

Продолжение табл. 10

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

Никелирование

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

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

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

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

11. Составы электролитов и режимы никелирования

Электролит	Содержание, г/л воды				
	Серно-кислого никеля, *1	Серно-кислого натрия *2	Хлористого натрия	Хлористого никеля	Фтористого натрия
Сернокислый (типовой)	175-200	80-160	20	-	-
То же, скоростной	420	150	5	30	-
То же, блестящего никелирования	200-400	-	5-15	-	5
Борфтористоводородный	-	-	-	-	-
Сульфаминовый	-	-	-	250-300	-

Электролит	Содержание, г/л воды				Режим работы		
	Натриевой соли *3	Борфтористоводородного никеля	Сульфаминово-кислого никеля	Борной кислоты	рН	Температура, °С	Плотность тока, А/дм ²
Сернокислый (типовой)	-	-	-	20	5-5,5	18-25	0,5-1,0
То же, скоростной	-	-	-	50	2,0-3,5	50-60	До 10
То же, блестящего никелирования	2-4	-	-	30	5,8-6,3	45-55	1-3
Борфтористоводородный	-	300	-	30	2,7-3,5	25-50	5-10
Сульфаминовый	2-3	-	250-350	25-30	3,5	25-30	10-15

*1 Никелевый купорос

*2 Десятиводный

*3 Дисульфат натриевой кислоты

12. Составы электролитов матового никелирования

Номер состава	Содержание, г/л воды							рН
	Сернокислого никеля	Сернокислого магния	Сернокислого натрия	Хлористого магния	Хлористого натрия	Хлористого аммония	Борная кислота	
1	175-200	-	90-100	-	20-25	-	25-30	5,4-5,8
2	130-150	30-50	100-120	-	10-15	-	25-30	5,2-5,6
3	120-240	-	-	-	20-25	-	20-30	4,5-5,5
4	65-70	До 10	-	-	-	32-35	До 10	-
5	140-160	10-20	До 100	20	10-20	-	20-30	4,2-4,6

увеличивает срок службы штампов и пресс-форм, защищает поверхность от повреждений и заеданий, устойчиво к кислотам и щелочам, эффективно для штампов горячей и холодной штамповки.

Пресс-формы и литейные формы (например, из стали 4Х4ВМФС) для литья под давлением деталей из алюминиевых сплавов (например, АЛ2) рационально упрочнять осаждением 9-12 мкм сплава никель-вольфрам. Повышается износостойкость поверхности цилиндров двигателей и поршневых колец при гальваническом нанесении слоя композиционного покрытия, состоящего из никелевой матри-

цы, содержащей мелкодисперсные частицы карбида кремния. Покрытие имеет твердость около 550 HV и толщину 30-70 мкм. Для создания такого покрытия в электролит вводят в виде суспензии 2,5-5% мелкодисперсных (менее 4 мкм) частиц карбида кремния твердостью около 2500 HV. Процесс проводится при катодной плотности тока 5 А/дм², температуре электролита 60 °С; материал анодов – никель НПА1. Составы электролитов для комплексного никелирования приведены в табл. 14.

13. Составы электролитов блестящего никелирования

Номер состава	Содержание, г/л воды			
	Сернокислого никеля	Дисульфонафталиновой кислоты (2,6-2,7 г/см ³)	Хлористого натрия	Борной кислоты
1	200-250	1-2	20-25	25-30
2	250-300	1-5	10-15	30-40
3	250-300	-	10-15	30-40
Номер состава	Содержание, г/л воды			рН
	Сернокислого натрия	Фтористого калия (натрия)	Прочих компонентов	
1	-	5-6	Формалин (40%-ный) 1-2	5,5-5,8
2	50-60	3,5	-	-
3	-	0,5-1,0	Паратолуолсульфамид 2: кумарин 0,5-1,0; препарат "Прогресс" 0,1-0,5	4,5-5,5

