Угловая ячейка ЯУ-270 (ячейка Хулла). Практика применения

В работе обсуждаются возможности применения угловой ячейки ЯУ-270 (ячейки Хулла) для исследовательских работ и в производственной практике. Наиболее подробно рассмотрен вопрос использования ячейки Хулла для количественной оценки кроющей способности электролитов по новой методике с целью оптимизации выбора состава раствора для нанесения гальванопокрытия.

Смирнов К.Н., Архипов Е.А.
ФГОУ ВПО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»;
Научно-производственное предприятие «СЭМ.М»
npp-semm@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

При проведении лабораторных исследований и производственного контроля технологических свойств электролитов для нанесения покрытий металлами и сплавами применяются так называемые электролитические ячейки различной формы, в том числе угловые ячейки.

Одной из разновидностей угловых ячеек является ячейка Хулла (ЯУ-270) с рабочим объемом приблизительно 270 мл, эскиз которой и схема подключения приведены на **рисунке 1**. Эта угловая ячейка получила наибольшее распространение и считается наиболее универсальной, поскольку при средней катодной плотности тока 2 А/дм^2 (для большинства электролитов это значение попадает в рабочий диапазон катодных плотностей тока) на тестовой пластине реализуется распределение плотностей тока приблизительно от 0,1 до 8 А/дм^2, то есть перекрывает рабочие диапазоны большинства электролитов. Шкала распределения катодных плотностей тока по длине тестовой пластины при различных токовых нагрузках приведена на **рисунке 2**.

Основное назначение ячейки Хулла в гальваническом производстве – экспресс-тестирование (быстрый контроль) электролитов с целью определения их работоспособности и выявления причин неполадок [1, 2].

В данной работе обсуждается возможность применения ячейки Хулла для более широкого исследования электролитов нанесения металлопокрытий в условиях научной или производственной лаборатории.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРОЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Кроющая способность электролита является одной из важнейших технологических характеристик электролитов. Часто качество получаемого покрытия определяется не только его внешним видом и равномерностью распределения по профилю детали, но и таким фактором, как просто наличие покрытия без учета его толщины на труднодоступных участках поверхности деталей. Именно понятие «кроющая способность» характеризует электролит по этому критерию. Однако среди исследователей и производственников нет единого мнения о точной детерминации этого понятия и возможности применения каких-либо количественных критериев. Вот несколько отличающихся друг от друга определений КС:

- кроющая способность - это способность электролита покрывать углубленные участки на поверхности детали [2];

- кроющая способность определяется отношением максимального значения допустимой плотности тока к ее минимальному значению [2, 3];

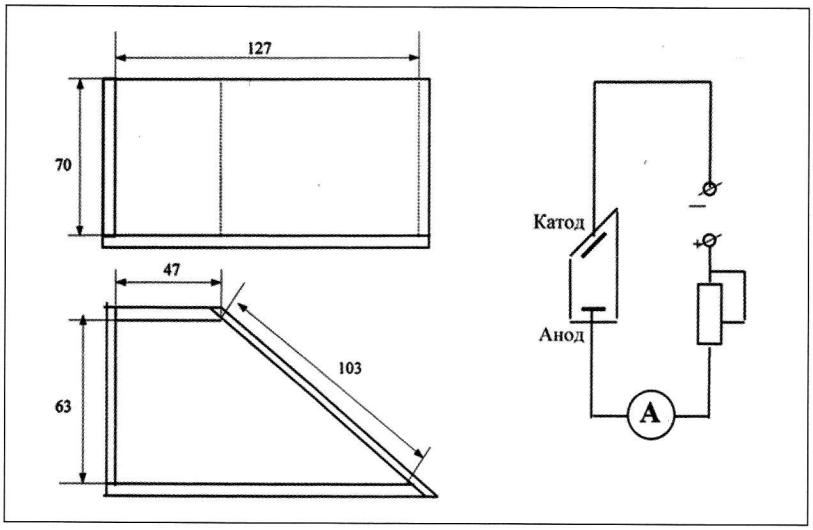

Рис. 1. Эскиз ячейки Хулла и схема ее подключения.

