



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4216378/31-02

(22) 10.12.86

(46) 30.12.88. Бюл. № 48

(71) Белорусский политехнический институт  
и Институт прикладной физики АН БССР

(72) Н. Н. Зацепин, В. Ф. Силюк,  
И. И. Малько, А. М. Шмелев и С. В. Домников

(53) 621.357.77 (088.8)

(56) Згурский В. А. Основы построения  
автоматизированных систем управления спе-  
циализированным гальваническим производ-  
ством. Киев: Наукова думка, 1973, с. 40—48.

Авторское свидетельство СССР  
№ 916615, кл. С 25 D 21/12, 1980.

(54) СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОГО УП-  
РАВЛЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМ ПРО-  
ЦЕССОМ

(57) Изобретение относится к измеритель-  
ной технике в области электрохимии и может  
быть использовано в гальваностегии. Цель  
изобретения — обеспечение контроля значе-  
ния средней толщины покрытия на партии  
деталей. В способе автоматического управ-  
ления гальваническим процессом применяют  
партию эталонных изделий из  $n$  ( $n \geq 6$ ),  
подлежащих гальванизации и расположен-  
ных в произвольной последовательности по  
объему ванны объектов, непрерывно изме-  
ряют значения токов через каждое эталон-  
ное гальванизируемое изделие и по относи-

тельным отклонениям токов от средних зна-  
чений, пропорциональных поверхностям из-  
делий, определяют стабильность протекания  
процесса в зонах расположения эталонных  
изделий в текущем коротком интервале вре-  
мени, определяют также массы веществ,  
выделяющихся на каждом эталонном гальва-  
низируемом изделии и на всех вместе рабо-  
чих изделиях как интегралы соответствую-  
щих токов во времени и по относительно-  
му разбросу масс в изделиях эталонной  
партии определяют основную относительную  
погрешность нанесения средней толщины по-  
крытия на изделиях рабочей партии, а по ве-  
личине относительного отклонения отноше-  
ния массы, выделившейся на всех изделиях  
рабочей партии, к массе, выделившейся на  
всех изделиях эталонной партии, и отно-  
шения тока через все гальванизируемые  
изделия рабочей партии к току через все  
эталонные изделия от своего наиболее ве-  
роятного значения в данном временном ин-  
тервале цикла гальванизации определяют со-  
ответственно дополнительную погрешность  
нанесения средней толщины покрытия на из-  
делиях рабочей партии и стабильность про-  
текания всего процесса во всем объеме  
гальванической ванны, при этом полная по-  
грешность нанесения средней толщины по-  
крытия равна вероятностной сумме основной  
и дополнительной погрешностей. 2 ил.

Изобретение относится к измерительной технике в электрохимии и может быть использовано в гальваностегии и гальванопластике.

Цель изобретения — обеспечение надежного контроля значения средней толщины покрытий на партии деталей.

На фиг. 1 приведена принципиальная схема устройства для реализации способа; на фиг. 2 — зависимость  $K_{ср}$  в функции от времени.

В данном способе автоматического контроля точности нанесения средней толщины покрытия измерение основано на следующем. В одном и том же технологическом цикле при одинаковых условиях одновременно гальванизируются две партии деталей — эталонная и рабочая. Так как деление гальванизируемых изделий на эталонные и рабочие чисто условно и в качестве эталонных и рабочих используются одинаковые детали, то очевидно, что точности нанесения средних толщин на изделиях эталонной и рабочей партий с определенной степенью приближения одинаковые. Но поверхности эталонных изделий и их количество известны, поэтому условное деление всех гальванизируемых изделий на эталонные и рабочие в значительной степени облегчает активный контроль точности нанесения средней толщины покрытия. Способ осуществляется следующим образом.

