

Заключение

На уровне изобретения предложен метод определения вязкости полимерных материалов, который позволяет подразделить сегментальную вязкость и вязкость истинного течения. Именно последняя обуславливает качество пластмассовых деталей, изготавливаемых методом горячего формования, так как сегментальная вязкость зависит от обратимой высокоэластической деформации и при работе изделий в условиях нестационарного температурного поля приводит к их короблению. Поэтому коэффициент вязкости истинного течения полимерных материалов является важнейшим технологическим параметром.

-
1. А.с.1226164 СССР, МКИ G 01 N 11/00. Способ определения вязкости конструкционных материалов / О.А. Одиноква, А.В. Одинок, Т.П. Чернова, Г.И. Назарова (СССР). – 1986. – Бюл. № 15. 3 с.
 2. Одиноква, О.А., Одинок, А.В. Пути повышения надежности конструкций с использованием пластмасс через контроль физико-механических свойств исходного материала // Совершенствование строительных конструкций для условий Дальнего Востока. – Хабаровск: ХПИ, 1991. – С.62-67.
 3. Слесарев, М.И. Применение ударопрочного винипласта в конструкции воздухопроводов судовой вентиляции: Дис. ...канд. техн. наук. – Хабаровск, 1988. – 207 с.
 4. Гольберг, И.И. Механическое поведение полимерных материалов. – М.: Химия, 1970.

УДК 537.523.4

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗМЕРОВ АНОДА

С.А. Пячин^{1,2}, А.В. Беля², О.И. Каминский^{1,2}

¹Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН (г.Хабаровск)

²Тихоокеанский государственный университет (г.Хабаровск)

pyachin@mail.ru

CALCULATION OF MASS TRANSFER PARAMETERS FOR ELECTRIC SPARK DOP- ING DEPENDING ON ANODE SIZES

S.A. Pyachin^{1,2}, A.V. Belya², O.I. Kaminsky^{1,2}

¹*Institute of Materials Science, Kola Science Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Khabarovsk)*

²*Pacific State University (Khabarovsk)*

pyachin@mail.ru

DOI: 10.2250/PFARE.2019.133-136

Электроискровое легирование (ЭИЛ) – это метод модификации физико-механических свойств поверхностей металлов и сплавов за счет воздействия коротких разрядных импульсов. Протекание таких разрядов сопровождается электрической эрозией, которая заключается в разрушении поверхности электродов и выбросом вещества из зоны воздействия разрядов. Часть продуктов электриче-

ской эрозии после пролета межэлектродного промежутка осаждается на электродах. При ЭИЛ вещество переносится преимущественно с анода на катод, в результате на поверхности катода формируется покрытие из анодного материала.

Эффективность электроискрового легирования оценивают по величине коэффициента массопереноса $K_M = \Delta M_k / |\Delta M_a|$, где ΔM_k – привес катода; ΔM_a – потери массы анода. Чем меньше потери вещества при массопереносе с анода на катод, тем коэффициент K_M выше. Он зависит от многих факторов: теплофизических свойств материалов электродов, мощности и длительности разрядных импульсов, частоты их повторения, состава и давления газа. Кроме того, на него могут оказывать влияние геометрические и кинематические параметры, такие как размеры электродов, длина межэлектродного промежутка, траектория и скорость перемещения анода. Целью работы является установление влияния размеров анода на изменение масс электродов и коэффициент массопереноса при электроискровом легировании при условии, что электроды имеют квадратные сечения.

