

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ПОЛИРОВКА МЕТАЛЛОВ

I. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ПОЛИРОВКА НИКЕЛЯ

В. И. Лайнер

Московский институт цветных металлов и золота им. М. И. Калинина

Общепринятый до последнего времени метод полировки металлических изделий связан с затратой большого количества ручного труда, в особенности при полировке изделий неправильной формы. Полировка осуществляется на кругах с постепенно уменьшающимся размером абразивного материала, причем количество переходов тем больше, чем тщательнее должна быть отполирована поверхность. Применение ручного труда вносит много элементов субъективизма и, помимо нерентабельности, не обеспечивает получение воспроизводимых результатов, хотя бы и при наличии правильного технологического процесса, полноценного инструмента и материала.

При электрохимической полировке изделия помещаются в качестве анода в электролит определенного состава при определенном режиме — плотности тока, температуре и времени выдержки. В данном случае задача сводится к подысканию такого электролита, который был бы достаточно устойчив во времени, как в процессе эксплуатации, так и в перерывы, и не был чувствителен к случайным загрязнениям. В то же время электролит должен обладать достаточно широким рабочим диапазоном (так называемым рабочим интервалом) в отношении плотности тока и температуры. При соблюдении этих условий ручной труд исключается, в то время как степень отделки поверхности выше, чем при механической полировке. Электрохимическая полировка освещена наиболее подробно Жаке [1] применительно к изготовлению металлографических шлифов. Впервые этот метод был разработан для электрохимической полировки микрошлифов из меди и медных сплавов; в дальнейшем были найдены оптимальные условия для полировки железа, алюминия, свинца, олова и их сплавов. При электрохимической полировке (и травлении) получается совершенно свободная от царапин поверхность с истинной структурой, не искаженной в результате механической обработки шлифа. Судя по литературным данным, электрохимический метод полировки металлографических шлифов получил широкое применение в США и в странах Западной Европы [2]. На страницах нашей периодической печати этот метод неоднократно освещался в журнале „Заводская лаборатория“ [3]. Нам, однако, неизвестно, чтобы этот метод у нас получил практическое применение, несмотря на очевидные преимущества его в отношении скорости, стоимости и качества, по сравнению со старым, классическим методом полировки микрошлифов.

Несравненно больший интерес представляет электрохимическая полировка механических изделий в целях сообщения им красивого, блестящего вида или высокого коэффициента отражения света. Так,

например, значительное практическое применение получил электрохимический метод полировки изделий из нержавеющей стали и алюминия [4]. Коэффициент отражения света электрохимически полированного алюминия выше, чем при механической полировке. Для устойчивости такой поверхности требуется дополнительно нанесение оксидной пленки, не снижающей коэффициента отражения света.

Наиболее крупные установки по электрохимической полировке изделий из нержавеющей стали имеются в США, в частности для электрических холодильников. General Electric производит в год 2500 000 холодильников, что соответствует 12500 т стали. Особые преимущества имеет электрическая полировка мелких изделий сложной формы со значительными углублениями.

Не меньший интерес представляет электрохимическая полировка в производстве защитно-декоративных гальванических покрытий, например при никелировании, меднении, латунировании, серебрении и т. п. Как известно, в подавляющем большинстве случаев гальванические покрытия получают матовыми и блеск им сообщается последующей полировкой. Помимо перечисленных выше затруднений, связанных с ручной полировкой, в данном случае часто имеет место сползание покрытия на краях, углах и выступах, а также значительное уменьшение всей толщины покрытия и, следовательно, снижение его защитных свойств. При электрохимической полировке гальванических покрытий, толщина снимаемого слоя точно регулируется путем соблюдения определенного режима — плотности тока и времени выдержки. Что касается экономического эффекта, то он особенно значителен при так называемых многослойных покрытиях, например при защитно-декоративном хромировании. В последнем случае стальные изделия последовательно покрываются медью в цианистой ванне, медью в кислой ванне, никелем и хромом. После меднения и никелирования следует полировка на матерчатых кругах, затем обезжиривание, двойная промывка и декапирование. Из-за этих промежуточных операций процесс не может быть выполнен целиком в автомате: он дважды обрывается — после полировки меди и после полировки никеля. Применяя электрохимическую полировку, мы в значительной степени сокращаем процесс в целом и получаем возможность полного осуществления его в автоматической установке.