Осуществляют оценку систематической и случайной погрешностей по показателям работы эталонной партии изделий. Точность процесса гальванизации ограничивается систематическими и случайными погрешностями. Значение систематической погрешности в основном определяется разбросом значений напряженности электрического поля  $E$  по объему ванны, что для данной геометрии гальванизации является величиной постоянной. Для каждого эталонного изделия существует своя систематическая погрешность, величина которой определяется расположением данного изделия по отношению к аноду и другим гальванизируемым изделиям, т. е. величина систематической погрешности изменяется по закону изменения случайных величин. Целый ряд причин приводят также к возникновению изменяющихся во времени случайных погрешностей. Так как процесс гальванизации очень длительный, то случайные погрешности очень хорошо усредняются во времени и поэтому их влияние не является определяющим. Необходимо, чтобы случайная погрешность за счет влияния какого-то фактора не перешла в разряд систематических.

По объему ванны (для средних толщин и средних плотностей токов) усредняются также и систематические погрешности, причем для эталонной и рабочей партий изделий примерно в одинаковой мере. Это позволяет судить о средней толщине и средней

плотности тока по полному току через эталонные или рабочие изделия. Основные трудности гальванизации, связанные с низкой точностью нанесения средних толщин на отдельных изделиях, связаны с влиянием систематических погрешностей.

Данное техническое решение позволяет следить за величиной систематической погрешности и контролировать ее величину на коротких и длительных интервалах времени, т. е. одновременно оценивать и уровень случайных погрешностей. Основной вклад в значение основной относительной составляющей погрешности вносит систематическая погрешность и так как она в основном в процессе гальванизации изменяется мало, то в случае, если  $\gamma_0 > \gamma_0^{\text{доп}}$  процесс должен быть остановлен или, в лучшем случае, должны быть заново оценены возможности использования изделий с полученным разбросом средних толщин.

Таким образом, оценка систематических и случайных погрешностей процесса гальванизации по показателям работы изделий эталонной партии заключается в следующем.

Непрерывно с интервалом времени  $T_0$  между двумя измерениями измеряют и регистрируют токи через все  $h$  изделий эталонной партии ( $h \geq 6$ )  $I_{01}, I_{02}, \dots, I_{0h}$  и полный ток  $I$  через все изделия рабочей партии, так как один цикл измерений токов содержит  $h+1$  измерение, т. е. один и тот же ток периодически измеряется через интервал времени  $T_0 (n+2)$ , то значение интервала  $T_0 (n+2)$  выбирают из известного условия неискаженной передачи аналоговой информации дискретными значениями, или определяют средние значения измеряемых токов в интервалах времени  $T_0 (n+2)$ .

В каждом интервале  $T_0 (n+2)$  определяют полный ток через эталонные изделия

$$I_0 = \sum_{i=1}^n I_{0i};$$

коэффициенты  $K_{01}, K_{02}, \dots, K_{0n}$ , где  $K_{0i} = I_0 / I_{0i}$ ; значения  $\Delta K_{01}, \Delta K_{02}, \dots, \Delta K_{0n}$ , где

$$\Delta K_{0i} = K_{0i} - K_{0i}; \quad K_{0i} = I_0 / I_{0i} = I_0 \cdot I_0 / n = n$$

( $K_0 = n$  при использовании в качестве эталонных изделий  $n$  однотипных изделий с поверхностью одного изделия  $\delta_0$  при идеальной симметрии токов через эталонные изделия); значения  $\gamma_{01}, \gamma_{02}, \dots, \gamma_{0n}$ , где  $\gamma_{0i} = \Delta K_{0i} / K_0$ .

Определяют относительную среднеквадратичную нестабильность токов через эталонные изделия в интервале  $T_0 (n+2)$

$$\gamma_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \gamma_{0i}^2}{n-1}}$$

Проверяют выполнение условия  $\gamma_0^{\text{доп}} < \gamma_0 < \gamma_0^{\text{доп}}$ . Если  $\gamma_0 > \gamma_0^{\text{доп}}$ , то процесс гальванизации прекращается.