• кроющая способность электролита характеризуется минимальной плотностью тока, при которой начинается электроосаждение металла [3];

• под кроющей способностью электролита следует понимать возможность наносить из этого электролита покрытие необходимого качества на всей поверхности детали[3];

• КС - это способность электролита давать покрытие, закрывающее сплошь или частично рельефную поверхность без учета толщины слоя [4].

Рассмотрим некоторые предлагаемые методики определения количественных показателей кроющей способности электролитов и их недостатки:

1. Для количественного определения «работы ванны в глубину», то есть КС, Пен в своей тестовой ячейке предложил в качестве катода использовать пластину с углублениями диаметром 12,5 мм. Высота углублений постепенно возрастает от 1,25 до 12,5 мм, в первой ямке глубина составляет 10% от ее диаметра, а в последней 100%. Пен выражал кроющую способность 40%, если 4-я ямка покрылась полностью, а 5-я не полностью [5]. При реализации этой методики возникает несколько несоответствий:

• если при одной и той же катодной плотности тока диаметр углублений увеличить или уменьшить, то и отношение глубины прокрытия к диаметру соответственно увеличится или уменьшится;

• если увеличить или уменьшить время выдержки при одной и той же катодной плотности тока, отношение глубины прокрытия к диаметру соответственно увеличится или уменьшится, как и в первом случае;

• если увеличить или уменьшить катодную плотность тока при постоянных размерах и времени осаждения, произойдет то же самое, что и в двух первых случаях.

Кроме того, изготовление тестовой пластины достаточно трудоемко.

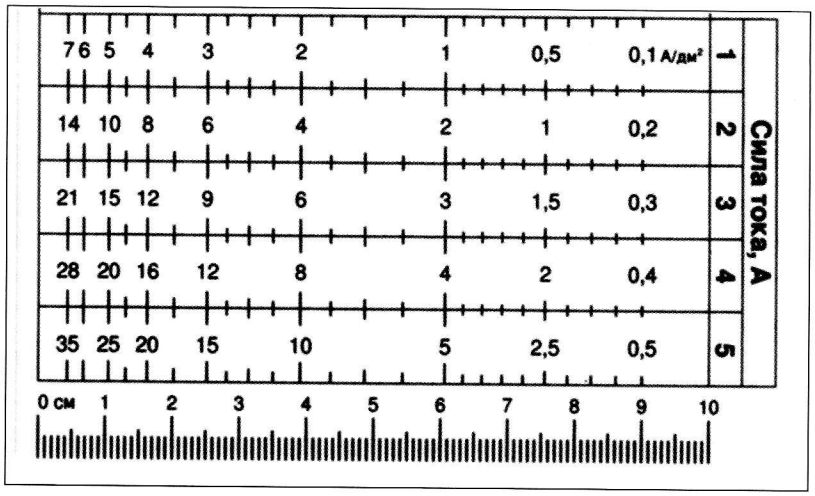

Рис. 2. Распределение катодных плотностей тока в зависимости от токовой нагрузки.

2. По другой методике осаждение металла проводится на угловой катод с углом 90 градусов [2] и оценивается площадь катода, покрытая сплошным слоем металла. КС соответствует процентному отношению площади образца с покрытием к общей площади. Здесь наблюдается аналогичная ситуация – на показатель будут влиять относительные размеры катода и расстояние до анода, катодная плотность тока и время осаждения.

Таким образом, получается, что количественный критерий КС (в %) электролита зависит от геометрии изделия, времени осаждения и катодной плотности тока и в конечном итоге во всех случаях можно применить лишь условную характеристику того или иного электролита, например «высокая (хорошая), средняя, низкая, очень низкая (плохая)» кроющая способность. С нашей точки зрения необходимо минимизировать зависимость показателя кроющей способности от вышеуказанных факторов, введя некий совокупный критерий.