Модель переноса вещества при ЭИЛ с электродами квадратного сечения подробно описана в работе [1]. Количество металла, выбрасываемого из зоны разряда и осаждаемого на поверхность электрода, оценено из условия равномерного распространения потока эродированного материала в окружающее пространство из точки возникновения разряда [2]. Для электродов с квадратными сечениями коэффициент осаждения металла, равный вероятности попадания эродированного во время единичного разряда материала на поверхность противоположного электрода, рассчитан как

$$p = \frac{1}{2\pi} \left[2(\varphi_4 - \varphi_2) + \text{Arcsin} \left(\frac{L \sin \varphi_1}{\sqrt{(x_p - 0,5b)^2 + L^2}} \right) - \text{Arcsin} \left(\frac{L \sin \varphi_4}{\sqrt{(x_p - 0,5b)^2 + L^2}} \right) \right] +$$

$$+ R^2 \left[-\text{Arcsin} \left(\frac{L \cos \varphi_2}{\sqrt{(y_p - 0,5b)^2 + L^2}} \right) + \text{Arcsin} \left(\frac{L \cos \varphi_1}{\sqrt{(y_p - 0,5b)^2 + L^2}} \right) - \text{Arcsin} \left(\frac{L \sin \varphi_3}{\sqrt{(x_p + 0,5b)^2 + L^2}} \right) \right] +$$

$$+ R^2 \left[-\text{Arcsin} \left(\frac{L \sin \varphi_2}{\sqrt{(x_p + 0,5b)^2 + L^2}} \right) + \text{Arcsin} \left(\frac{L \cos \varphi_4}{\sqrt{(y_p + 0,5b)^2 + L^2}} \right) - \text{Arcsin} \left(\frac{L \cos \varphi_3}{\sqrt{(y_p + 0,5b)^2 + L^2}} \right) \right], \quad (1)$$

где L – длина межэлектродного промежутка; x_p, y_p – координаты места возникновения разряда (точка отчета – центр катода); $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – углы наклона отрезков, соединяющих место разряда на поверхности одного электрода с вершинами основания противоположного электрода с длиной стороны b .

Поскольку место возникновения разрядов невозможно контролировать, поэтому были рассчитаны эффективные коэффициенты осаждения металлов на электроды с учетом положения анода относительно катода. Они были определены как средние значения p на площади области перекрытия электродов S_{ov} , которая зависит от координат центра анода x_a и y_a , а также геометрических размеров электродов:

$$\tilde{p}_a(x_a, y_a) = \frac{1}{S_{ov}(x_a, y_a)} \int_{S_{ov}(x_a, y_a)} p_a ds, \quad \tilde{p}_k(x_a, y_a) = \frac{1}{S_{ov}(x_a, y_a)} \int_{S_{ov}(x_a, y_a)} p_k ds. \quad (2)$$

Из-за разницы в размерах электродов, очевидно, что $\tilde{p}_k < \tilde{p}_a$, поэтому интенсивность потока вещества с анода на катод выше, чем в обратном направлении. Координаты центра анода в момент возникновения i -го разряда определяются траекторией и скоростью перемещения анода. При приближении анода к краю катода коэффициент осаждения вещества на катод уменьшается.

Масса катода во время каждого i разряда уменьшается из-за электрической эрозии ($-m_k$) и возрастает за счет поступления материала с противоположного электрода – анода $m_a \tilde{p}_a$. Аналогичные явления происходят на аноде. Масса анода во время каждого разряда уменьшается из-за электрической эрозии ($-m_a$) и возрастает за счет поступления материала с катода $m_k \tilde{p}_k$. Если длительность и частота разрядов в процессе ЭИЛ не изменяются, то можно предположить, что величины m_a и m_k по-

стоянны. Используя отношение масс эродирующего вещества анода и катода за один разряд, $\alpha = \frac{m_a}{m_e} = const$, выражение для коэффициента массопереноса K_m по истечении N разрядов можно записать следующим образом

$$K_M = \frac{\Delta M_k}{\Delta M_a} = \frac{\sum_{i=1}^N (\alpha \tilde{p}_a - 1)}{\sum_{i=1}^N (\tilde{p}_a - \alpha)} \quad (3)$$

Суммарное число разрядов N определяется частотой следования импульсов f и общим временем осаждения t как произведение $N = ft$. Продолжительность осаждения должна быть достаточна для хотя бы одного прохода вдоль всей поверхности катода.