Определяют основную составляющую погрешности нанесения средних толщин покрытия, обусловленную систематическими по-

грешностями. Так как случайные погрешности хорошо усредняются во времени, то при интегрировании токов по изделиям, т. е. при определении масс, выделившихся на изделиях эталонной партии, останутся нескомпенсированными в основном только систематические погрешности. Так по разбросу масс на изделиях эталонной партии определяется основная составляющая погрешности нанесения средней толщины по отдельным изделиям, обусловленная систематической погрешностью.

Таким образом, для определения основной составляющей погрешности в каждом интервале времени  $T_0$  ( $n+2$ ) определяют массы  $m_{01}, m_{02}, \dots, m_{0n}$  и  $m$  как интегралы соответствующих токов по всему времени гальванизации  $t$

$$m_{oi} = C \int I_{oi} dt,$$

где  $C = \text{const}$  для данного материала покрытия; определяют абсолютный и относительный разброс масс по эталонным изделиям

$$\Delta m_{01}, \Delta m_{02}, \dots, \Delta m_{0n} \text{ и } \gamma_{p1}, \gamma_{p2}, \dots, \gamma_{pn},$$

где  $\Delta m_{oi} = m_{oi} - m_{oi}/n_i \gamma_{oi} = \Delta m_{oi}/m_{oi}/n_i$ ,

определяют среднеквадратичную основную составляющую погрешности нанесения средней толщины по изделиям

$$\gamma_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \gamma_{pi}^2}{n-1}}.$$

Осуществляют оценку случайных погрешностей по стабильности отношения тока через рабочие изделия  $I$  к току через эталонные изделия  $I_0$ .

Если бы процесс гальванизации протекал абсолютно стабильно, т. е. случайная погрешность была бы равна нулю, то отношение  $I/I_0 = K = \text{const}$ . В силу неизбежного существования случайных погрешностей отношение  $I/I_0$  изменяется, причем тем сильнее, чем на более коротком интервале времени определяются значения токов (случайные погрешности меньше усредняются).

Так как истинное, неискаженное погрешностями значение отношения  $I/I_0$  неизвестно, массы выделившихся на изделиях рабочей и эталонной партий веществ пропорциональны интегралам токов  $I$  и  $I_0$  во времени, а случайная погрешность во времени усредняется, то отношение

$$m/m_0 = \int_0^t I dt / \int_0^t I_0 dt = K_{cp}$$

более стабильно во времени и более близко к истинному значению. Хотя значение  $K_{cp}$  с течением времени все меньше и меньше изменяется, но в момент окончания процесса гальванизации случайные погрешности все-таки сдвигают значение  $K_{cp}$  от своего наиболее вероятного значения

$$K_b = \int_0^t K'_{cp} dt / t$$

На фиг. 1 условно показан характер зависимости  $K_{cp}$  в функции от времени. За истинное значение отношения  $I/I_0$  принимается значение  $K_b$  среднее значение  $K_{cp}$ , которое может быть определено для любого момента времени  $t$ . Степень отличия  $K_b$  от истинного значения определяется несимметрией нескомпенсированных систематических погрешностей в рабочей и эталонной партиях.

Определив значение  $I/I_0$  для любого момента времени и значение  $K_b$ , можно оценить степень влияния случайной погрешности на интервале  $T_0$  ( $n+2$ ) и влияние этой погрешности на точность нанесения средней толщины покрытия на изделия рабочей партии. Так, влияние случайной погрешности на интервале  $T_0$  ( $n+2$ ) оценивается по величине отношения

$$\gamma = (K - K_b) / K_b,$$

Если знак  $\gamma$  не меняется в течение нескольких смежных интервалов, то это свидетельствует о том, что эта погрешность перерастает в систематическую. Влияние случайной погрешности на точность нанесения средней толщины покрытия на временном интервале гальванизации определяется следующим образом.

Так как значение  $K_b = S/S_0 n$ , где  $S$  — полная поверхность всех изделий рабочей партии, то  $S = K_b n S_0$ .

