

## Моделирование автоматизированной системы управления процессом гальванизации

*А.П. Коротков, В.И. Капля*

*Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного  
технического университета*

**Аннотация:** В статье рассмотрена задача моделирования автоматизированной системы управления процессом гальванизации металлических деталей. Проведен анализ литературных источников, посвященных гальванотехнике. Рассмотрена задача и процесс нанесения гальванического покрытия на металлические детали с применением реверса. Приведены расчётные соотношения, позволяющие определить необходимый ток (прямой, обратный, повышенный, реверсированный), время процесса и прочие внутренние параметры для процесса гальванизации. Рассмотрена возможность осуществления переключений по току, выставление его величины и определения времени процесса, а также реверсирования с помощью средств автоматики на примере модели. Рассмотренная в статье модель позволяет по заданным геометрическим параметрам гальванизируемой детали и по заданной толщине гальванического покрытия вычислить основные управляющие параметры процесса гальванизации: ток гальванизации и длительность процесса гальванизации. Модель процесса гальванизации чувствительна к форме гальванизируемых деталей и составу электролита, поэтому автоматизированная система управления должна осуществлять модельные вычисления для каждого вида деталей и электролита. Приведены графики результатов моделирования в программной среде SimInTech, полученные путём составления блок-схемы для модели автоматизированной системы управления процессом гальванизации деталей.

**Ключевые слова:** модель, автоматизированная система, гальваническое покрытие, геометрический параметр, реверс.

### Введение

Технология гальванического нанесения покрытий на поверхности металлических изделий позволяет повысить защищенность от коррозии, улучшить антифрикционные свойства, увеличить твердость и износостойкости обработанных поверхностей [1-3].

Организация процесса гальванизации требует проведения объемных подготовительных работ: определение площади поверхности обрабатываемых деталей с последующим вычислением величины тока гальванизации, длительности гальванизации и последовательности моментов переключений прямого и реверсного токов. Точность определения перечисленных параметров влияет на качество гальванического покрытия

---

обрабатываемых деталей [4,5]. Повышение уровня автоматизации процесса подготовки и реализации процесса гальванизации деталей позволит гарантировать качество и сократить сроки нанесения гальванических покрытий. Построение модели процесса гальванизации деталей создает основы для построения автоматизированной системы управления процессом подготовки и реализации процесса гальванизации деталей произвольной формы с заданной толщиной гальванического покрытия.

### **Постановка задачи**

Рассматривается задача расчета тока гальванизации и длительности процесса гальванизации, обеспечивающие требуемую толщину гальванического покрытия детали. Расчёт требует ввода оператором площади детали и требуемой толщины покрытия. Значение силы тока, времени гальванизации, обеспечивающих получение необходимой толщины покрытия, определяются исходя от площади деталей с помощью таблиц, площадь детали высчитывается по чертежу.

Подготовка и реализация процесса гальванизации металлических деталей состоит из следующих этапов [6]:

- 1) Погружение в ванну с электролитом подвески с деталями и крепление её к катодной штанге.
  - 2) Прогрев загруженных в ванну деталей перед началом гальванизацией в течение нескольких минут без тока.
  - 3) Подача на анод и катод обратного тока расчетной величины и длительности. Данный процесс называется анодной активацией (декапирование) его цель, удаление тончайших окисных пленок.
  - 4) Выполнение операции «толчка тока», т.е. в течение последующего расчетного интервала времени сила прямого тока должна быть увеличена в 2-3 раза больше номинальной величины, а затем ток уменьшают до рабочего значения.
-

5) Реализация циклических переключений прямого и реверсивного токов между анодом и катодом. Периодичность перемены полярности реверсивного тока составляет 5-10 раз в минуту, причем длительность катодного периода  $\tau_k$  по отношению к анодному  $\tau_a$  составляет для различных видов покрытий от 5:1 до 10:1, при этом величина анодного тока ниже в 5-10 раз [7].

б) По окончании процесса гальванизации ток отключается, подвеска с деталями достается из ванны.

Ток гальванизации деталей должен формироваться достаточно мощным, стабилизированным источником питания. Автоматическое выполнение перечисленных выше этапов процесса гальванизации деталей должен обеспечивать программируемый логический контроллер.