К вопросу о механизме электрохимической полировки. К сожалению, до сих пор нет удовлетворительной теории электрохимической полировки. Мы к этому вопросу в дальнейшем вернемся; здесь же мы вкратце изложим существующие по этому поводу точки зрения различных авторов.

По Жаке [5], сущность метода электрохимической полировки заключается в анодном пассивировании в результате концентрационной поляризации. Анодный процесс должен протекать таким образом, чтобы растворялись только или, по крайней мере, преимущественно, выступающие участки, в то время как углубления должны оставаться нетронутыми. В результате такого рода выравнивания поверхности, точнее удаления выпуклостей, и достигается высокая степень полировки, о которой можно судить как по внешнему виду, так и по измерению коэффициента отражения света. Повидимому, такого рода растворение может иметь место либо в результате задержки в углублениях продуктов анодного растворения, либо в результате образования в углублениях более или менее прочной газовой пленки. В том и другом случае в углублениях возникает значительное сопротивление, и ток преимущественно распределяется на выпуклых участках.

Эванс считает, что при электрохимической полировке поверхность должна оставаться пассивной в углублениях и активной на выпуклых участках. Такое допущение согласуется со взглядами Мюллера, согласно которым углубления, где могут накапливаться продукты анодного растворения, более склонны к пассивированию.

Кривые анодных потенциалов, соответствующих значениям плотности тока, при которых получается полированная поверхность, обычно

характеризуются горизонтальными участками. Повидимому, надо принимать во внимание и соображения физического порядка — влияние местной кривизны поверхности на вероятность перехода атома в иное состояние. Энергия, необходимая для такого перехода, включает в себя: а) энергию, необходимую для отделения от соседних атомов, и б) энергию, необходимую для того, чтобы протолкнуть атом через пленку. Работа (а) минимальна на краях выступающих участков, где атомы имеют мало „соседей“, и максимальна в углублениях, где атомы имеют „соседей“ со всех сторон. Если исходить из того, что матовая поверхность представляет серию местных возвышений, то удаление их в результате анодного растворения должно привести к созданию блестящей поверхности.

Большое влияние оказывают растворимость анодных продуктов в данной среде, их вязкость и связанная с последней диффузия. Очевидно, при прочих равных условиях вязкость анодной пленки будет в углублениях больше, чем на выступающих частях, и это обстоятельство безусловно способствует полирующему действию электрического тока. Как частные факторы, оказывающие влияние на диффузию анодной пленки в глубь электролита, достойны упоминания: положение образца в электролите (вертикальное или горизонтальное), температура, перемешивание и некоторые другие. При электрохимической полировке шлифов рекомендуется последние помещать в горизонтальном положении; повышенная температура и перемешивание, как правило, приводят к необходимости повышения плотности тока, но в ряде случаев при этом достигается качественный эффект.

Образующаяся иногда при электрохимической полировке волнистая поверхность может быть объяснена накоплением продуктов анодного растворения вдоль линий с малой скоростью движения электролита. Как правило, электрохимическая полировка осуществляется при высоких значениях анодной плотности тока, порядка десятков, а иногда и сотен ампер на 1 дм². Однако, выше определенных значений плотности тока поверхность получается хотя и блестящей, но усеянной многочисленными изъязвлениями, что может быть объяснено разрушением анодной пленки на выступающих участках.

В большинстве случаев для электрохимической полировки применяются кислотные радикалы, как PO_4''' , ClO_4' , SO_4'' , NO_3' , F' , часто в электролит вводится CrO_3 . Однако при определенных условиях могут применяться и цианиды, например для электрополировки серебра. Фосфаты образуют вязкую пленку, задерживающуюся в углублениях и тем самым способствующую растворению выступов. Поэтому фосфаты применяются особенно часто; однако не во всех случаях они оказываются приемлемыми.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ *

В обычных электролитах никелированные изделия получают матовыми, и для доведения до высокого блеска их подвергают полировке на матерчатых кругах, смазываемых специальной пастой. Как правило, эта операция осуществляется вручную, защитные свойства никелевых покрытий значительно снижаются, а на остриях и других выступающих местах никель нередко целиком сползывается. Правда, в последние годы было предложено немало электролитов, позволяющих получать блестящие никелевые покрытия непосредствен-

* Выполнена при участии В. П. Смирновой.