С другой стороны — заканчивается процесс при  $K_{cp} = m/m_0 = K_k \neq K_b$ , т. е.  $m = m_0 K_k$ . Если случайная погрешность не повлияет, то значение выделившейся массы на изделиях рабочей партии равно  $m_0 K_b$ .

При значении  $\rho$  плотности материала покрытия значения толщин покрытия без учета влияния случайной погрешности  $H_u$  и с учетом ее влияния  $H_n$  равны соответственно

$$H_u = m_0 K_b / K_b n S_0 \rho; \quad H_n = m_0 K_k / K_b n S_0 \rho.$$

Погрешность нанесения средней толщины покрытия за счет влияния случайной погрешности равна

$$\gamma_i = (H_n - H_u) / H_u = (K_k - K_b) / K_b = \Delta K / K_b.$$

Таким образом, для оценки дополнительной погрешности  $\gamma_c$  за счет влияния случайной погрешности в каждом  $T_0$  ( $n+2$ ) интервале времени определяют

$$K = I/I_0; \quad K_{cp} = m/m_0; \quad K_b = \int_0^t K'_{cp} dt / t; \\ \gamma = (K - K_b) / K_b; \quad \gamma_c = (K_k - K_b) / K_b,$$

где  $K_k = K_{cp}$  в конце гальванизации (в момент времени  $t$ ).

Запоминают знак  $\gamma$  в каждом интервале  $T_0$  ( $n+2$ ) и проверяют на выполнение условия  $\gamma_{доп} < \gamma < \gamma_{доп}$ .

Если  $\gamma > \gamma_{доп}$  и знак  $\gamma$  в пяти смежных интервалах не изменяется, то процесс останавливается для выяснения причины сбоя работы.

Определяют в каждом интервале  $T_0 (n + 2)$  полную погрешность нанесения толщины покрытия, т. е. разброс средних толщин покрытий на различных изделиях рабочей партии

$$\gamma_n = \sqrt{\gamma_c^2 + \gamma_p^2}$$

и погрешность распределения толщины покрытия по поверхности изделия

$$\gamma_\Sigma = \sqrt{\gamma_n^2 + \gamma_k^2 + \gamma_p \epsilon^2},$$

где  $\gamma_k$  — среднеквадратичная погрешность, обусловленная краевым эффектом (за счет неоднородности распределения заряда по поверхности изделия);

$\epsilon$  — экспериментально определяемый по результатам статистических исследований коэффициент корреляции между основной погрешностью  $\gamma_p$  и добавочной погрешностью распределения толщины покрытия на поверхности изделия, являющейся функцией  $\gamma_p$ .

Непрерывно выводят значения  $\gamma_n$  и  $\gamma_\Sigma$  на цифровое табло и проверяют, не выходят ли их значения за допустимые пределы для того, чтобы в любой момент остановить процесс, выяснить причину сбоя или оценить целесообразность его дальнейшего продолжения.

В процессе гальванизации непрерывно определяют среднее значение плотности тока

$$j = I_0 / n S_0$$

и поддерживают его значение в требуемых пределах.

Прекращение процесса гальванизации осуществляют в момент, когда текущее значение средней толщины покрытия достигает заданного значения толщины  $H_{зад}$ . Если контроль осуществляют, например, по току, т. е. по выделившейся массе  $m_0$ , то это произойдет в момент, при котором

$$m_0 = /n S_0 \rho = H_{зад}$$

Значения погрешности  $\gamma_n$  и  $\gamma_\Sigma$  в этот момент и служат для оценки точности нанесения толщины покрытия.

Количество изделий эталонной партии (выборки)  $n$  принято после обработки результатов гальванизации 19 партий различных изделий при среднем количестве изделий в партии порядка 54. В рассматриваемом случае по выборке из  $n$  гальванизируемых изделий судят о средней толщине всей партии изделий и определяют среднеквадратичную погрешность ее разброса по

всем изделиям. Известно, что для точного измерения значения измеряемой величины при грубом измерении (при большой случайной погрешности) требуется значение  $n$  и, чем с большей точностью осуществляется измерение, тем при меньших значениях  $n$  может быть достигнута требуемая точность. В рассматриваемом случае средняя толщина эталонной партии определяется из выражения  $m_0 / n S_0 \rho$ , причем значение  $m_0$  определяется очень точно, до десятых долей процента методом интегрирования тока  $I_0$ .