Были рассчитаны коэффициенты массопереноса в условиях электроискрового легирования, когда анод и катод имели одновременно форму прямой призмы с квадратным основанием или цилиндрическую форму. Длина стороны основания призмы или диаметр цилиндра равны 2, 3, 4, 5, 6 мм. Моделировали осаждение покрытия на катод в форме квадратной пластины с поперечным размером 30 мм. При этом частота разрядов – 10 Гц, длина межэлектродного промежутка $L = 0,5$ мм. Константу α задавали равной 1,5, 2, 3, 5, сохраняя постоянным значение $m_k = 0,0001$ г. Анод с квадратным сечением перемещался вдоль поверхности катода по меандробразной траектории от одного его края до другого с линейной скоростью 10 мм/с. Шаг смещения по оси y – 3 мм, что соответствует половине стороны анода с значением 6 мм. Количество проходов анода вдоль поверхности катода – 3.

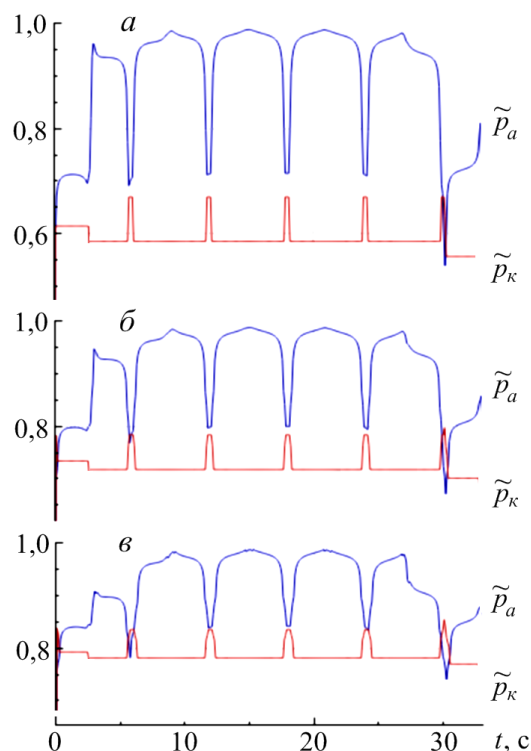


Рис. 1. Коэффициенты осаждения материала анода и катода за время одного прохода по поверхности катода ($b_k = 30$ мм): а) $b_a = 2$ мм; б) $b_a = 4$ мм; в) $b_a = 6$ мм.

Результаты вычислений показывают, что графические зависимости коэффициентов осаждения от времени легирования имеют волнообразный вид (рис. 1).

Коэффициент $\tilde{p}_a$ имеет максимальное значение, близкое к 1, когда анод располагается в центре катода. При приближении анода к краю катода вероятность попадания эродированного во время разряда металла анода снижается. С уменьшением размеров анода с 6 до 2 мм глубина провалов линий $\tilde{p}_a$ возрастает с 20 до 30 %. Коэффициент осаждения металла катода на анод $\tilde{p}_e$ изменяется противофазно $\tilde{p}_a$: при приближении анода к краю катода, он возрастает незначительно, на 5-10%.

Кинетические зависимости изменения масс анода и катода имеют вид практически прямых линий (рис. 2). С ростом продолжительности электроискрового легирования масса анода уменьшается, а масса катода возрастает. Увеличение размеров анода сопровождается повышением величины эрозии анода и снижением приращения массы катода. Однако эти изменения незначительны (менее 10%), по сравнению с влиянием отношения масс эрозии анода и катода за один разряд. Рост соотношения $\alpha = \frac{m_a}{m_e}$ от 1,5

до 5 приводит к десятикратному увеличению привеса ка-

тода.

Коэффициент массопереноса значительно возрастает в начальный период времени осаждения электроискрового покрытия, а затем, после трех проходов анода вдоль поверхности катода, его значения не претерпевают больших изменений (рис. 3).

