

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТАЦИОНАРНОГО ХРОМИРОВАНИЯ

А.Ю. Козлюк, В.Н. Беляев, А.С. Андреев

АО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

Приведены результаты компьютерного моделирования формирования хромового покрытия. В качестве объекта исследования выступили детали сложной формы на примере кулака поворотного. Осаждение покрытия производилось погружным способом. Были выбраны оптимальные режимы процесса нанесения хромового покрытия, на основе которых проведено исследование влияния конструкции анодной оснастки на распределение линий тока по поверхности детали и, следовательно, толщину нанесённого слоя покрытия. В работе рассмотрены две разновидности анодной оснастки применяемой при хромировании подобных деталей: цилиндрический анод, расположенный соосно с деталью и два сегментных анода, расположенных по бокам. Получены компьютерные модели распределения толщины покрытия по поверхности деталей для рассматриваемых анодов при одинаковых режимах электролиза. В ходе исследования были выявлены достоинства и недостатки обоих анодных приспособлений. Данные исследования позволяют оценить отклонение толщины покрытия на различных участках катода и определить оптимальную конструкцию анода для увеличения ресурса узла трения поворотный кулак – манжета.

*Ключевые слова:* хромирование, отклонение от формы, моделирование.

### ВВЕДЕНИЕ

В гальванотехнике одной из задач при нанесении покрытий является обеспечение геометрических параметров качества изделия: толщина покрытия, равномерность наносимых осадков, определяющих величину отклонения от формы и размера деталей. Особенно сложно решить данную задачу при нанесении металлов из электролитов с низкой рассеивающей способностью на детали сложной формы. Примером таких процессов является хромирование детали «Кулак», используемой в передних мостах полноприводных автомобилей, например Ульяновского автомобильного завода, для обеспечения защитно-декоративных характеристик и износостойкости поверхности. Сферическая поверхность «Кулака» работает в паре трения с манжетой и в случае формирования неравномерного хромового покрытия на детали, может происходить более интенсивный износ уплотнения. Для обеспечения высокого ресурса узла трения манжета-поверхность детали решалась задача по обеспечению геометрических параметров качества при нанесении хромового покрытия.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для получения равномерных свойств покрытия, на объёмных поверхностях, необходимо создавать равномерную плотность тока по всей площади изделия, исключать экранирование линий тока и обеспечить постоянный подвод «свежего» электролита в зону нанесения покрытия. Только при выполнении этих требований удастся получить качественное хромовое электрохимическое покрытие с наилучшими параметрами микротвёрдости, и равномерности [1, 3].

Основными параметром, влияющим на равномерность толщины хромового покрытия, является: рассе-

ивающая способность (определяется составом электролита), плотностью тока, и геометрические размеры, форма, и взаимное расположение катода и анода, которые определяют толщину и качество нанесённого слоя.

Наиболее технологично управлять процессом распределения толщины покрытия на сложно профильных деталях (Рис. 1) изготовлением анодной оснастки оптимальной конструкции, что является сложной технической задачей. Для ее решения целесообразно использовать численное моделирование процессов распределения гальванических осадков по поверхности катода.

Обобщенная имитационная математическая модель плотности тока, распределённая по поверхности катода, описывается уравнением Нернста-Планка:

$$i_l = \sum_{i=1}^n z_i \cdot (-D_i \nabla c_i - z_i u_{m,i} F c_i \nabla \phi_l), \quad (1)$$

где,  $z_i$  – заряд ионов (Кл),  $D_i$  – коэффициент диффузии ( $\text{м}^2/\text{с}$ ),  $c_i$  – концентрация хрома в электролите ( $\text{моль}/\text{м}^3$ ),  $u_{m,i}$  – подвижность диффундирующих частиц ( $\text{м}/(\text{с}\cdot\text{Н})$ ),  $F$  – постоянная Фарадея,  $\phi_l$  – электрический потенциал (В).