Так как значение  $S_0$  и  $\rho$  задаются также очень точно, то и при малом значении  $n$  средняя толщина покрытия определяется с высокой точностью (до десятых долей процента). Среднеквадратичная погрешность измерения разброса средней толщины по изделиям при малом значении  $n$  получается завышенной, так как усреднение проявляется слабо. Так как в пределе (при  $n \rightarrow \infty$ ) доверительная вероятность среднеквадратичной погрешности равна 0,68, то если бы таким методом обрабатывались результаты по всем гальванизируемым изделиям, значение полученной погрешности было бы меньшим при доверительной вероятности 0,68. Меньшим значениями  $n$  соответствуют большие значения погрешности, что равнозначно увеличению действительного значения среднеквадратичной погрешности всей партии гальванизируемых изделий. Но завышенным значениям погрешности соответствуют увеличенные значения доверительной вероятности.

Если количество изделий в рабочей партии не меньше 54 или площадь поверхности рабочей партии в 9 раз превышает площадь поверхности эталонной партии, то измеренные значения среднеквадратичной погрешности больше действительных примерно в 3 раза.

Таким образом, доверительная вероятность в этом случае достигает значения 0,997.

При  $n \geq 6$  значение погрешности  $\gamma_n = \sqrt{\gamma_c^2 + \gamma_p^2}$  во всех 19 гальванизируемых партиях практически не превышались ни на одном из гальванизируемых изделий рабочей партии. Разброс средних толщин определялся самым точным, весовым методом до гальванизации изделий и после нее.

Следовательно, данный способ при значениях  $n \geq 6$  позволяет определять с высокой точностью среднюю толщину покрытия и максимальную погрешность ее измерения при высокой доверительной вероятности.

Входной коммутатор принципиальной схемы устройства выполнен на микросхемах  $D_1, D_2$  — 590КН1, на одноименные выводы которых подаются сигналы от датчиков тока. Дифференциальный сигнал с выхода коммутатора поступает на масштабный усилитель ДЗ — К140 УД7 и дальше на вход АЦП Д 4 —

К1113ПВ1, где осуществляется преобразование этого сигнала в двоичный код.

Работа устройства управляется ЭВМ, связь с которой осуществляется через программируемый адаптер интерфейса Д7—М580ИК55. ЭВМ через адаптер по линиям КС0—КС2 передает код канала на коммутатор и сигнал начала преобразования на АЦП по линии КС3. По приходу сигнала конца преобразования ЭВМ принимает код АЦП по линии данных Д0—Д7.

Данный цикл повторяет необходимое количество раз в соответствии с программой. Используемый АЦП десятиразрядный, но в описанном устройстве задействовано только восемь разрядов, так как общая точность измерения аппаратурой погрешностью и при восьми разрядах не ограничивается.

Технико-экономические преимущества предлагаемого способа управления гальваническим процессом и сравнения с известным заключаются в следующем.