но из ванн, без последующей полировки. Эти электролиты должны содержать высокомолекулярные органические соединения, оказывающие благоприятное влияние на процесс электрокристаллизации никеля. К сожалению, покрытия в этих случаях получаются сильно напряженными, склонными к растрескиванию. Так называемые полублестящие никелевые покрытия могут быть получены при наличии в электролите кобальта или кобальта вместе с органическими соединениями. Несмотря на значительные достижения, имеющиеся в области получения блестящих никелевых покрытий, трудности еще очень велики. По этой причине нам представляется весьма целесообразным никелировать изделия в обычных электролитах, обеспечивающих получение пластичных покрытий, и затем подвергать их полировке электрохимическим путем.

Метод эксперимента был выбран следующий: медные или латунные образцы обезжиривались и травились в смеси концентрированной серной и азотной кислоты. Никелирование осуществлялось при $D_k = 2$ А/дм², температуре 50° в течение 1 часа, что соответствовало примерной толщине покрытия в 0.02 мм.

Состав электролита был следующий: $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 250 г/л, H_3BO_3 30 г/л, KCl 15 г/л.

После никелирования образцы промывались в струе проточной воды и загружались на 30 секунд в качестве анода в ванну для электрохимической полировки. О качестве последней мы судили по внешнему виду, как это принято и при механической полировке. Хотя при такой оценке не исключаются некоторые неточности, количество проведенных опытов было столь велико, что сделанные нами выводы не вызывают сомнения.

Состав электролита. В качестве основного электролита нами была выбрана серная кислота. В литературе имеются указания на возможность применения и других; более сложных электролитов для электрохимической полировки никеля. Мы сконцентрировали свое внимание на серной кислоте по причинам методического и технико-экономического порядка [6.7].

Для установления оптимальной концентрации серной кислоты мы приготовили серию растворов, отличающихся друг от друга по удельному весу на 0.02. Всего было испытано около 20 растворов; максимальная концентрация соответствовала удельному весу 1.66 (при 18° С); минимальная концентрация 1.3. В каждом растворе устанавливались границы максимальной и минимальной плотности тока, при которых матовые никелевые покрытия становились блестящими в течение 30 секунд при температуре 40°. Время и температура были нами установлены предварительно на основании ряда ориентировочных опытов, и в данном случае они поддерживались постоянными. Область между максимальной и минимальной плотностью тока характеризует так называемый „рабочий интервал“.

Для сильно концентрированных растворов H_2SO_4 (уд. вес 1.66 или 73.8%) минимальная плотность тока, при которой возможно получать блестящую поверхность, равна 25 А/дм², в то время как максимум соответствует 30 А/дм². При дальнейшем повышении плотности тока вся поверхность образца покрывается продуктами анодного растворения (NiSO_4), и сила тока падает почти до нуля. После удаления продуктов анодного растворения выявляется неравномерно разъеденная поверхность. По мере разбавления серной кислоты повышаются максимальные значения плотности тока, при которых поверхность получается протравленной, и для сильно разбавленных растворов этот максимум не достигим, так как весь никель переходит в раствор. Полученные данные иллюстрируются табл. 1 и рис. 1.

Как видно из табл. 1 и рис. 1, оптимальная концентрация серной кислоты, соответствующая наиболее широкому рабочему интервалу, имеет уд. вес 1.6, или 68.7%.

Влияние температуры. В серной кислоте уд. вес 1.6%, была проведена серия опытов при температуре 20, 30, 40, 50, 60 и 70°. С повы-

шением температуры от 20 до 40° минимальная плотность тока должна быть понижена от 60 А/дм² до 40 А/дм², в то время как допустимая максимальная плотность тока повышается от 140 А/дм² до 180 А/дм². При дальнейшем повышении температуры минимальная плотность тока остается на одном уровне, в то время как максимальная плотность тока несколько снижается. Как видно из табл. 2 и рис. 2, оптимальная температура соответствует 40°. Наши данные несколько расходятся с литературными, согласно которым рекомендуется поддерживать 30°.