14. Составы электролитов комплексного никелирования

Назначение электролита	Номер состава	Содержание, г/л раствора			
		Борфтористого никеля	Борной кислоты	Сернокислого никеля	Сернокислого кобальта
Борфтористоводородное никелирование	1	300	30	-	-
	2	100	30	-	-
Осаждение сплава никель-кобальт	1	-	20-25	-	110-120
	2	-	25-30	140-160	100-108
	3	-	25	140	100
	4	-	30	200	19
Осаждение сплава никель-вольфрам	1	-	-	20	-
	2	-	-	15	-
Назначение электролита		Содержание, г/л раствора			рН
		Хлористого калия	Вольфрамвокислого натрия	Прочих компонентов	
Борфтористоводородное никелирование		-	-	Борфтористоводородная кислота 40	2,7-3,5
		-	-		2,3-3,5
Осаждение сплава никель-кобальт		10-15	-	Хлорный никель 130-140	4-5
		13-15	-	-	4,8-5,2
		-	-	-	-
		-	-	хлористый натрий 15	-
Осаждение сплава никель-вольфрам		-	50	Лимонная кислота 70	8
		-	100	Щавелевокислый аммоний 45	9

Многokратное повышение термической стойкости формoобразующих элементов пресс-форм при нанесении вольфрамоникелевого покрытия обусловлено аморфной структурой покрытия. Благодаря этому в поверхностном слое по границам зерен не происходит выделения хрупких интерметаллических соединений железа с алюминием, которые являются источником образования разгарных трещин. Не возникает взаимодействия покрытия с углеродом, содержащимся в смазочных материалах, с образованием хрупких углеродсодержащих соединений, так как никель (металл-растворитель) не является карбидообразующим элементом. Высокие твердость и пластичность вольфрамоникелевого покрытия пресс-форм при литье под давлением деталей из алюминиевых сплавов обеспечивают надежную защиту формoобразующих элементов от механического изнашивания, возникновения сетки разгара и термических трещин.

После никелирования необходимо улавливать никель из электролита и обезвреживать его. После промывки детали сушат. Режимы и способы выполнения этих операций, а также составы ванн для их выполнения аналогичны применяемым при хромировании. Контроль качества никелевых покрытий проводят по следующим основным показателям: внешний вид, толщина покрытия, отсутствие пор и прочность сцепления с основным металлом. Методы контроля аналогичны используемым при хромировании.

Основные причины и способы устранения дефектов электролитического никелирования приведены в табл. 15.

15. Причины возникновения и способы устранения дефектов электролитического никелирования

Дефект покрытия	Причина возникновения	Способ устранения
<i>Матовое никелирование</i>		
Никель осаждается, поверхность изделий покрывается пятнами	Низкая плотность тока или низкая температура электролита	Повысить плотность тока или температуру электролита
Грубое шероховатое покрытие, точечная пятнистость	Загрязнение электролита примесями, анодным шламом	Профильтровать электролит, добавить окислитель, применить движущие катоды
Отслаивание, растрескивание и хрупкость покрытия	Плохая подготовка поверхности, низкая температура электролита, загрязнение его техническими примесями	Соответственно улучшить подготовку поверхности, повысить температуру электролита, профильтровать его
Пористость покрытия	Наличие в электролите железа, высокая плотность тока, повышенная кислотность	Удалить железо, снизить плотность тока или кислотность, ввести антипиттинговые добавки "Прогресс" или "Сульфирол"
Подгар покрытия (серое шероховатое покрытие на углах и выступающих частях изделия)	Высокая плотность тока, низкая температура электролита	Снизить плотность тока, поддерживать температуру электролита не ниже 18 °С
Желтый оттенок покрытия	Низкая кислотность электролита	Повысить кислотность электролита
Отсутствие покрытия, обильное выделение на катоде	Высокая кислотность электролита	Понизить кислотность с помощью раствора едкого натра
Пассивирование анодов, запах хлора, падение напряжения	Высокая анодная плотность тока	Добавить хлориды, очистить аноды, увеличить их поверхность

Продолжение табл. 15

Дефект покрытия	Причина возникновения	Способ устранения
Черный цвет покрытия Образование питтинга	Наличие в электролите цинка Загрязнение электролита органическими примесями	Удалить цинк Подкислить электролит, добавить H_2O_2 и снова защелочить
<i>Блестящее никелирование</i>		
Недостаточный блеск	Понижение концентрации блескообразователей	Откорректировать электролит, добавив блескообразователи
Недостаточный блеск	Несоответствие плотности тока или pH раствора	Откорректировать плотность тока и величину pH
Недостаточное время выравнивания Покрытие блестящее, но хрупкое	Пониженная концентрация бутиндиола Недостаточное содержание добавки, уменьшающей внутренние напряжения (например, сахарина, монохлорамина Б) Накопление продуктов разложения блескообразователей	Добавить бутиндиол Ввести дополнительно соответствующие добавки (сахарин и др.) Очистить электролит от органических примесей
На выступающих участках и краях деталей пригоревший осадок	Избыток блескообразователей	Снизить концентрацию блескообразователей с помощью активированного угля или проработкой электролита током
Темный оттенок покрытия	Наличие примесей	Удалить примеси

Для нанесения никелевых покрытий могут быть использованы *бесцианистые электролиты*, в которых химические процессы осуществляются без применения токсичных веществ. Ниже приведены составы некоторых бесцианистых электролитов и режимы процессов электролитической упрочняющей обработки.

Аммиакатно-уротропиновый электролит цианирования содержит, г/л: оксида цинка 40-60; хлористого аммония 240-260; уротропина 40-60; мездрового клея 2-4; водного аммиака 100-200.

Режимы работы: температура $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$; катодная плотность тока 1-2 $\text{A}/\text{дм}^2$; pH = 8,0 ÷ 8,4.

Скорость осаждения при плотности тока 1 $\text{A}/\text{дм}^2$ 1 мкм за 3,5 мин.

Электролит обеспечивает большую рассеивающую способность, чем распространенные в промышленности хлораммиакатные электролиты, достаточно высокую плотность тока (1-2 $\text{A}/\text{дм}^2$) и выход по току 95-98%. Прост в изготовлении, стабилен в работе.

Сульфатно-аммониевый электролит кадмирования содержит, г/л: сернокислый кадмий 40-60; сернокислый аммоний 204-260; диспергатор НФ-Б 50-100 мл/л; уротропин 15-20; вещество ОП-10 0,7-1,2.

Режим работы: катодная плотность тока, 0,8-1,2 $\text{A}/\text{дм}^2$, температура $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$, pH = 4 ÷ 6. скорость осаждения при плотности током 0,8 $\text{A}/\text{дм}^2$ – 1 мкм за 3 мин. Катодный и анодный выходы металла по току составляют примерно 100%. Покрытия, полученные с применением этого электролита, мелкозернистые, плотные, с высокой коррозионной стойкостью. Диспергатор НФ-Б (ГОСТ 6848-79)

представляет собой конденсат бетасульфокислоты нафталина с формальдегидом, нейтрализованный аммиачной водой.

Сульфатно-трилоновый (нитрилотриуксуснокислый) электролит кадмирования содержит, г/л: сульфата кадмия 40-50, трилона А 100-110, едкого калия 100-110. Режим работы: катодная плотность тока 1-4 А/дм², температура 50-55 °С, рН = 11 ÷ 11,5. Скорость осаждения при плотности тока 1 А/дм² 21 мкм/ч. Загрузку деталей проводят под током.

Из растворов оптимальных составов при оптимальных режимах электролиза осаждаются высококачественные кадмиевые покрытия в интервале плотности тока 1-8 А/дм² с выходом по току. По рассеивающей способности электролит не уступает цианистому.

Электролит пиррофосфатного цинкования содержит, г/л: сернокислого цинка, кристаллогидрата 60-70, пиррофосфорнокислого калия, кристаллогидрата 350-380, фосфорнокислого аммония двузамещенного 45-55, сульфониловой кислоты 0,2-0,8; рН = 8,5 ÷ 9,5. Катодная плотность тока 1-2 А/дм² 18-25 °С; 2-4 А/дм² при температуре 35-40 °С. Время осаждения 1 мкм цинка составляет 2,2 мин при плотности тока 2 А/дм² либо 1,1 мин при плотности тока 4 А/дм²; рН = 8,5 ÷ 9,5.

Этилендиаминовый электролит меднения содержит, г/л: сернокислой меди 100-125, этилендиамина (100%) 50-60, сернокислого натрия 50-60, сернокислого аммония 50-60. Режим работы: температура меднения (20 ± 5) °С, рН = 8,2 ÷ 8,5, катодная плотность тока 0,5-1,0 А/дм², отношение анодной поверхности к катодной 2:1. Выдержка до получения осадка толщиной 3-4 мкм. Доразивание необходимой толщины медного покрытия производится из сернокислого электролита. Для улучшения качества сцепления осадка с основой выполняют операцию предварительного меднения в тартратном электролите состава, г/л: сернокислая медь 3-5, едкий натр 80-100, сегнетова соль 30-50. Режим работы: температура (20 ± 5) °С, катодная плотность тока 4-6 А/дм². Детали выдерживают в указанном составе без тока в течение 20-30 с, затем под током в течение 1-1,5 мин.

Рекомендуется также *железистосинеродистый электролит меднения* состава, г/л: сернокислая медь (в пересчете на металл) 15-30, железистосинеродистый калий 180-250, едкий калий 7-25, сегнетова соль 90-100. Режим работы: температура (55 ± 5) °С, катодная плотность 1,5-2,0 А/дм², отношение анодной поверхности к катодной 6:1. При плотности тока 2 А/дм² скорость осаждения составляет 1 мкм за 1,5 мин.

В качестве покрытия для стальных деталей применяют *биникель*, который можно наносить, исключая подслои меди. Процесс никелирования по схеме "биникель" заключается в последовательном нанесении полублестящего и блестящего никелевых покрытий из растворов соответственно составов 1 и 2, г/л:

1) сернокислый никель 250-350, борная кислота 30-40, хлористый натрий 10-20, 1,4-бутиндиол 0,08-0,12 мл/л, формалин 0,1 мл/л; режим работы: температура (40 ± 5) °С, рН = 5,1-4-5,4, катодная плотность тока 2-3 А/дм², скорость осаждения 1 мкм за 2,5 мин при плотности тока 2 А/дм²;

2) сернокислый никель 250-300, хлористый натрий 10-15, фтористый натрий 1-2, борная кислота 30-40, 1,4-бутиндиол 0,5-1,0 мл/л, формалин 0,03-0,35 мл/л, хлорамин Б 1-2 мл/л; режим работы: температура (55 ± 5) °С, рН 4 ÷ 4,5, катодная плотность тока 3-5 А/дм², скорость осаждения 1 мкм/мин при плотности тока 5 А/дм².

Двойное никелевое покрытие почти в 2 раза коррозионно-устойчивее однослойного такой же толщины. Для увеличения коррозионной стойкости крепежных деталей применяют защитные гальванические покрытия в сочетании с различными пропитками и тонкопленочными ингибированными покрытиями. В институте химии и химической технологии АН Литвы разработан ряд составов пассивирования типа Ликонда: для голубого пассивирования – Ликонда 22; для радужного – Ликонда 23, Ликонда 1, Ликонда 2; для зеленого – Ликонда 41; для прямого черного – Ликонда 31. Высокопроизводительный процесс блестящего цинкования выполняют с помощью Ликонды ZnSR. Гальванические осадки цинка, полученные по этому процессу, пластичные, выровненные, с бледно-голубым пассивированием. Раствор содержит цинк, хлористый аммоний и блескообразователи: Ликонда ZnSR-A, Ликонда ZnSR-B, Ликонда ZnSR-C. Выпуск составов Ликонда освоен в промышленном масштабе и внедрен для получения преобразующего покрытия на оцинкованных и кадмированных изделиях.

Высокой коррозионной стойкостью обладают следующие покрытия: в особо жестких условиях – кадмиевое, пропитанное раствором оливкового цвета, танина, а также раствором, содержащим Ликонду 41; в жестких условиях – цинковое, пропитанное танином; цинк-фосфатное в сочетании с тонкопленочным покрытием Мовиль. Коррозионная стойкость покрытий усиливается ингибированными смазками УСП, СЗГ-1, ХБГ-3. Составы электролитов и режимы осаждения покрытий приведены в табл. 16.

16. Составы электролитов и режимы антикоррозионной обработки

Покрытие	Состав электролита, г/л	Режим обработки	Дополнительная обработка		
			Вид обработки	Состав электролита, г/л	Режим
Кадмиевое	Сернистый кадмий 50; серная кислота 50; сернистый натрий 50; гидролизный спирт 10; столярный клей 5	Плотность тока 5 А/дм ² ; температура 20 °С	Хромирование оливкового цвета	Бихромат натрия 30; азотнокислый натрий 30; муравьиная кислота 50 мл/л; ледяная уксусная кислота 40 мл/л; формалин 15 мл/л 10 %-ный раствор	pH 1,4 – 2,7; температура 25 °С; время 5с
			Танином	10 %-ный раствор	Температура 25 °С
			В растворе Ликонда 41	-	То же
Цинковое	Сернистый цинк 60; хлористый аммоний 240; борная кислота 20; столярный клей 1	Плотность тока 1,5 А/дм ² ; температура 20 °С	Хромирование оливкового цвета	То же, что для кадмия	pH 1,4 – 2,7; температура 25 °С; время 5 с
			Танином	10 %-ный раствор	Температура 25 °С; время 5 с
			В растворе Ликонда 41	-	Температура 25 °С; время 5 с

Продолжение табл. 16

Покрытие	Состав электролита, г/л	Режим обработки	Дополнительная обработка		
			Вид обработки	Состав электролита, г/л	Режим
Цинковое Ликонда	Хлористый цинк 100; хлористый аммоний 200; Ликонда-А 50 мл/л; Ликонда-В 5 мл/л.	Плотность тока 1 А/дм ² ; температура 20 °С	Осветление с хромированием	Хромовый ангидрид 150; азотная кислота 100; серная кислота 20	Температура 20 °С; время 3 с
Цинкофосфатное	Сернистый цинк 120; хлористый аммоний 250; борная кислота 25; фосфорнокислый двузамещенный натрий 65; ортофосфорная кислота 30	Плотность тока 0,6 А/дм ² ; температура 25 °С	-	-	-
Тонкопленочное ингибитированное	НГ-216А НГ-216Б Мовиль	Температура 98 °С	-	-	-

Электрофоретическое осаждение

Электролитическое *композиционное покрытие* с металлической или полимерной матрицей (основой), армированной дисперсными частицами упрочняющего материала, образуется при осаждении порошковых покрытий на рабочих поверхностях стальных деталей сложной конфигурации, например, деталей пресс-форм, штампов, мерительного инструмента, гидрораспределительных устройств, различной технологической оснастки. Технологический процесс нанесения покрытия безвольфрамового твердого сплава на основе карбида хрома с никель-фосфорной связкой состоит из двух основных операций электрофоретического осаждения смеси порошкообразных компонентов покрытия и припекания электрофоретического осадка к стальной подложке, осуществляемого при 1160-1180 °С в защитной безокислительной среде или в вакууме.

Покрытие имеет высокую адгезию к подложке; разрушение покрытия при деформации происходит раньше, чем отслоение его от подложки. Ввиду того, что коэффициенты термического расширения материала покрытия и стали приблизительно одинаковы, в случае необходимости можно проводить термическую обработку деталей с покрытием по обычным режимам, не опасаясь растрескивания покрытия. Это, а также высокая жаростойкость покрытий позволяют использовать их для защиты деталей, испытывающих одновременное воздействие механических нагрузок, высокой температуры и абразивной среды. Максимальная толщина электрофоретического карбидохромового покрытия составляет 120-150 мкм. Многократным нанесением можно довести толщину покрытия