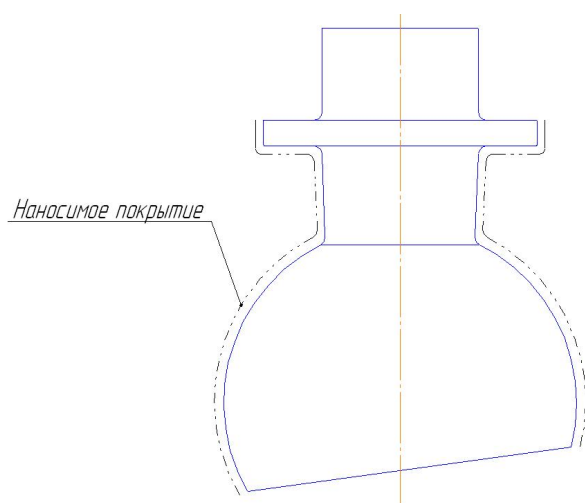


Рис. 1. Необходимый профиль покрытия на детали «Кулак поворотный»

Если рассмотреть токи в каждой точке на поверхности детали, то используя уравнение Батлера-Фольмера, получим локальную плотность тока:

$$i_{loc} = i_0 \left( \exp\left(\frac{\alpha_a F \eta}{RT}\right) - \exp\left(\frac{\alpha_c F \eta}{RT}\right) \right) \quad (2)$$

где,  $i_0$  – начальная плотность тока ( $A/dm^2$ ),  $\alpha_a, \alpha_c$  – анодный и катодный коэффициенты соответственно,  $F$  – постоянная Фарадея,  $\eta$  – выход по току (%),  $R$  – газовая постоянная,  $T$  – температура электролита (К).

Зная плотность тока в каждой точке на поверхности и, используя, уравнение (3), можно определить скорость и толщину наносимого покрытия:

$$\vartheta = \frac{i_{loc} M}{n F \rho}, \quad (3)$$

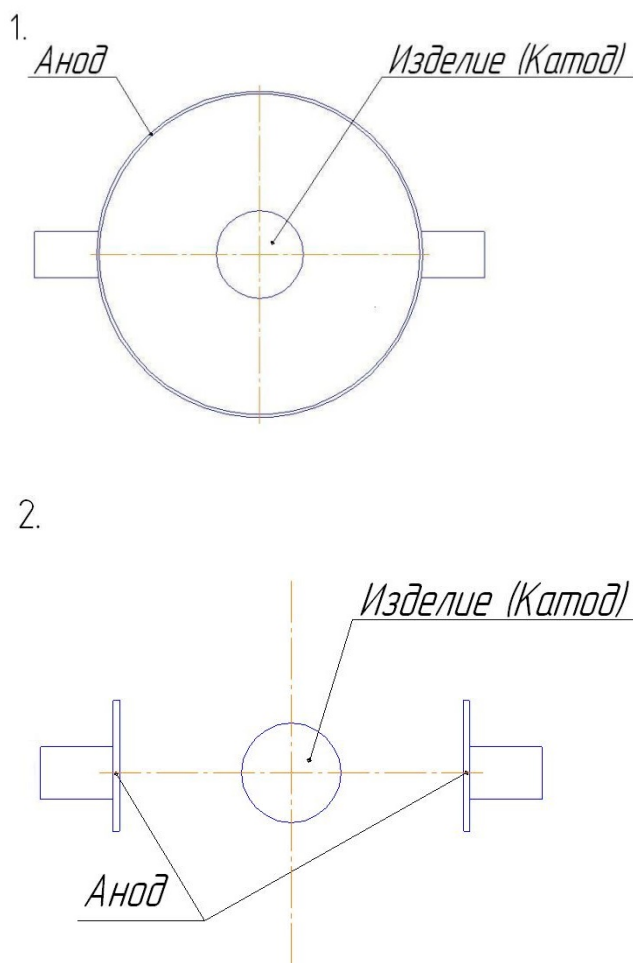
где  $i_{loc}$  – локальная плотность тока ( $A/dm^2$ ),  $M$  – молярная масса (моль/ $m^3$ ),  $n$  – количество участвующих электронов,  $F$  – постоянная Фарадея,  $\rho$  – плотность хрома (кг/ $m^3$ ).