Влияние хлоридов. Как известно, в ванны для никелирования вводятся ионы хлора, назначение которых сводится к активированию анодов. В отсутствие активаторов никель пассивируется при сравнительно невысоких значениях плотности тока. Можно было рассчитывать, что

в присутствии хлоридов электрохимическая полировка никеля не даст эффекта или будет протекать при очень высоких значениях анодной плотности тока. Экспериментальная проверка такого

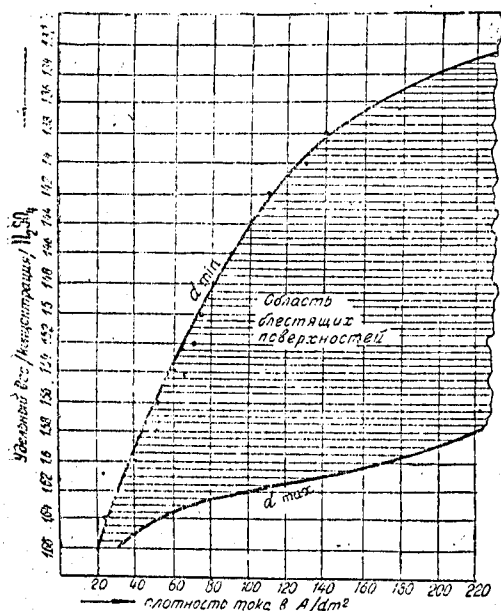


Рис. 1. Влияние концентрации серной кислоты на рабочий интервал.

ТАБЛИЦА 1

Влияние концентрации серной кислоты на рабочий интервал

Уд. вес H_2SO_4	1.66	1.64	1.62	1.6	1.58	1.56	1.54	1.52	1.5	1.48	1.46	1.44	1.42
$D_{A \min}$, А/дм ²	20	25	30	40	50	50	60	70	75	80	90	100	110
$D_{A \max}$, А/дм ²	30	50	100	180	220	выше 220							

предположения в растворе $NiSO_4$ (уд. вес 1.6) подтверждена данными табл. 3 и рис. 3. Можно, однако, сказать, что в присутствии хлоридов рабочий интервал заметно не сужается: минимальные значения плотности тока, при которых получают блестящие поверхности, повышаются, но, повидимому, и максимальные значения тока повышаются, — нами они не были достигнуты, так как никель за 30 секунд весь растворялся.

Влияние плотности тока на выход по току. Большая серия опытов нами была проведена в целях выяснения зависимости

между анодной плотностью тока и выходом по току. Этот вопрос представляет большой практический интерес при электрохимической полировке изделий со сложной конфигурацией. В этом случае на выступах плотность тока может быть в 2—3 раза больше средней, расчетной плотности тока, а в углублениях, наоборот, фактическая плотность тока может быть в несколько раз меньше средней плотности тока. При таких значительных отклонениях мы можем выйти за пределы рабочего интервала, а на выступающих участках никель может быть весь растворен.

Эта серия опытов была проведена не с никелированными образцами, а с никелевыми; продолжительность каждого опыта была 5 минут; последовательно с рабочей ванной включался медный кулометр. Было установлено, что в чистой серной кислоте (уд. вес 1.6) при температуре 40° выход по току довольно резко падает (от 80 до 40%) при повышении плотности тока от 10 А/дм² до 40 А/дм². При дальнейшем повышении плотности тока, выход по току незначительно снижается — до 35—36%. То обстоятельство, что с повышением плотности тока выход по току падает, способствует равномерному растворению — полировке никеля. Эта тенденция сохраняется при повышении температуры до 70°, хотя абсолютные значения выходов повышаются при этом на 10—20%.