В ранее опубликованных работах применение ячейки Хулла для количественной оценки КС уже предлагалось. Кроющая способность электролитов кадмирования оценивалась по времени образования сплошного слоя покрытия в области малых катодных плотностей тока, то есть на дальнем от анода краю тестовой пластины. Эта методика показала хорошую корреляцию полученных результатов с испытаниями соответствующих электролитов на модельных образцах сложного профиля, покрытых кадмием в стационарной лабораторной ванне [6,7].Однако время образования сплошного покрытия как количественный критерий КС в данном случае будет все же зависеть от токовой нагрузки на ячейку Хулла, то есть от средней катодной плотности тока. В связи с этим для количественной оценки кроющей способности при помощи ячейки Хулла предлагается в качестве количественного критерия (Ккс) величина, обратная произведению токовой нагрузки в А на время образования сплошного покрытия в секундах ($К_{кс} = 1/I\tau$). Чем выше значение критерия, тем выше кроющая способность. С нашей точки зрения такой критерий наиболее адекватен по сравнению с существующими, что можно пояснить на двух примерах:

1. Известно, что у всех электролитов хромирования крайне низкая КС[3], однако гипотетически можно полностью прокрыть в течение какого-то конечного времени, скажем, угловой катод или тестовую пластину в ячейке Хулла, задав очень высокую токовую нагрузку. При оценке КС по площади, покрытой хромом, последняя составит практически 100%. При оценке же с помощью предлагаемого нами критерия $К_{кс} = 1/I\tau$ ток много больше 1, время больше 1, а критерий много меньше 1.

2. По данным исследований, приведенных в [7], у цианидного и сульфатно-аммонийного (с добавкой диспергатора НФ) электролитов кадмирования хорошая кроющая способность, однако для цианидного электролита время τ меньше, чем для сульфатно-аммонийного, соответственно и $К_{кс}$ для него будет больше, причем мы разницу можем оценить количественно.

Для исследований было выбрано два электролита кадмирования с высокой кроющей способностью, два электролита никелирования со средней КС и два электролита свинцевания, имеющие невысокую КС. При этом в каждой группе кроющие способности двух электролитов несколько различались между собой. Составы электролитов приведены в **таблице 1.**

Для количественной оценки кроющей способности электролитов электроосаждение металлов проводилось в прозрачной (изготовленной из оргстекла) ячейке Хулла на медные катодные пластины в течение 15 минут при токовых нагрузках 0,5 и 1,0 А. В процессе электроосаждения визуально фиксировалось время образования сплошного слоя металла покрытия в области низких катодных плотностей тока. Для проверки адекватности критерия осаждение металлов из тех же электролитов проводилось на медную пластину шириной 20 и длиной 150 миллиметров, согнутую поперек вдвое таким образом, чтобы внутренний зазор составлял 0,5 миллиметра. Режим осаждения: 1 $А/дм^2$, время 30 минут. После осаждения покрытия пластина разгибалась и определялось процентное отношение площади внутренней поверхности образца, прокрытой металлом к общей внутренней поверхности. Экспериментальные данные представлены в **таблице 2.**

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Из двух электролитов кадмирования (1 и 2), обладающих высокой КС, первый предпочтительнее, так как имеет более высокий показатель $К_{кс} = 1/I\ \tau$, что, вероятно, связано с минеральным составом – электролит 1 можно считать комплексным в связи с наличием в составе аммония сернокислого, комплексные же электролиты, как правило, имеют лучшие технологические характеристики по сравнению с простыми.

2. Из двух электролитов никелирования (3 и 4) электролит с добавкой ЦКН-13 обладает более высокой КС, что связано с действием добавки – она повышает катодный выход по току никеля в области низких плотностей тока.

3. Оба электролита свинцевания (5 и 6) обладают низкой КС, что характерно для кислых электролитов свинцевания, но метилсульфоновый электролит с добавками ЦКН-45 А и Б имеет заметно лучшую КС.

Таким образом, с помощью ячейки Хулла, применяя предложенный критерий, можно проводить сравнительные исследования близких по технологическим характеристикам электролитов для выбора наилучшего из них с точки зрения кроющей способности, что часто бывает важно для технологов гальванических производств.

