Р.Р. Муксимова, А. А. Ошмарин

Уфимский государственный авиационный технический университет, ronika007@mail.ru, urga@ttsinfo.ru

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИМ ЭЛЕКТРОДОМ-ИНСТРУМЕНТОМ С ОГРАНИЧЕННОЙ НЕРОВНОСТЬЮ

Для решения задач нестационарной электрохимической обработки (ЭХО) применяются метод граничных [1 – 3] элементов. При этом, как отмечается в [3], его применение, как правило, затрудняется неустойчивостью, в особенности, при исследовании длительных процессов и при обработке ЭИ, имеющими острые кромки. Это приводит к необходимости разработки новых методов, обладающих улучшенными свойствами.

Рассмотрим нестационарную задачу ЭХО с помощью электрода-инструмента (ЭИ), представляющего собой полукруг с радиусом R. Полукруглый ЭИ заглубляется в заготовку со скоростью V_{et} под прямым углом к поверхности (рис. 1). Начальный межэлектродный зазор равен S_0.

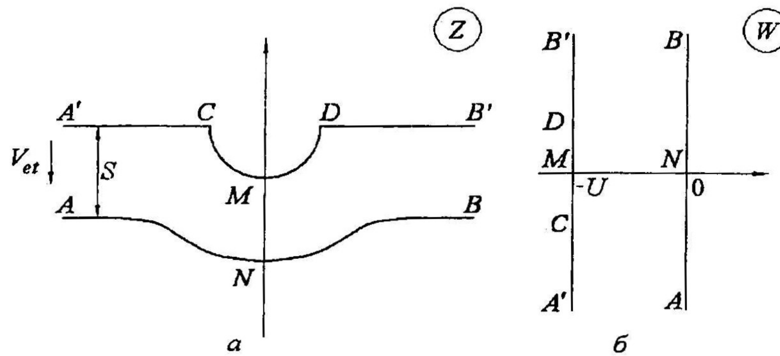

Рис. 1

Нестационарная задача решалась видоизмененным методом типа предложенного в [4]. При этом на каждом временном шаге определялось конформное отображение полосы χ (параметрического переменного) на физическую плоскость $z = Z/l$, а также частная производная $\frac{\partial z}{\partial \tau}(\chi, \tau)$ безразмерных координат точек области по безразмерному времени $\tau = tV_{et}/l$ для определения сдвига границы. В качестве характерного размера принималась величина $l = S_{st} = k\eta U/V_{et}$, где S_{st} – величина стационарного зазора, который устанавливается слева и справа на бесконечности. При данном способе обезразмеривания безразмерная скорость ЭИ равна 1.

Частная производная определялась при решении уравнения

$$\operatorname{Im}\left(\overline{\frac{\partial z}{\partial \sigma}}\frac{\partial z}{\partial \tau}\right) = -\eta\left(\left|\frac{dw}{dz}\right|\right)\operatorname{Im}\frac{\partial w}{\partial \sigma}, \tag{1}$$

где $\sigma = \operatorname{Re}\chi$, $w = W/U$.

В связи с эквипотенциальностью электродов форма области МЭП на плоскости комплексного потенциала представляет собой полосу (рис. 1, б).

Видоизменение метода [5] заключается в представлении функции, конформно отображающей полосу плоскости χ (рис. 2, а) на область МЭП физической плоскости в неподвижной (относительно тела заготовки) системе координат в виде суммы

$$z(\chi, \tau) = -i\int\limits_0^\tau \frac{d\tau_1}{s(\tau_1)} + s(\tau)\chi + z_a(\chi, \tau) + z_c(\xi(\chi), \tau), \tag{2}$$

где $z_a(\chi, \tau)$ — аналитическая в области D_χ и непрерывная в ее замыкании функция, определяющая отличие формы обрабатываемой поверхности от прямолинейной (при $\chi = \sigma + \mathrm{i}$

$\operatorname{Im} z_a(\chi, \tau) = 0$); $z_c(\xi, \tau)$ — аналитическая в области D_ξ и непрерывная в ее замыкании функция, предназначенная для описания выпуклости на ЭИ (при $\xi = \omega + \mathrm{i}\,0$ $\operatorname{Im} z_c(\xi, \tau) = 0$). Функция $z_c(\xi, \tau)$ определена на полосе D_ξ (рис. 2, б). Связь ξ и χ такова:

$$\xi = \frac{1}{\pi} \ln \frac{1 + e^{\pi\chi} e^{\pi\beta}}{e^{\pi\chi} + e^{\pi\beta}}. \tag{3}$$

Пусть горизонтальный размер неровности ЭИ $r = \operatorname{Re} z_D$. В силу (3)

$$r = \frac{R}{S_{st}} = s(\tau)\,\beta(\tau) + z_c(\infty, \tau) + z_a(\beta(\tau) + \mathrm{i}, \tau), \tag{4}$$

где $\beta(\tau)$ — образ точки D, определяемый из этого уравнения. Из уравнения, получаемого дифференцированием (4), определяется производная $d\beta/d\tau$.