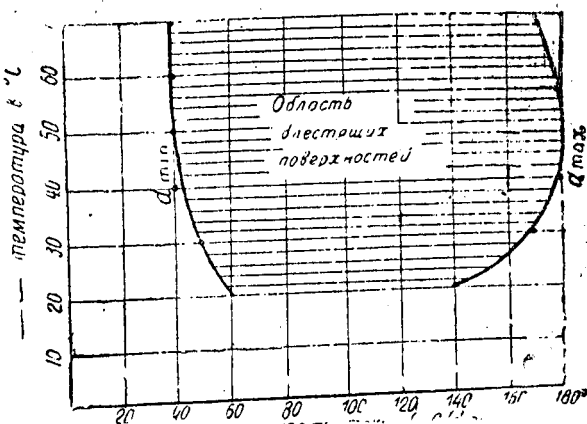


Рис. 2. Влияние температуры на рабочий интервал.

ТАБЛИЦА 2

Влияние температуры на рабочий интервал

Температура (в °C)	20	30	40	50	60	70
$D_{A \min}$, А/дм ²	60	50	40	40	40	40
$D_{A \max}$, А/дм ²	140	170	180	180	170	170

Введение в электролит хлоридов повышает анодный выход по току лишь при низких значениях плотности тока (10—50 А/дм²); при более высоких значениях анодной плотности тока влияние хлоридов заметно не сказывается. Присутствие в электролите NiSO₄ заметно не сказывается на зависимости между выходом по току и плотностью тока.

Рассеивающая способность при электрохимической полировке. Успешное проведение любого гальваностегического процесса в известной мере определяется рассеивающей способностью. Не в меньшей мере это относится и к процессу электрохимической полировки. Уже то обстоятельство, что с повышением плотности тока выход по току снижается, должно способствовать равномерному

растворению металла, т. е. улучшению рассеивающей способности. Этого, однако, недостаточно. При катодном осаждении металлов рассеивающая способность зависит от ряда факторов, как то: формы, покрываемых изделий, величины катодной поляризации, электропроводности, расстояния между электродами и др. Применительно к электрохимической полировке имеются лишь указания общего порядка, — никаких экспериментальных данных, посвященных этому вопросу, мы не нашли.

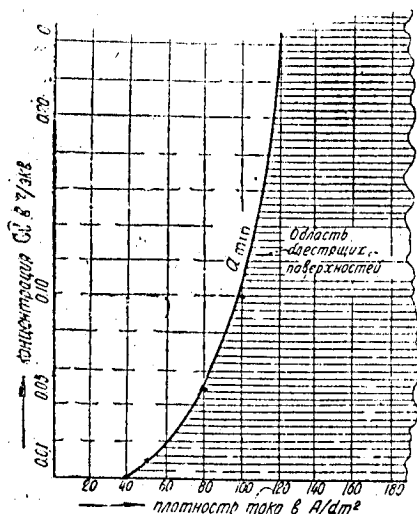


Рис. 3. Влияние хлор-иона на рабочий интервал.

шения ошибки при измерении продолжительность электролиза доводилась до 15—30 минут. Для 15-минутных опытов мы задавались средней плотностью тока в 30, 40 и 50 А/дм², а для 30-минутных опытов средняя плотность тока была 50 А/дм². В табл. 4 приведены участки иллюстрирующие растворение различных горизонтальных даные, анода, т. е. рассеивающую способность при электрополировке.

Для измерения рассеивающей способности при электрохимической полировке никеля мы воспользовались методом Кромбхольца [9]. В качестве анодов служили никелевые прутки диаметром 3.75 ± 0.01 мм, согнутые под прямым углом. Горизонтальная часть прутка, длиной в 100 мм, была напильником размечена на 10 равных частей; катодом служила свинцовая пластинка, удаленная от краев горизонтальной части прутка на 150 мм (рис. 4).

Каждая часть прутка измерялась микрометром с точностью до 0.01 мм до и после электролиза. Для умень-

ТАБЛИЦА 3

Влияние хлоридов на рабочий интервал

Концентрация Cl^- (г/экв.)	0.01	0.05	0.10	0.25
$D_A \text{ min}$, А/дм²	50	80	100	120
$D_A \text{ max}$, А/дм²	выше 220			

Для сопоставления полученных данных с равномерностью распределения никеля при его электроосаждении мы точно такой же согнутый под прямым углом никелевый прутки включали в общепринятый электролит для никелирования в качестве катода при средней (расчетной) плотности тока в 2 А/дм². В данном случае продолжительность электролиза была 2 часа. Полученные данные представлены в табл. 5.

Из сопоставления этих таблиц можно заключить, что рассеивающая способность, выраженная, по Кромбхольцу, при электрохимической полировке никеля, по крайней мере в 2.5—3 раза лучше, чем при электролитическом осаждении никеля (ср. первые и десятые участки для обоих случаев).

Мы не можем согласиться с мнением некоторых исследователей, утверждающих, что „необходимым условием успешного анодного полирования металлов является максимальное понижение рассеивающей способности ванн“ [10].

В частности, указывается, что процессу электрохимической полировки способствуют такие факторы, как увеличение электропроводности, сближение электродов, введение в электролит пассиваторов типа CrO_3 , накопление в растворе ионов обрабатываемого металла. На примере электрохимической полировки никели мы можем утверждать, что ни один из перечисленных факторов не способствует электрохимической полировке.

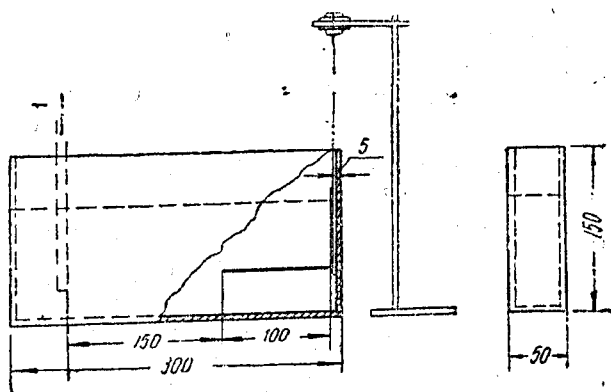


Рис. 4. Ванна для определения рассеивающей способности.

В 20%-й серной кислоте электрохимическая полировка вообще невозможна. Не следует смешивать преимущественное растворение микроскопических или субмикроскопических выступов, в результате чего, собственно, и осуществляется электрополировка с замедленным по сравнению с „первичным распределением тока“, растворением металла на краях, остриях и выпуклых участках обрабатываемой поверхности, вследствие значительной анодной поляризации и понижения выхода по току с повышением плотности тока. Хорошая рассеивающая способность при электрополировке никелированных изделий в серной кислоте была нами продемонстрирована на различного рода резбовых изделиях.

ТАБЛИЦА 4

Изменение толщины снятого слоя на различном участке образца

№ участ- ка	Толщина снятого слоя (в мм)			
	Время электролиза 15 минут			Время электро- лиза 30 минут
	30 А/дм²	40 А/дм²	50 А/дм²	
1	0.060	0.080	0.100	0.160
2	0.055	0.067	0.085	0.150
3	0.050	0.060	0.077	0.140
4	0.045	0.057	0.072	0.137
5	0.042	0.055	0.070	0.135
6	0.040	0.052	0.065	0.132
7	0.037	0.050	0.062	0.130
8	0.035	0.047	0.060	0.130
9	0.032	0.045	0.057	0.127
10	0.030	0.042	0.055	0.125

Сцепление электрополированных изделий с гальваническими покрытиями. Нами выше указывалось, что электрохимическая полировка трактуется некоторыми исследователями как локальное пассивирование. С точки зрения практического применения электрохимической полировки в гальваностегии представляет

ТАБЛИЦА 5

Изменение толщины покрытия на различных участках образца

№ участков образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Толщина покрытия (в мм)	0.135	0.105	0.087	0.07	0.057	0.050	0.040	0.035	0.030	0.025

интерес сцепление электрополированной поверхности с другими электроосажденными на такой поверхности металлами. Помимо практического интереса, выяснение такого вопроса могло бы пролить некоторый свет на природу пассивной пленки, если таковая действительно образуется в процессе электрополировки. Как известно, алюминий