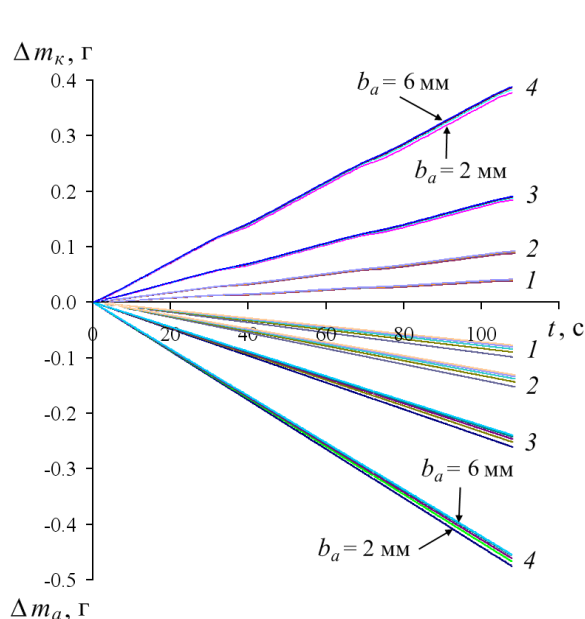


Рис. 2. Изменение массы катода (положительные значения) и массы анода (отрицательные значения) за три прохода по поверхности катода ($b_k = 30$ мм). Длина стороны сечения анода b_a – от 2 до 6 мм. Соотношение m_a / m_k : 1) $\alpha = 1,5$; 2) $\alpha = 2$; 3) $\alpha = 3$; 4) $\alpha = 5$.

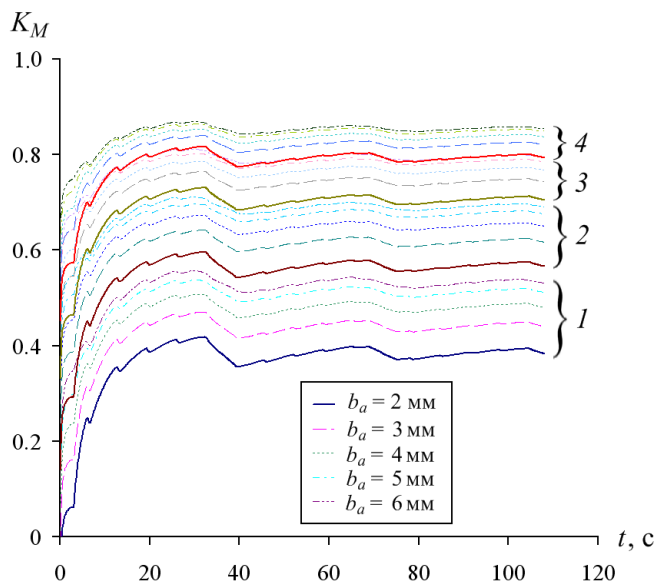


Рис. 3. Коэффициент массопереноса за три прохода анода вдоль поверхности катода ($b_k = 30$ мм) при разных размерах анода. Соотношение m_a / m_k : 1) $\alpha = 1,5$; 2) $\alpha = 2$; 3) $\alpha = 3$; 4) $\alpha = 5$.

Следует отметить, что увеличение размеров анода b_a до 6 мм и соотношения α до 5 вызывает рост коэффициента переноса массы с анода на катод до 86%. Таким образом, чтобы повысить скорости осаждения электроискровых покрытий следует использовать электроды с большей площадью поперечного сечения и применять режимы разрядного воздействия, обеспечивающие более высокие скорости эрозии металла анода по сравнению с разрушением материала катода.

1. Пячин, С.А. Влияние размеров и расположения электродов на перенос металлов при электроискровом легировании // Физика и химия обработки материалов. – 2017. – № 1. – С. 17-28.

2. Пячин, С.А. Оценка толщины покрытия, осажденного на поверхность катода при однократном разряде / С.А. Пячин, М.А. Пугачевский // Физика и химия обработки материалов. – 2008. – № 3. – С. 61–66.