### Расчётные соотношения

Модель автоматизированной системы управления процессом гальванизации деталей базируется на приведенных ниже расчётных соотношениях. Рабочий ток вычисляется по формуле [6, 7]:

$$I_p = i_k \cdot S_k \cdot \quad (1)$$

где,  $i_k$  - плотность тока на катоде ( $30 - 50 \frac{A}{dm^2}$ ), при использовании реверса не более ( $120 \frac{A}{dm^2}$ );  $S_k$  - площадь поверхности катода.

Исходя из закона Ома в дифференциальной форме, плотность тока на катоде во время включения прямого тока гальванизации рассчитывается по формуле [8]:

$$i_k(x, y, z) = -\chi grad \varphi_n(x, y, z) | S_k \cdot \quad (2)$$

где,  $\chi$  - удельная электропроводность электролита;  $\varphi_n$  - потенциал электрического поля при «прямом» включении тока.

Для нахождения распределения потенциала  $\varphi_n$ , в ванне используется дифференциальное уравнение Лапласа с краевыми условиями [8, 9]:

$$\frac{\partial^2 \varphi_n}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_n}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi_n}{\partial z^2} = 0, \quad \frac{\partial \varphi_n}{\partial n} | S_u = 0, \quad \varphi_n + F_1(i_a) | S_a = U_n,$$

$$\varphi_n - F_2(i_k) | S_k = 0.$$

где,  $i_a$  - плотность тока на аноде;  $S_u$  - площадь поверхности изолятора;  $F_1(i_a)$  - функция анодной поляризации;  $S_a$  - площадь поверхности анода;  $F_2(i_k)$  - функция катодной поляризации.

Подставив (2) в (1) получим:

$$I_p = -\chi \text{grad} \varphi_n(x, y, z) | S_k \cdot S_k.$$

Общее время процесса гальванизации определяется по формуле [10]:

$$T_{об} = \frac{\delta_{зад} \cdot \rho \cdot 60}{i_k \cdot \mathcal{E} \cdot Bm}. \quad (3)$$

где,  $\delta_{зад}$  - толщина покрытия, мкм;  $\rho$  - плотность осаждаемого металла,  $\frac{г}{см^3}$ ;

$i_k$  - катодная плотность тока,  $\frac{А}{дм^2}$ ;  $\mathcal{E}$  - электрохимический эквивалент

количества металла, выделяющегося за 1 ч,  $\frac{г}{А \cdot ч}$ ;  $Bm$  - выход по току

(отношение фактически полученного количества металла на электроде к теоретически рассчитанному 12—15%) [7].

Тогда, исходя из формулы (3), толщина покрытия определяется следующей зависимостью:

$$\delta = \frac{\mathcal{E} \cdot i_k \cdot T_{об} \cdot Bm}{\rho \cdot 60}.$$

Приведенная расчётная модель по геометрическим параметрам детали и заданной величине толщины гальванического покрытия позволяет определить величину тока и длительность процесса гальванизации деталей.

## Результаты моделирования

Моделирование производилось в программной среде SimInTech путём составления блок-схемы для модели автоматизированной системы управления процессом гальванизации деталей. Результаты моделирования представлены в виде приводимых ниже графиков.

На рис. 1 приведён график процесса нанесения покрытия для первых 600 секунд после подачи напряжения: на отрезке 0-180 на анод и катод подается обратный ток для удаления окисной пленки; 180-280 ток “толчка”; 280-∞ на анод и катод подается реверсированный ток.