Таблица 1.
Составы исследуемых электролитов.

Компонент	Электролит №, содержание компонента, г/л					
	1	2	3	4	5	6
Кадмий сернокислый	45	200	-	-	-	-
Сернокислый аммоний	200	-	-	-	-	-
Сернокислый натрий	-	100	-	-	-	-
Диспергатор НФ-М (мл/л)	7	-	-	-	-	-
Добавка ЦКН-04С (мл/л)	-	5	-	-	-	-
Сернокислый никель	-	-	180	180	-	-
Хлористый никель	-	-	40	40	-	-
Борная кислота	-	-	30	30	-	-
Добавка ЦКН-13 (мл/л)	-	-	-	2	-	-
Свинец (по металлу)	-	-	-	-	100	100
Борфтористоводородная кислота своб.	-	-	-	-	40	-
Метилсульфоновая кислота своб.	-	-	-	-	-	10
Клей столярный	-	-	-	-	1	-
ЦКН-45А (мл/л)	-	-	-	-	-	30
ЦКН-45Б (мл/л)	-	-	-	-	-	30
pH	4,5	4,5	4,5	4,5	-	-

Таблица 2.
Показатели кроющей способности электролитов.

№ электролита	Ток I,A	Время τ, сек.	Критерий $К_{кс} = 1/I\tau$	$S_{покр}/ S_{общ}$,%
1	0,5	7	0,286	97
	1	3	0,333	
2	0,5	10	0,200	56
	1	6	0,166	
3	0,5	30	0,067	27
	1	15	0,067	
4	0,5	20	0,100	42
	1	10	0,100	
5	0,5	180	много меньше 1	5
	1	100	много меньше 1	
6	0,5	60	0,033	17
	1	30	0,033	

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССЕИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ПО МЕТАЛЛУ

Для определения рассеивающей способности (РС) электролитов ГОСТ 9.309-86 рекомендует применение щелевой ячейки Моллера с разборным катодом[8]. Ячейка Моллера разделена непроводящей перегородкой, имеющей узкую щель вдоль боковой стенки. В одной части ванны устанавливается анод, а в другой катодный блок с катодом, состоящим из 5-и или 10-и секций. Щель в перегородке играет роль идеально неполяризуемого анода. После осаждения металла на основании данных об изменении массы каждой секции катода рассчитывается РС по металлу для данной плотности тока. Предлагаемая ГОСТом методика больше подходит для исследовательских целей при определении влияния состава раствора и условий электролиза на РС.

В условиях производства во многих случаях поляризуемость анода оказывает влияние на распределение металла по профилю, то есть РС, причем в сторону улучшения. Таким образом, для технолога-производственника предпочтительнее применять для оценки РС ячейки без разделения катодного и анодного пространств, какой и является ячейка Хулла.

В [1] для определения РС электролитов цинкования предлагается использовать разрезаемый катод – медную или латунную пластину толщиной 0,3 - 0,4 мм и нанести на нее глубокие риски через каждые 10 мм. Затем пластину подготовить к осаждению по стандартным методикам, промыть, высушить и взвесить. На подготовленную таким образом пластину осадить цинковое покрытие в ячейке Хулла, снова промыть, высушить и взвесить для определения общей массы осажденного металла. После этого пластину надо разрезать на 10 полосок, предварительно пронумеровав их, каждую полоску взвесить, удалить осажденный цинк в соляной кислоте, промыть, высушить и снова взвесить. Рассеивающую способность по металлу можно оценить по упрощенной формуле как отношение масс на двух полосках, например №5 и №8:

$$РС_М = (М_8/М_5)\times 100\%,$$

где $М_8$ и $М_5$ – привес соответствующей секции катода, г.

Фирма АТОТЕХ (Германия) предлагает более упрощенный вариант определения РС на тестовой пластине путем измерения каким-либо способом толщины покрытия в двух контрольных точках. Для удобства технолога в комплект, который АТОТЕХ поставляет вместе с ячейкой Хулла входит так называемая шкала в виде прозрачной пластины (соответствующей по размеру металлической тестовой пластине) с напечатанным на ней распределением плотностей тока при различных токовых нагрузках и двумя небольшими отверстиями, находящимися как раз в контрольных точках (**рисунок 3**). Эту «шкалу» можно приложить к тестовой пластине с нанесенным покрытием, обвести тонким карандашом отверстия и в этих точках осуществить измерение толщины покрытия. Рассеивающую способность по металлу можно оценить по упрощенной формуле как отношение толщин в двух контрольных точках:

$$РС_М = (d_1/d_2)\times 100\%,$$

где d_1 и d_2 – толщина в соответствующих точках, мкм.

Необходимо отметить, что оценивая РС по металлу электролита с по-мощью ячейки Хулла по предложенным методикам, технолог получает не идеализированные зависимости ее значений от катодной плотности тока, а реальные интегрированные величины для различных составов электролитов, на основании которых опять же может выбрать оптимальный состав.

ИЗМЕРЕНИЕ БЛЕСКА ПОКРЫТИЙ

Если мы имеем дело с нанесением блестящих гальванических покрытий (электролиты содержат блескообразующие добавки), то важной задачей является оценка блеска покрытия.

Блеск покрытия относится к физико-химическим его свойствам и характеризует блестящие и матовые покрытия. Самым простым способом оценки блеска является визуальное наблюдение, но оно довольно субъективно и дает лишь качественное представление.

Блеск металлической поверхности обусловлен тем, что падающий на поверхность металла свет не рассеивается равномерно по всем направлениям, как в случаях матовых поверхностей, а отражается от поверхности по закону геометрической оптики (угол отражения равен углу падения). Чем меньше света рассеивает поверхность и чем больше отражает, тем более блестящей она является.

Зеркально отраженный свет при измерении улавливается либо оптическим прибором — фотометром (фотометрический метод), либо фотоэлектрическим прибором — фотоэлементом (фотоэлектрический метод). Измерение степени блеска поверхности блескомером связано с тем, что четкость отображенного в блестящей поверхности образца предмета (черные цифры на белой бумаге) тем меньше, чем больше расстояние между ними.

Большое практическое распространение получил фотоэлектрический блескомер ФБ-2, принцип работы которого основан на измерении отраженного света по отношению к степени отражения на серебряном зеркале. Для лабораторных исследований представляет большой интерес блескоопределитель А.Т. Ваграмяна и З.А. Соловьевой, позволяющий изучать блеск электролитических покрытий в процессе электролиза.

Для измерения зеркального коэффициента отражения малых участков плоских поверхностей (отражателей) в лабораторных и цеховых условиях можно рекомендовать зеркальный фотометр ФЗ-65. Погрешность измерения на приборе не более ±5 %[9].