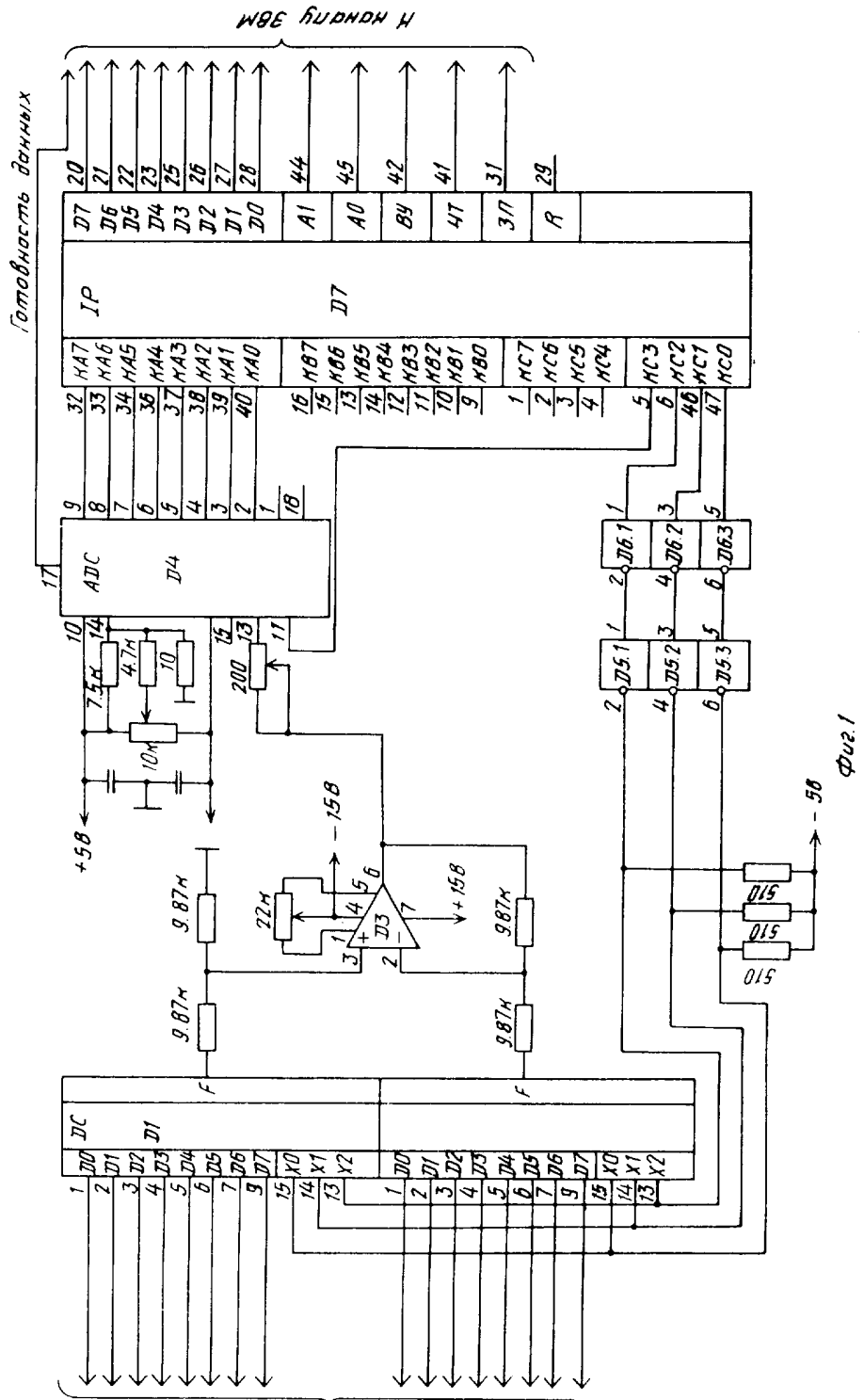
Благодаря организации активного контроля точности нанесения средних толщин покрытия на гальванизируемые изделия исключаются в отдельных случаях неоправданные затраты химикатов, материалов, электрической энергии, рабочего времени обслуживающего персонала, эксплуатация оборудования и выпуск бракованных партий изделий. Исключается необходимость признания в качестве эталонных изделий специальных объектов многоразового использования, что исключает много неудобств и приводит к увеличению достоверности и точности контроля. Уменьшается разброс средних толщин покрытий по поверхностям гальванизируемых изделий, так как в процессе гальванизации непрерывно с повышенной точностью измеряется и стабилизируется значение средней плотности тока, что уменьшает также и разброс значений коэффициента выхода по току и, соответственно, разброс средних толщин покрытий.