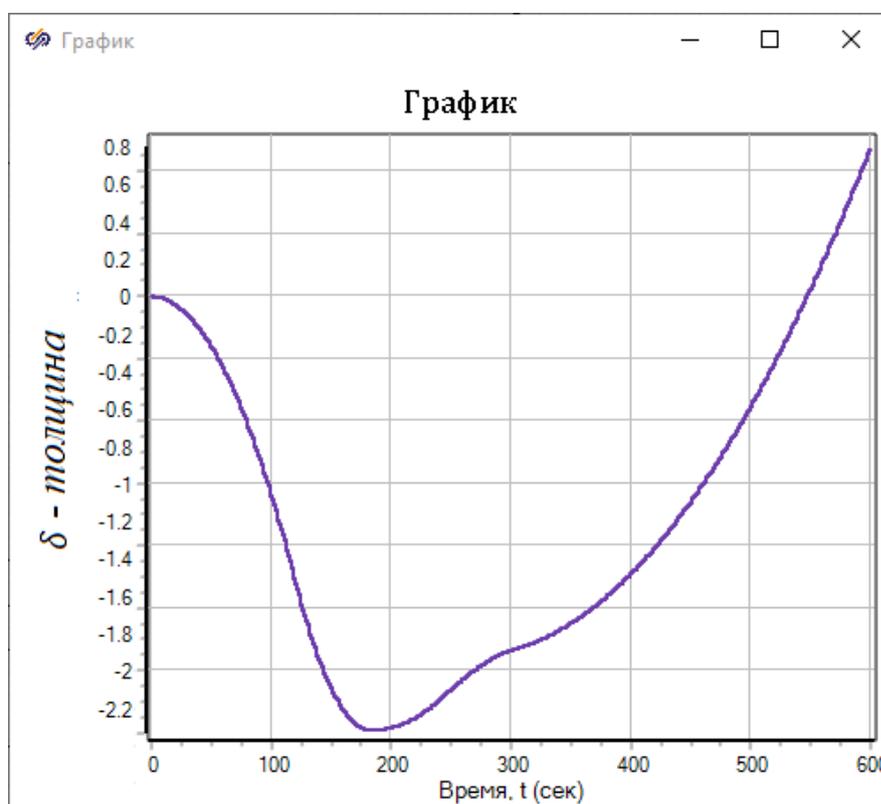


Рис. 1 Толщина покрытия  $\delta$  в за время  $t$  - первые 600 секунд после подачи напряжения

На рис.2 приведён график фрагмента процесса нанесения покрытия с реверсом тока, периодичность перемены полярности реверсивного тока составляет 5 раз в минуту, причем длительность катодного периода  $\tau_k$  по

отношению к анодному  $\tau_a$  составляет 5:1, при этом величина анодного тока ниже в 5 раз.

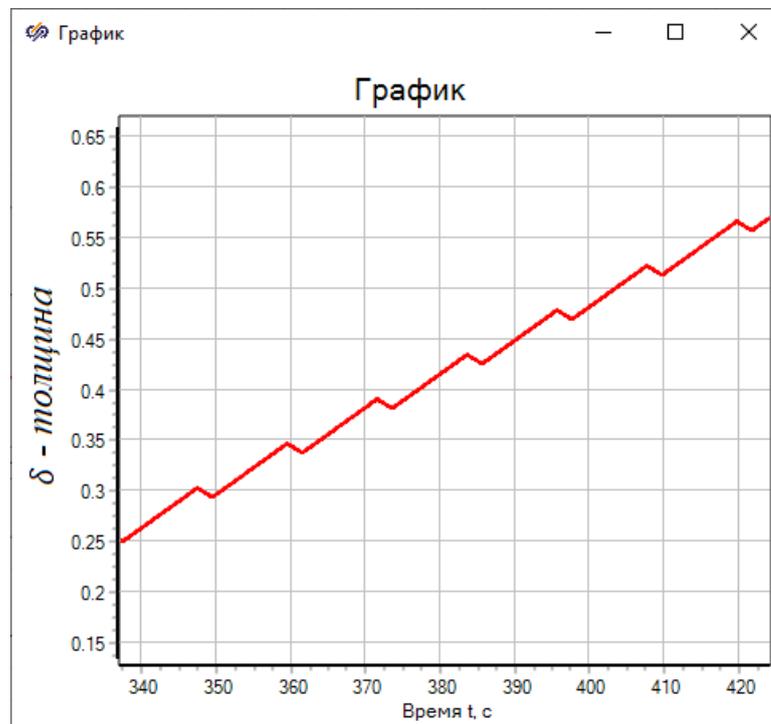


Рис.2 Толщина покрытия  $\delta$  за время  $t$  на отрезке применения реверса тока

При расчёте времени в часах, для всего процесса гальванизации, с условием, необходимой толщины 120 мкм, получено значение  $\approx 9.14$  часа ( $\approx 33000$  секунд). Прирост толщины покрытия за полученное время составил 119.3 мкм.

