

Литература

1. Грудев А.И., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением. М.: Машиностроение, 1982, 312 с.
2. Wanheim T., Bay N., Petersen A.S. A Theoretically Determined Model for Friction in Metal Working Processes. // Wear. 28 (1974), pp. 251-258.
3. Леванов А.Н., Колмогоров В.Л., Буркин С.П., Картак Б.Р., Ашпур Ю.В., Спасский Ю.И. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1976, 416 с.
4. Geiger R. Der Stofffluss beim kombinierten Napffliesspressen (Metal flow in combined can extrusion). Berichte aus dem Institut für Umformtechnik Universität Stuttgart nr.36, Verlag W. Girardet, Essen, Germany, 1976, 197 pp. (in German).
5. Sanchez L.R., Weinmann K.J., Story J.M. A friction test for extrusion based on combined forward and backward flow, T.Altan (Ed.). // Proc. the 13th North American Manufacturing Research Conference, May 1985, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI, pp.110-117.
6. Petty D.M. Friction models for finite element modelling. // J. Mater.Proc.Technol., 45, 1994, pp.7-12.
7. Zhang Q., Felder E., Bruschi. Evaluation of friction condition in cold forging by using T-shape compression test. // J.Mat.Proc.Technol., 209, 2009, pp.5720-5729.
8. Петров П.А. К вопросу построения «изотермической» кривой текучести алюминиевого сплава АК4-1. // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов. №2 (21), 2009. Краматорск: Донбасская государственная машиностроительная академия, стр. 135-140.
9. Arentoft M., Bay N., Tang P.T., Jensen J.D. A new lubricant carrier for metal forming. // CIRP Annals – Manufacturing Technology, 58, 2009, pp.243-246.
10. Shen G., Vedhanayagam A., Kropp E., Altan T. A method for evaluating friction using a backward extrusion-type forging. // J.Mat.Proc.Technol., 33, 1992, pp.109-123.

Теоретический анализ процесса электрохимического гравирования аэродинамических занижений

Саушкин Г.Б., к.т.н. доц. Моргунов Ю.А.
МГТУ «МАМИ»

morgunov56@mail.ru, тел. 8 916 376 83 56

Аннотация. Проведен теоретический анализ формирования аэродинамических занижений на основе модели идеального электрохимического формообразования. Выявлены погрешности формы, обусловленные механизмом съема материала, и показана возможность управления их значениями путем выбора параметров режима электролиза.

Ключевые слова: электрохимическое гравирование, получение аэродинамических занижений, погрешности формы, выбор параметров режима электролиза

Электрохимическое гравирование является эффективной технологией получения аэродинамических занижений на деталях газотурбинных двигателей [1]. Для обеспечения точного контура занижения процесс электрохимического травления осуществляют на малых межэлектродных зазорах или предварительно наносят на поверхность заготовки диэлектрическую маску (рисунок 1) [2, 3].

В общем виде задача электрохимического травления занижений в рамках модели идеального процесса формообразования представляется системой уравнений [4]:

$$\begin{aligned}
 \nabla^2 \varphi &= 0; \\
 \varphi(f) &= -E_k; \\
 \varphi(F) &= U - E_a; \\
 \left. \frac{\partial \varphi}{\partial n} \right|_{\Gamma_{из}} &= 0; \\
 \frac{\partial F}{\partial t} + k_v |\nabla u|_F |\nabla F| &= 0; \\
 k_v &= \varepsilon \eta \chi / \rho_a \\
 F(t=0) &= F_0,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где φ – потенциал электрического поля; f и F – поверхности катода и анода соответственно; E_k и E_a – катодный и анодный потенциалы; n – местная нормаль к анодной поверхности; U – напряжение на электродах; $\Gamma_{из}$ — электрически изолированные участки обрабатываемой поверхности; ε и ρ_a – электрохимический эквивалент и плотность материала анода; η – выход по току реакции анодного растворения металла; χ – удельная электропроводность электролита.

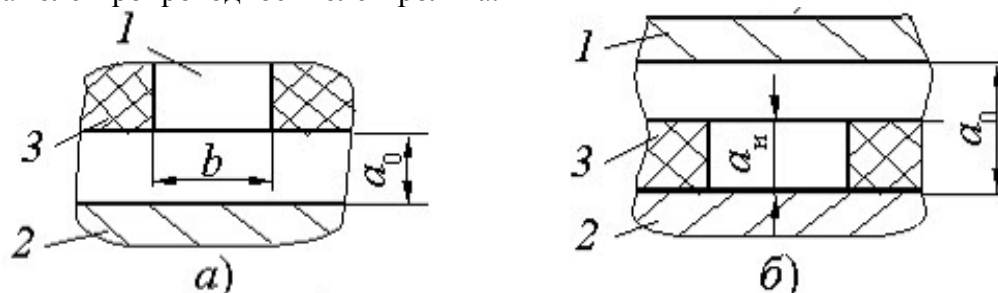


Рисунок 1 - Расчетные схемы формообразования с изолированным катодом (а) и изолированным анодом (б): 1 – катод; 2 – анод; 3 – изоляция

Для решения представленной системы уравнений использовали соответствующий программный пакет [5]. В расчетах согласно справочным данным [6] принимали для стали $\varepsilon = \text{г/А} \cdot \text{с}$, $\eta = 1$, $\chi = 5 \text{ см/м}$, $\varphi_k = -1,3 \text{ В}$, $\varphi_a = 0,2 \text{ В}$, $\rho_a = 7,8 \text{ г/см}^3$, $b = 5 \text{ мм}$.

В результате расчета по уравнениям (1) получены семейства эквипотенциалей и профилограмм занижений для различных условий обработки.

В качестве примера на рисунке 2 показаны профилограммы занижений глубиной 20мкм, рассчитанные для двух различных схем формообразования при обработке импульсным током с параметрами импульсов: амплитудное напряжение $U_a = 70 \text{ В}$, длительность импульса $\tau_n = 4 \text{ мс}$, скважность $s = 10$. Выбранные электрические параметры близки к используемым на практике.

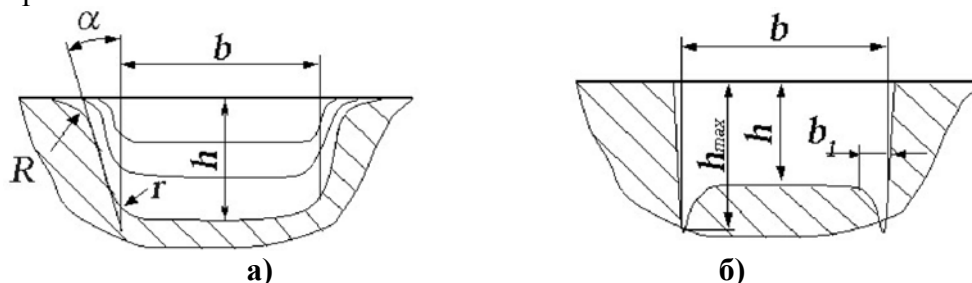


Рисунок 2 - Профилограммы занижений, полученных по схемам с изолированным катодом (а) и изолированным анодом (б)

Видно, что характер профилограмм существенно зависит от выбранной схемы формообразования. Так, для схемы обработки с изолированным катодом получены занижения с

плоским доньшком, наклонными под углом α к вертикали стенками и радиусами перехода от стенки к доньшку r и от стенки к исходной поверхности заготовки R .

Так, на рисунке 3 показана зависимость скорости травления занижения от напряжения на ячейке ($a_0 = 0,25$ мм, $a_n = 0,1$ мм, $t = 7$ с). Видно, что для достаточно короткого времени обработки эта зависимость линейна, что указывает на отсутствие нелинейных эффектов и справедливость закона Ома для участка цепи при выбранных условиях обработки.

Зависимость глубины травления от времени можно считать линейной до глубины занижения примерно 50 мкм (20% от величины исходного зазора), далее наблюдается заметное отклонение от линейности (рисунок 4). Это позволяет достаточно просто регулировать глубину получаемых занижений, изменяя время обработки.

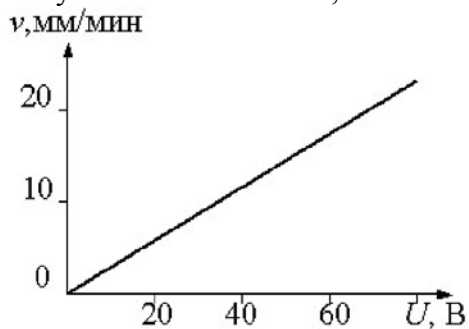


Рисунок 3 - Влияние напряжения на ячейке на скорость травления

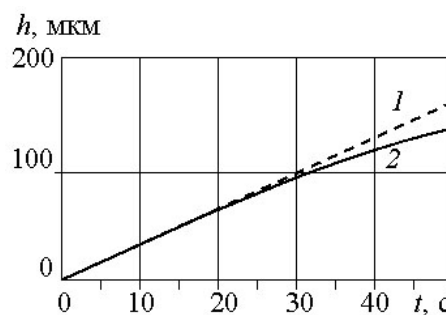


Рисунок 4 - Влияние времени обработки на глубину занижения

Скорость травления при прочих равных условиях зависит от зазора (рисунок 5), причем, как это следует из закона Ома, такая зависимость близка к гиперболической.

Величина зазора сильно влияет на погрешности формы занижения, как это показано на рисунке 6.

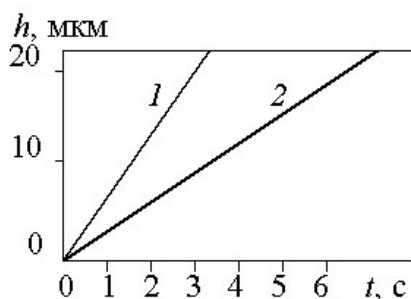


Рисунок 5 - Влияние величины зазора на скорость травления

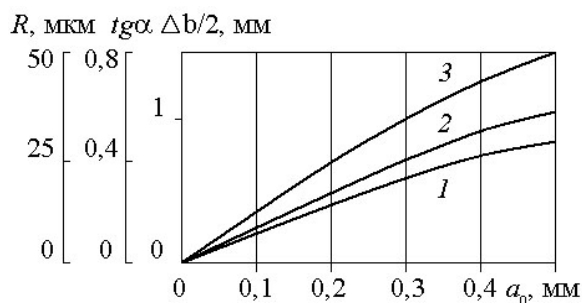


Рисунок 6 - Влияние величины зазора на радиус R (1), $tg\alpha$ (2) и погрешность $\Delta b/2$ (3)

Увеличиваются внешний и внутренний радиусы скругления, возрастает угол наклона стенок, заметной становится погрешность длины занижения ($\Delta b/2 \approx htg\alpha$). Таким образом, при использовании схемы формообразования занижений с изолированным катодом генерируются погрешности геометрии, связанные с этой схемой: скругляются наружные и внутренние углы, формируется наклон боковой стенки. Эти погрешности зависят от параметров режима и могут изменяться в определенных пределах в соответствии с требованиями чертежа.

При применении способа формообразования с нанесением изолирующей маски на анод также отмечается линейная зависимость съема материала от времени (рисунок 7).

Скорость травления обратно пропорциональна величине зазора ($1 - a_0 = 0,25$ мм, $2 - a_0 = 0,3$ мм), а изменение толщины изоляции в пределах 0,01...0,13 мм практически не влияет на скорость съема материала. При этом способе гравирования образуются специфические погрешности формообразования, которые представляются геометрическими параметрами при-

стеночных углублений – «усов» (рисунок 2 б). Их глубина возрастает с увеличением межэлектродного зазора (рисунок 8, $a_n = 0,1$ мм).

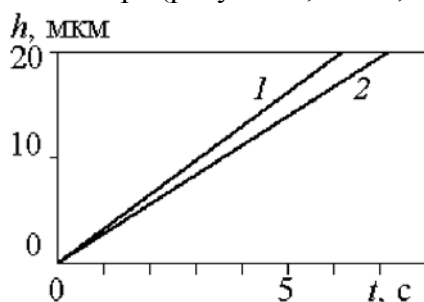


Рисунок 7- Зависимость глубины занижения от времени обработки

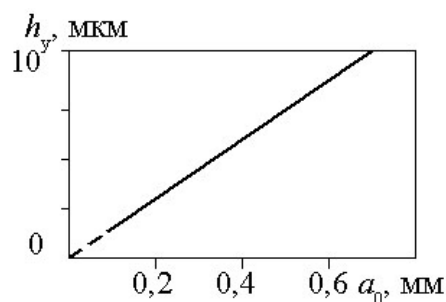


Рисунок 8 - Зависимость глубины «усов» от величины зазора

Для оценки погрешности формы доньшка занижения используют коэффициент $\varepsilon = h_{\max}/h$, геометрический смысл которого ясен из рисунка 2 б.

Из данных рисунка 9 следует существенная зависимость этого коэффициента от толщины изоляции. По мере травления занижения значение коэффициента ε снижается (рис.10), то есть профиль доньшка выравнивается.

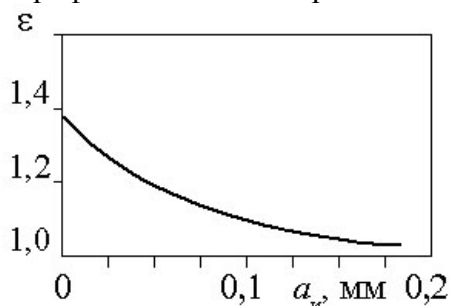


Рисунок 9 - Зависимость коэффициента ε от толщины изоляции при времени обработки 6 с.

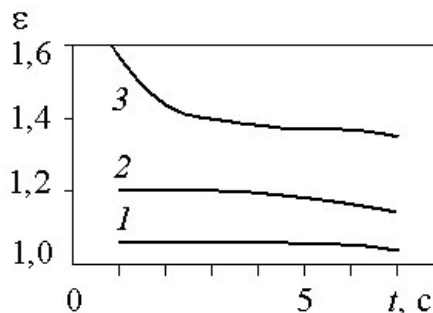


Рисунок 10 - Зависимость коэффициента ε от времени обработки при толщине изоляции a_n , мм: 1 – 0,13; 2 – 0,10; 3 – 0,01

Выводы

1. При электрохимическом травлении аэродинамических занижений установлено формирование специфических погрешностей формы. