник по гальванике. Киев. Техника, 1976. 253 с.
9. Ключков Б., Луцко С. В., Мринов В. И. Нитраты и сульфаты сточных вод в гальваническом производстве. М.: НИИТ восток, 1979. 72 с.

10. Котик Ф. И. Ускоренный контроль электролитов, растворов и расплавов. М.: Машиностроение, 1978. 191 с.
11. Кудрявцев Н. Т. Электр литические покрытия металлами. Л.: Химия, 1979. 352 с.
12. Макарова Н. А., Лебедева М. А., Набокова В. Н. Металлообработка в автомобилестроении. М.: Машиностроение, 1977. 244 с.
13. Сафулин Р. С. Теоретические и композиционные материалы. М.: Химия, 1983. 300 с.
14. Сребряный Л. А. Безопасность труда при нанесении гальванических покрытий. М.: Машиностроение, 1980. 70 с.
15. Смирнов Д. Н., Бенн В. Е. Очистка сточных вод в промышленности. М.: Металлургия, 1980. 195 с.
16. Справочник по гальванике. М.: Металлургия, 1969. 418 с.
17. Шалкаускас А. И., Вильямс А. Химическая металлургия. М.: Химия, Ленинград. отделение, 1977. 169 с.
18. Шмелева Н. М. Контроль качества при нанесении гальванических покрытий. М.: Машиностроение, 1980. 176 с.
19. Япольский А. М., Ильин В. А. Краткий справочник гальваника. М.: Машиностроение, Ленинград. отделение, 1981, с. 199—210.

ни  
тор  
осс1.1  
Со  
торми  
э  
1.1ни  
ввПр  
ва  
оса  
жи1.13  
лад  
леипок  
—Эле  
ние—  
и с  
наяоса  
но  
174напр  
нцы—  
в  
Киисл  
тов—  
едн  
174—  
ная  
1.168  
1.168  
Соста  
деня  
—  
Исход

Федор Федорович Ажогин,  
Илья Николаевич Андреев,  
Владимир Анатольевич Казаков и др.

### Гальванические покрытия в машиностроении.

Т. 2

Редактор *Т. Д. Онегина*  
Художественный редактор *В. В. Динь*  
Переплет художника *Г. С. Ковалева*  
Технический редактор *А. С. Давыдова*  
Корректоры *А. А. Свистина, Л. Е. Соникина*

ИБ № 74

Сдано в набор 02.10 Подписано в п  
чать 25.11.85. Т 01889 Формат 60x90<sup>1</sup>  
Бумага типографская № 1 Гарнитур л  
тературный Печать вык. Усл. ч  
15,5 Упр. отт 1 Уч. и д. л. 1  
Тираж 31 000 экз 3 кз 2  
Цена 1 р. 60 к.

Орден Трудового Героя  
Издательство «Машиностроение»,  
107076, Москва, Строительский пер., 4

Ленинградский завод «Ленгидмаш»  
Трудовой Красносельский район  
ского объединения «Ленгидмаш»  
им. Евгения Соколова Союздизмаш  
ма при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и  
книжной промышленности  
193144, г. Ленинград, ул. Моисеева, 1