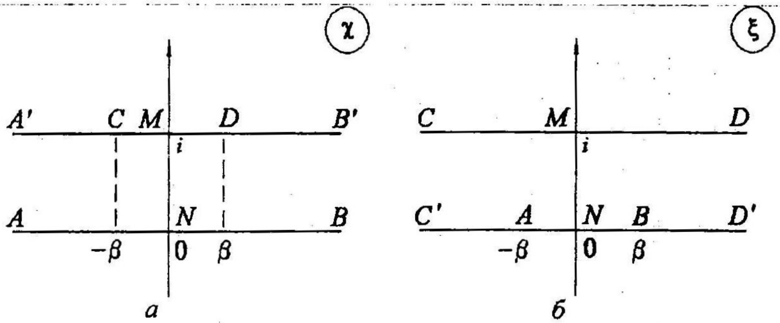

Рис. 2

Функция $z_a(\chi, \tau)$ определяется следующим образом. Будем искать решение на границе $\chi = \sigma + \mathrm{i}\,0$ в узловых точках σ_m $(m = 0, \ldots, n)$. Заданными на каждом временном шаге будут значения $\operatorname{Im} z_a(\sigma_m, \tau_j) = y_m$. Примем $\operatorname{Im} z_a(\sigma_n, \tau) = 0$, поскольку $z_a(\sigma, \tau)$ быстро (как экспонента) убывает при

$\sigma \to \infty$. Для восстановления функции $z_a(\chi, \tau)$ используем формулу Шварца.

Аналогично функцию $z_c(\xi, \tau)$ будем искать в узловых точках границы $\xi = \omega + \mathrm{i}\omega_m$ $(m=0,\ldots,n)$. Заданными будут значения $\mathrm{Im} z_c(\omega_m, \tau_j) = \bar{y}_m$.

Остается решить краевую задачу определения частной производной $\frac{\partial z}{\partial \tau}(\chi, \tau_j)$ как аналитической функции комплексного параметра χ, удовлетворяющей краевому условию (1).

Для вычисления производных $\frac{\partial z_a}{\partial \tau}(\chi, \tau_j)$ и $\frac{\partial z_c}{\partial \tau}(\xi, \tau_j)$ применяется способ, аналогичный применяемому для определения $z_a(\chi, \tau_j)$ и $z_c(\xi, \tau_j)$. Значения производных в узлах q_m, r_m, определяются методом коллокаций по краевому условию (1).

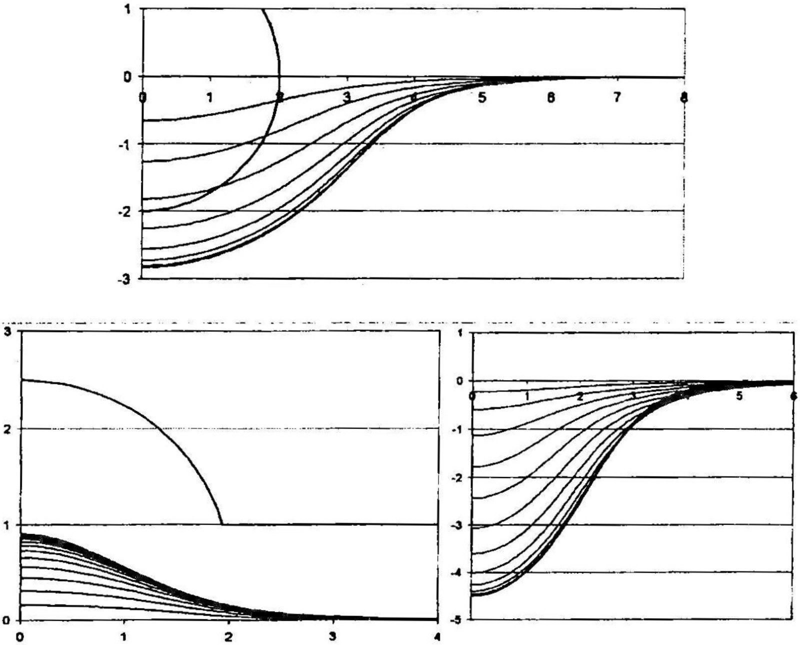

Рис. 3

После этого производится шаг по времени по методу предиктор-корректор второго порядка точности. Далее снова повторяется процесс вычисления q_m, r_m, и т. д.

На рис. 3 показаны формы поверхности при обработке ЭИ с различными формами выпуклости и выемки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котляр Л. М., Миназетдинов Н. М. *Моделирование процесса электрохимической обработки металла для технологической подготовки производства на станках с ЧПУ.* – М.: Academia, 2005. – 200 с.

2. Volgin V. M., Davydov A. D. *Modeling of multistage electrochemical shaping* // J. of Materials Processing Technology. – 2004. – V. 149. – No 1 – 3. – P. 466-471.

3. Purcar M., Bortels L., Van den Bossche B., Deconinck J. *3D electrochemical machining computer simulations* // J. of Materials Processing Technology. – 2004. – V. 149. – No 1 – 3. – P. 472-478.

4. Житников В. П., Зайцев А. Н. *Импульсная электрохимическая размерная обработка.* – М.: Машиностроение, 2008. – 413 с.