Модель показывает, что для определения параметров достаточно ввода площади детали и задания требуемой толщины. Однако, внутренние параметры модели истинны для определённого процесса и электролита, а в случае изменения процесса требуется их корректировка.

### Заключение

Рассмотренная в статье модель позволяет по заданным геометрическим параметрам гальванизируемой детали и по заданной толщине гальванического покрытия вычислить основные управляющие параметры

процесса гальванизации: ток гальванизации и длительность процесса гальванизации. Однако, вычисленные параметры модели истинны для определённого процесса и электролита, а в случае изменения процесса требуется их корректировка.

### Литература

1. Белов П.А., Петрова В.О., Хорунжая Е.Ю. Моделирование процесса гальванического нанесения композиционных покрытий на основе меди // Auditorium. 2016. №3. С. 99-105.
2. Choo, R.T., Toguri J.M., El-Sherik A.M. Mass transfer and electrocrystallisation analyses of nanocrystalline nickel production by pulse plating // Journal of applied electrochemistry, vol. 25. 1996. pp. 384–403.
3. El-Sherik, A.M., Urb U., Page J. Microstructural evolution in pulse plated nickel electrodeposits // Surface and coatings technology, vol. 88. 1996. pp. 70–78.
4. Логинов В.Т., Дерлугян П.Д., Данюшина Г.А., Шишка В.Г., Иванова И.В., Бережной Ю.М., Торопков И.А. Влияние фторированных поверхностно активных веществ на физико-механические свойства никель фосфорных покрытий // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1462](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1462).
5. Наливайко Е.В., Бобрикова И.Г., Селиванов В.Н. Интенсификация электроосаждения сплава цинк-никель из аммонийного электролита // Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/924](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/924).
6. Шлугер М.А. Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник. Т.1. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
7. Шлугер М.А. Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 248 с.



8. Гнусин Н.П., Поддубный Н.П., А.И. Маслий А.И. Основы теории расчета и моделирования электрических полей в электролитах. Новосибирск: Наука, 1972. 276 с.
9. Литовка Ю.В. Моделирование и оптимальное управление технологическими процессами гальванотехники: дис. ... д-р. техн. наук. Тамбов, 1995. 341 с.
10. Ямпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника. 3 изд. Ленинград: Машиностроение, 1981. 269 с.

### References

1. Belov P.A., Petrova V.O., Khorunzhaya E.YU. Auditorium. 2016. №3. pp. 99-105.
2. Choo, R.T., Toguri J.M., El-Sherik A.M. Journal of applied electrochemistry. 1996. №25. pp. 384-403.
3. El-Sherik, A.M., Urb U., Page J. Surface and coatings technology. 1996. №88. pp. 70-78.
4. Loginov V.T., Derlugyan P.D., Danyushina G.A., Shishka V.G., Ivanova I.V., Berezhnoy YU.M., Toropkov I.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1462](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1462).
5. Nalivayko E.V., Bobrikova I.G., Selivanov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/924](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/924).
6. Shluger M.A. Gal'vanicheskiye pokrytiya v mashinostroyenii. Spravochnik [Electroplated coatings in mechanical engineering. Directory]. Moskva, 1985, 240 p.
7. Shluger M.A. Gal'vanicheskiye pokrytiya v mashinostroyenii. Spravochnik [Electroplated coatings in mechanical engineering. Directory]. Moskva, 1985. 248 p.



8. Gnusin N.P., Poddubnyy N.P., A.I. Masliy A.I. Osnovy teorii rascheta i modelirovaniya elektricheskikh poley v elektrolitakh [Fundamentals of the theory of calculation and modeling of electric fields in electrolytes]. Novosibirsk, 1972, 276 p.
9. Litovka YU.V. Modelirovaniye i optimal'noye upravleniye tekhnologicheskimi protsessami gal'vanotekhniki [Modeling and optimal control of technological processes in electroplating]. Tambov, 1995, 341 p.
10. Yampol'skiy A.M., Il'in V.A. Kratkiy spravochnik gal'vanotekhnika [Quick reference guide to electroplating]. Leningrad, 1981, 269 p.