Стальной кулак погружается в ванну электролита с анодом до верхней покрываемой поверхности. Диаметр сферической части 130 мм высота всей детали 177 мм.

Для изучения влияния направления линий тока были разработаны две схемы расположения анода (Рис. 2).

В первом случае анод имеет цилиндрическую форму и располагается на равном расстоянии от поверхности детали. Во втором случае анод имеет форму 2-х пластин расположенных по бокам детали на одинаковом расстоянии от центральной оси.

Для моделирования были заданы стандартные режимы хромирования погружным способом наружной поверхности изделия. Плотность тока  $50 A/dm^2$ , температура электролита  $55^\circ C$  и время нанесения 20 минут [2].



1 – схема нанесения покрытия и цилиндрическим анодом; 2 – схема нанесения покрытия с сегментным анодом

Рис. 2. Схемы взаимного расположения катода и анода при хромировании

Для изучения каждой из схем была построена модель распределения равномерности настенного покрытия на изделие в течение 100 секунд.

Как видно из модели (Рис. 3), покрытие в горизонтальном сечении практически равномерное (отклонение не более 5% на сферической поверхности), изменение возникает лишь при условии отдаления поверхности изделия от анода. При таком способе расположения анода условие равномерности покрытия, наносимого на сферическую часть детали, выполняется.

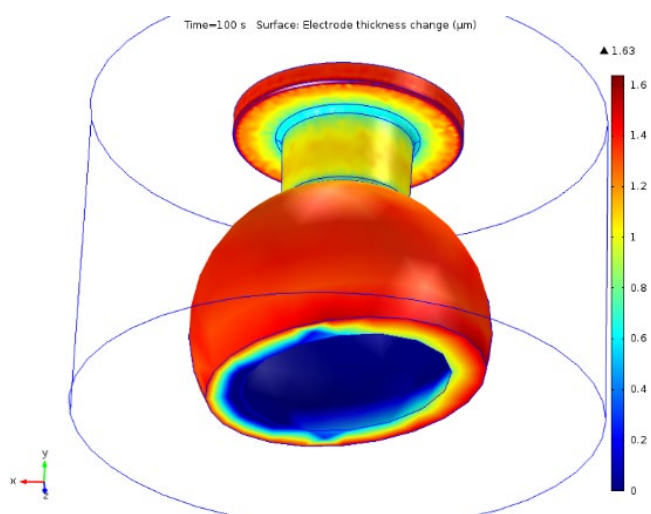


Рис. 3. Распределение толщины покрытия с применением цилиндрического анода

На модели (Рис. 4), покрытие в горизонтальном сечении наносится не равномерно, разность толщины нанесённого покрытия возникает не только при изменении расстояния поверхности детали от анода, но и в результате того что линии тока располагаются не равномерно (отклонение до 50%).

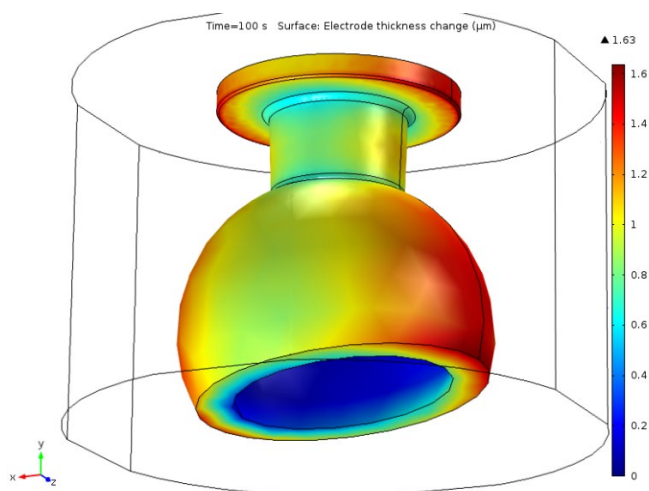


Рис. 4. Распределение толщины покрытия с применением сегментного анода

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по результатам исследования можно сделать вывод, что применение цилиндрического анода более эффективно с точки зрения равномерности покрытия, при этом изготовление его сложнее, нежели две плоских пластины. Результаты компьютерного моделирования позволили определить лучшие геометрические характеристики оснастки, обеспечивающие требуемые геометрические параметры качества гальванического хромового покрытия детали «Кулак» и, как следствие, обеспечить необхо-