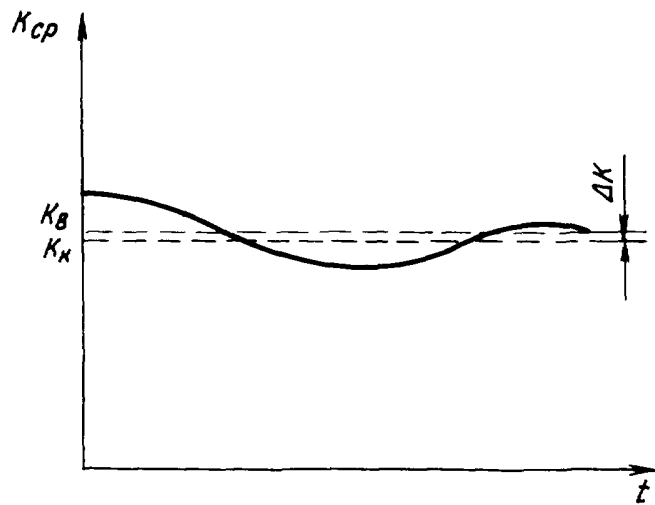
По данному способу измеряется текущее значение средней толщины и значения ее разброса (погрешность  $\gamma_n$ ) на изделиях партии. Обработка результатов гальванизации 19 партий изделий показала, что средняя толщина предлагаемым способом измеряется с точностью  $\pm(1-2)\%$ , а значение погрешности  $\gamma_n$  действительно характеризует разброс средних толщин на отдельных изделиях партии, так как разброс толщин по изделиям во всех 19 партиях за пределы значения  $\gamma_n$  не выходил. Абсолютные значения  $\gamma_n$  для

различных условий гальванизации могут быть различными. В известном техническом решении погрешность определения средней толщины находится в пределах  $\pm(20-30)\%$ . Разброс средних толщин по гальванизируемым изделиям партии (погрешность  $\gamma_n$ ) в известных технических решениях не измерялась вообще.

#### Формула изобретения

Способ автоматического управления гальваническим процессом, включающий непрерывное регулирование в заданных пределах температуры, кислотности и уровня электролита, измерение токов через эталонные и рабочие изделия эталонной и рабочей партии изделий, параметра, пропорционального средней толщине покрытия, и определение времени окончания процесса гальванизации, отличающийся тем, что, с целью обеспечения надежного контроля значения средней толщины покрытий на партии деталей, выбирают группу эталонных изделий из  $n$  ( $n \geq 6$ ), подлежащих гальванизации и расположенных в произвольной последовательности по объему ванны, непрерывно измеряют значения токов через каждое эталонное изделие и по относительным отклонениям токов от средних значений, пропорциональных поверхностям этих изделий, определяют стабильность протекания процесса в зонах расположения эталонных изделий в текущих коротких интервалах времени, определяют массы веществ, выделяющихся на каждом гальванизируемом изделии и на всех вместе рабочих изделиях как интегралы соответствующих токов во времени, и по относительному разбросу масс в изделиях эталонной партии определяют основную относительную погрешность нанесения средней толщины покрытия на изделиях рабочей партии, а по величине относительного отклонения отношения массы, выделившейся на всех изделиях рабочей партии, к массе, выделившейся на всех изделиях эталонной партии, и отношения тока через все гальванизируемые изделия партии к току через все эталонные изделия определяют дополнительную погрешность нанесения средней толщины покрытия на изделиях партии и стабильность протекания всего процесса во всем объеме гальванической ванны, при этом полная погрешность нанесения средней толщины покрытия равна сумме основной и дополнительной погрешностей.





Фиг. 2

Редактор М. Недолуженко      Составитель С. Пономарев      Корректор М. Максимишинец  
Заказ 6814/33      Техред И. Верес      Тираж 622      Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР по делам изобретений и открытий  
113035, Москва, Ж—35, Раушская наб., д. 4/5  
Производственно-полиграфическое предприятие, г. Ужгород, ул. Проектная, 4