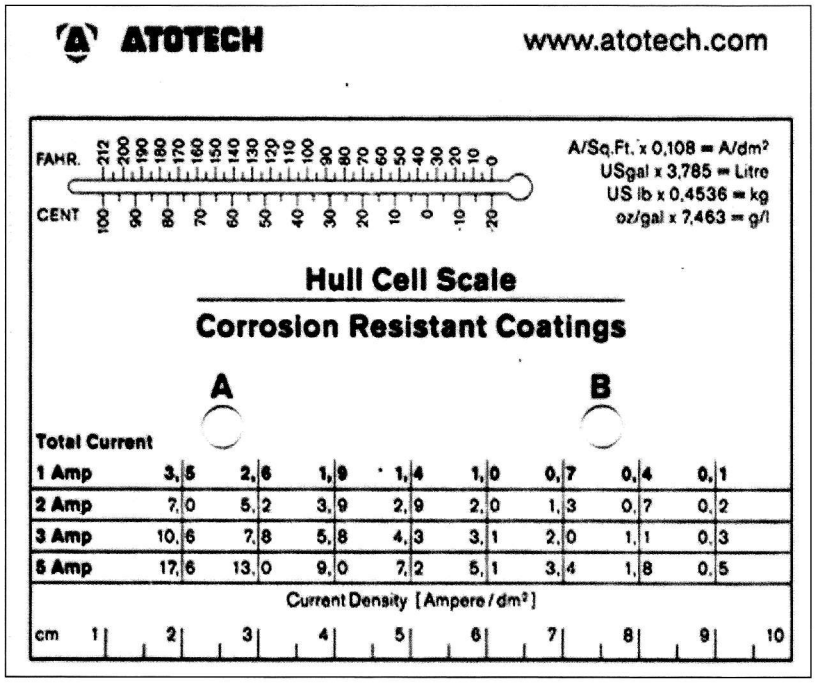

Рис. 3. «Шкала» ATOTEX

В случае количественного измерения блеска покрытия при помощи приборов опять же максимум информации может дать тестовая пластина, полученная осаждением соответствующего металла в ячейке Хулла при различных условиях:

- варьируя время осаждения покрытия, можно проследить зависимость его блеска от толщины;
- определяя степень блеска по длине тестовой пластины, можно выявить диапазон плотностей тока осаждения наиболее зеркальных покрытий;
- изменяя условия проведения электролиза (температуру, pH и другое), определить степень их влияния на блеск покрытия.

КОНТРОЛЬ БЛЕСКООБРАЗУЮЩИХ ДОБАВОК

Применение блескообразующих добавок требует постоянного контроля их содержания, поскольку в процессе промышленной эксплуатации они расходуются. Аналитические или аппаратурные методы определения концентрации блескообразователей в электролитах не всегда применимы по различным причинам, таким как высокая стоимость приборов, отсутствие химических методик или приборов для некоторых групп добавок и тому подобное. При этом многие блескообразователи при передозировке приводят к осаждению дефектных покрытий.

При тестировании рабочего электролита в ячейке Хулла нельзя определить концентрацию добавки в нем, но можно установить минимальное количество блескообразователя, необходимое для корректировки раствора. Для этого необходимо осадить из рабочего электролита покрытие на тестовую пластину и, если блеск неудовлетворительный, вводить соответствующую добавку небольшими порциями (по 10-15% от ее исходной концентрации) до получения желаемого результата. Затем количество добавки, введенной в ячейку Хулла, пересчитывается на объем рабочей ванны:

$$V_{доб.в.}(мл) = (1000:270) \times V_{доб.яч.} \times V_{в.},$$

где $V_{доб.в.}$ – количество добавки, которое необходимо ввести в ванну, мл;

$V_{доб.яч.}$ - количество добавки, введенное в ячейку, мл;

$V_{в.}$–объем рабочей ванны, л.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОЛИТОВ И БЛЕСКООБРАЗУЮЩИХ ДОБАВОК

На гальваническом производстве может возникнуть необходимость замены одной блескообразующей добавки на другую. Причиной может быть прекращение производства или чрезмерное подорожание добавки, переориентирование на импортозамещение и другое. При переходе на новую добавку для какого-либо процесса можно пойти по пути полной замены электролита свежим или провести очистку электролита от остатков старой добавки. Первый путь является затратным с экономической точки зрения, а второй с точки зрения трудозатрат и потери рабочего времени.

В реальности же в большинстве случаев блескообразующие добавки различных производителей для одного и того же процесса взаимозаменяемы, то есть совместимы друг с другом и перейти с одной на другую можно без замены или очистки электролита, просто начав корректировать его новой добавкой. Однако менеджеры компаний-поставщиков не могут ответить на вопрос технологов о взаимозаменяемости добавок, либо не имея информации об этом вопросе, либо из-за запрета руководства распространять такие сведения.

Тестирование различных добавок при помощи ячейки Хулла дает технологу возможность проверки совместимости добавок. Для проверки необходимо взять пробу рабочего электролита, требующего корректировки блескообразователем, и начать вводить в него небольшими порциями добавку, на которую планируется заменить старую. В случае несовместимости добавок мы практически сразу получим дефектное покрытие и наоборот, если добавки взаимозаменяемы, будет наблюдаться улучшение качества покрытия.

При внедрении в производство какого-либо нового гальванического процесса возникает необходимость выбора оптимального состава электролита и добавок к нему. Фирмы-поставщики расходных материалов для гальванических производств при заинтересованности предприятия в сотрудничестве обычно предоставляют образцы их продукции в небольших количествах для лабораторных испытаний. С помощью ячейки Хулла удобно проводить такие испытания на предмет выбора одной из добавок разных производителей по нескольким критериям, таким, например, как:

• блескообразующее действие (степень блеска);

• диапазон рабочей концентрации;

• электрохимический расход (стабильность);

• рассеивающая и кроющая способность в присутствии добавки.

Учтя при этом экономические показатели (стоимость той или иной добавки), можно выбрать наиболее подходящий вариант.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА БЛЕСКООБРАЗУЮЩИХ ДОБАВОК

При работе в промышленных масштабах с электролитами, содержащими блескообразующие добавки, необходим входной контроль вновь приобретаемых блескообразователей. Бывают ситуации, когда у приобретаемой добавки истек срок годности, она испорчена, бывают случаи поставки вместо заявленной совершенно другой добавки, особенно, если продукция приобретается не напрямую от фирмы-производителя, а через перекупщиков.

Соответственно, каждую партию приобретенных блескообразующих добавок необходимо проверить на соответствие заявленной маркировке, на соответствие техническим условиям производителя, что осуществляется опять же тестированием добавок в ячейке Хулла. Для тестирования необходимо взять свежеприготовленный в лаборатории соответствующий электролит, вводя в который добавку, можно оценить ее качество.

РАЗРАБОТКА БЛЕСКООБРАЗУЮЩИХ ДОБАВОК И КОМПОЗИЦИЙ

Для инженера химика-технолога в области технологии электрохимических производств ячейка Хулла является незаменимым исследовательским инструментом при разработке блескообразующих добавок и композиций к электролитам для нанесения металлов и сплавов.

В качестве примера можно привести опыт Научно-производственного предприятия «СЭМ.М», специализирующегося на разработке новых и совершенствовании существующих технологий электроосаждения металлов и сплавов и подготовки поверхности, а также производстве и продаже специальных добавок и композиций для гальванических производств.

Одним из российских предприятий была поставлена задача разработки бесцианидного электролита кадмирования, не уступающего цианидному по показателю кроющей способности, для нанесения кадмиевых покрытий на сложнопрофилированные детали без применения дополнительных анодов и специальной оснастки. За основу был взят один из лучших до недавнего времени бесцианидных электролитов кадмирования – сульфатно-аммонийно-уротропиновый.

При изучении технической литературы по вопросам электролитического кадмирования была выявлена группа веществ, оказывающих благоприятное действие на процесс кадмирования в соответствующей группе электролитов, выбраны доступные аналоги и с помощью ячейки Хулла изучено их влияние на процесс. В результате исследований было выявлено четыре компонента, названные условно A, B, и C и являющиеся соответственно продуктом конденсации аминов с хлорпроизводным окиси пропилена, органической сульфокислотой и неионогенным поверхностно-активным веществом.

Экспериментально было выяснено, что компонент В отвечает за основное необходимое свойство электролита – кроющую способность; в присутствии этой добавки КС не уступала цианидному электролиту кадмирования, однако покрытия осаждались темные и шероховатые. Добавка А не оказывала существенного воздействия на КС, но в ее присутствии покрытия осаждались гладкие, компактные, немного темноватые в области низких плотностей тока и с незначительным питтингом при высоких плотностях тока. При дополнительном введении С на низких плотностях тока покрытия становились светлыми, исчезал питтинг и расширялся диапазон осаждения качественных покрытий. При дальнейших экспериментах в ячейке Хулла были определены оптимальные концентрации каждого компонента и составлены две добавки – ЦКН-04, позволяющая наносить из сульфатно-аммонийного электролита гладкие компактные покрытия кадмием и обеспечивающая высокую КС, и ЦКН-04С – так называемая смачивающая добавка, устраняющая питтинг при высоких плотностях тока и улучшающая качество покрытия при низких.