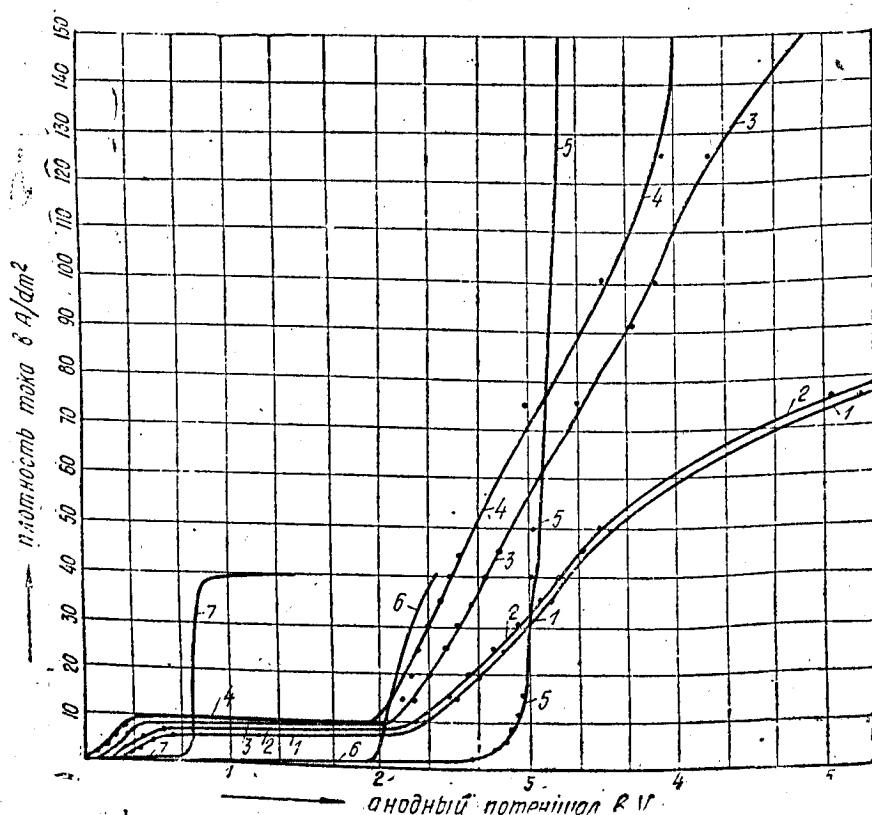


Рис. 5. Анодная поляризация никеля в серной кислоте (уд. вес 1.6) при различном содержании Cl^- .

1— H_2SO_4 без Cl^- ; 2—0.05 г/экв. Cl^- ; 3—0.1 г/экв. Cl^- ; 4—0.25 г/экв. Cl^- ; 5—Pt анод; 6—2 н. раствор NiSO_4 без Cl^- ; 7—0.5 г/экв. Cl^- .

не сцепляется с другими металлическими покрытиями из-за наличия пассивной (оксидной) пленки; медь, пассивированная в хромовой кислоте, не сцепляется с никелем и т. д.

Для выяснения этого вопроса мы омедняли никелевые образцы (после электрохимической полировки) в обычном кислом электролите; точно так же электрополированные медные образцы мы никелировали в обычном электролите. Те и другие образцы затем многократно изгибались до излома; отслаивания покрытия при этом не наблюдалось.

Эти факты говорят о том, что если в процессе электрополировки и образуется какая-то пассивная пленка, то она по своей структуре (или по толщине) существенно отличается от простых пассивных пленок.

Защитные свойства никелевых покрытий после электрополировки заметно не снижаются. Это объясняется тем обстоятельством, что в процессе электрополировки не выявляются новые поры, так как растворяются выступающие участки, а не углубления.

Анодная поляризация никеля в 68.7%-й H_2SO_4 . При электролитическом осаждении и рафинировании никеля в электролите обычно вводят ионы хлора, назначение которых сводится к активированию анодов. Механизм активирующего действия Cl^- неоднократно изучался, и по этому вопросу имеется много практических данных. При электрохимической полировке концентрация ионов никеля незначительна, в то время как концентрация H^+ очень высока. Помимо этого, применяемая плотность тока в сотни раз превосходит ту, которая применяется при электрометаллургии никеля. Применительно к таким условиям, мы никаких указаний в литературе не нашли.