димый ресурс работы узла передней подвески автомобиля УАЗ. Применение компьютерного моделирования при проектировании анодной оснастки в процессах стационарного хромирования деталей с различными геометрически сложными поверхностями позволит выбрать оптимальные геометрические характеристики анодно-катодных элементов оснастки и, как следствие, получить равномерное по толщине и функциональным свойствам покрытие.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Богорад, Л.Я. Хромирование / Л.Я. Богорад. – М.: Машиностроение, 1984. – 97 с.
2. Ажогин, Ф.Ф., Гальванотехника / Ф.Ф. Ажогин, М.А. Бельский, И.Е. Галль – М.: Металлургия, 1987. – 736 с.
3. Солодкова, Л. Н. Электролитическое хромирование [Текст] : приложение к журналу "Гальванотехника и обработка поверхности" / Л. Н. Солодкова, В. Н. Кудрявцев ; под ред. В. Н. Кудрявцева. - 2-е изд. - Москва : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2013. - 191 с. : ил., табл.; 21 см.

## MODELING PROCESS OF STATIONARY CHROMIUM-PLATING

A.Yu. Kozlyuk, V.N. Belayev, A.S. Andreev

JSC "FR&PC "ALTAI", Biysk

The results of computational simulation of deviation formation of chrome coating thickness are presented. Complex parts by example of steering knuckle were taken as objects to study. Coating deposition was performed by immersion. Optimal modes for chrome coating process were chosen and on the basis of these modes, the study of influence of anode equipment construction on distribution of current line along the detail surface was performed as well as coating precision characteristics. Two types of anode equipment, using when chromium-plating of such details, are studied: cylindrical anode, placed in alignment with the detail, and two segment anodes, placed on sides. Computer models of distribution of coating thickness along the detail surface for studied anodes in case of identical electrolysis modes are obtained. During the study advantages and disadvantages of both anode devices were identified. These studies allow estimation the deviation of coating thickness on different areas of cathode and determination the anode optimal construction to solve the problem of increasing the resource of friction unit of steering knuckle – ferrule.

*Index terms: Chromium-plating, Deviation from the form, Simulation*

### REFERENCES

1. Bogorad, L. Ya. Chromium-plating / L. Ya. Bogorad: – M.: Mechanical engineering, 1984. – 97 p.
2. Azhogin, F.F. Galvanotechnics / F.F. Azhogin, M.A. Belenkiy, I.E. Gall – M.: Metallurgy, 1987. – 736 p.
3. Solodkova, L.N. Electrolytic chrome plating: supplement to the magazine "Electroplating and surface treatment" / L.N. Solodkova, V.N. Kudryavcev. – M.: RCTU named after DI Mendeleev, 2013. – 191 p.

*Kozlyuk Andrey Yurievich – Senior Staff Sient., Cand. of Tech. Scien., JSC "FR&PC "ALTAI", Biysk, (3854)305861, e-mail: [lab.nanodiamond@rambler.ru](mailto:lab.nanodiamond@rambler.ru).*

*Belayev Vyacheslav Nikolaevich – Lab.Head, Cand. of Tech. Scien, JSC "FR&PC "ALTAI", Biysk, (3854)305861, e-mail: [lab.nanodiamond@rambler.ru](mailto:lab.nanodiamond@rambler.ru).*

*Andreev Anton Sergeevich – engineer 2<sup>st</sup> cat, JSC "FR&PC "ALTAI", Biysk, (3854)305861, e-mail: [lab.nanodiamond@rambler.ru](mailto:lab.nanodiamond@rambler.ru).*