В настоящее время НПП «СЭМ.М» осуществляет производство и реализацию разработанных добавок. Есть опыт их применения на нескольких российских предприятиях, на одном из них уже в течении 2-х лет.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕИЗВЕСТНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Случаются и нетипичные ситуации в гальванике, в которых может помочь ячейка Хулла. Однажды в НПП «СЭМ.М» обратились представители довольно крупной ювелирной мастерской, в которой есть небольшой гальванический участок нанесения драгоценных металлов для внутренних нужд. Мастерской был приобретен в магазине ювелирной техники электролит золочения малоизвестной итальянской фирмы. Никаких технических рекомендаций предоставлено не было, единственная информация об электролите содержалась на этикетке – содержание золота 1 г/л. Зав. производством мастерской попросил специалистов НПП «СЭМ.М» разобраться, что это за раствор и как с ним работать.

Электролит после осмотра был протестирован на ячейке Хулла и на основании совокупных наблюдений были сделаны следующие выводы:

• поскольку электролит содержит всего 1 г/л золота, он служит для нанесения тонкослойных декоративных финишных покрытий;

• голубой цвет электролита свидетельствовал о наличии легирующего компонента, скорее всего меди, соответственно должен осаждаться сплав золото-медь, имеющий красноватый оттенок;

• бурное выделение водорода при комнатной температуре и подгар покрытия свидетельствовало о необходимости применения высокой температуры.

Окончательное тестирование электролита с учетом сделанных выводов и при температуре 60°С позволило определить тип электролита (для нанесения финишного покрытия красным золотом, цвет русской 585 пробы) и условия его эксплуатации (температура 55-65°С, катодная плотность тока 3-10 А/дм^2, время осаждения 30-60 сек.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Окулов В.В. Цинкование. Техника и технология // Приложение к журналу «Гальванотехника и обработка поверхности» / Под ред. Д.Х.Н., проф. В.Н. Кудрявцева. М.: Глобус, 2008, с. 214-226;

2. Горкер Л.С. Электрохимические ячейки и их применение в практике осаждения гальванических покрытий. // Мир гальваники, 2009, 1 (09) февраль, с 16-19;

3. Сборник практических материалов. Приложение к журналу «Гальванотехника и обработка поверхности». - М. Издательский центр РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2012, с. 378-383;

4. Прикладная электрохимия. Учеб. Для вузов. / Под ред. докт. техн. наук проф. А.П. Томилова. – 3-е изд., перераб. – М.: Химия, 1984, с. 259;

5. www.stroitelstvo - new.ru / metal / kroyuschaya - sposobnost.shtml

6. Смирнов К.Н., Архипов Е.А., Кравченко Д.В. Кроющая способность электролитов кадмирования. // Гальванотехника и обработка поверхности. – М., 2013 – Т. XXI, № 4, с.30-33;

7. Кравченко Д.В., Архипов Е.А., Смирнов К.Н. Кроющая способность сульфатно - аммонийного электролита кадмирования с диспергатором НФ-М и добавкой ЦКН-04. // Тез. Докл. 12-ой Международной Конф. «Покрытия и обработка поверхности. Последние достижения в технологиях и оборудовании». – МВЦ «Крокус Экспо», 2015 с. 55-56;

8.ГОСТ 9.309-86;

9. www.adio.su/content/view/148/149

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Смирнов Кирилл Николаевич – доцент, кафедра ТЭП, ФГОУ ВПО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»
125047, г. Москва, Миусская пл., д.9;
Тел. 8 (499) 978-59-90;
E-mail: gtech@muctr.ru

Архипов Евгений Андреевич– генеральный директор, ООО ПК «НПП СЭМ.М»
127427, г. Москва, ул. Б.Марфинская, д.1, корп.2, оф.8;
Тел. 8 (495) 978-94-42;
E-mail: npp-semm@yandex.ru
www.bestgalvanik.ru