Анодные потенциалы нами измерялись в H_2SO_4 (уд. вес 1.6) в присутствии и отсутствии Cl^- . Температура поддерживалась на уровне $40^\circ (\pm 2^\circ)$, электролит перемешивался воздухом от водоструйного насоса. Тыловая часть анода (никелевой ленты) изолировалась кислотостойким лаком (раствор киноплёнки в ацетоне). Результаты измерений графически показаны на рис. 5. Кривые анодных потенциалов почти во всех исследованных растворах состоят из 3 ветвей. Первый скачок потенциала в растворе H_2SO_4 , не содержащей Cl^- , имеет место при 6 А/дм². По мере увеличения концентрации Cl^- плотность тока, при которой имеет место скачок потенциала, сдвигается в сторону более высоких значений анодной плотности тока. Активирующее действие Cl^- в растворах сернистого никеля несравненно больше, чем в растворах H_2SO_4 . Переход к горизонтальному участку кривой потенциал—плотность тока в 2 н. $NiSO_4 + 0.1$ н. Cl^- имеет место при 40 А/дм², в то время как в растворе 68.7%-й H_2SO_4 этот переход наблюдается при 7 А/дм².

Выводы

1. Никель может быть успешно отполирован электрохимически в растворе H_2SO_4 в весьма короткое время; оптимальной концентрацией H_2SO_4 является 68.7% (уд. вес 1.6).
2. Температура не оказывает сильного влияния на процесс; однако оптимальной является температура 40° .
3. Электролит мало чувствителен к примесям посторонних ионов. В присутствии Cl^- повышается минимальная плотность тока, при которой получается блестящая поверхность.
4. Выход по току резко падает с повышением плотности тока от 5 до 50 А/дм². При дальнейшем повышении плотности тока выход по току меняется незначительно.
5. Рассеивающая способность при электрополировке никеля значительно выше, чем при никелировании.
6. Сцепление других металлов, электроосажденных поверх электрополированного никеля, достаточно прочное.
7. Защитные свойства никелевых покрытий заметно не снижаются при электрополировке.
8. Кривые анодной поляризации в растворе 68.7%-й H_2SO_4 состоят из 3 ветвей: первый скачок потенциала имеет место при 6 А/дм², второй скачок при 50 А/дм².

ЛИТЕРАТУРА

- [1] P. Jaquet. С. г., 201, 1473 (1935); 202, 403 (1936); Bull. Soc. Chim. France, 3, 705 (1936). — [2] T. W. Lippert. Iron Age, 146, 26, 23—30 (1940); Carl Schaefer. Met. Ind. N. Y., 1 (1940); Brown. Metal Progress, 40, 3, 298—299 (1941); Koppernik. Aluminium, 18, 9, 433—435 (1936); Keller. Iron Age, 197, January 9, 25—26 (1941). — [3] Воловни. Заводская лаборатория, 11, 1337—1342 (1936); Гершунс. Там же, 2, 195—201 (1937); Виноград. Там же, 2, 224—225 (1939); там же, 2, 227—228 (1939). — [4] Н. Н. Uhlig. Trans. Amer. Electroch. Soc., 78, 343—350 (1940); Б. П. Артамонов, Н. П. Федотьев, Н. Н. Разметова. ГИПХ, сб. статей, 200—233, (1919—1939). — [5] P. Jaquet. On the anodic behaviour of copper in aqueous solutions of orthophosphoric acid, доклад и дискуссия. Trans. Amer. Electroch. Soc., 69, 629—655 (1936). — [6] Hotherhall, Hammond. J. Electrodeposit. Techn. Soc., 16, 83—98 (1940); Steel, 118, 73 (1941); Met. Ind., 58, 8, 193—196 (1941). — [7] U. S. P., 2, 282, 350 (1942); U. S. P., 2, 282, 351 (1942); U. S. P., 2, 315, 695 (1943). — [8] Wernick. Met. Ind., 10 XII 1943. — [9] Krombholz. Trans. Amer. Electroch. Soc., 68, 425 (1935). — [10] А. И. Левин. Станки и инструменты, 3 (1944).

Поступило в Редакцию
3 октября 1944 г.

THE ELECTROCHEMICAL POLISHING OF METALS

I. THE ELECTROCHEMICAL POLISHING OF NICKEL

V. I. Layner

Nickel may be successfully polished in the solution of H_2SO_4 during a very short time. The optimum concentration of H_2SO_4 is 68.7 (specific gravity 1.6). The optimum temperature 40° .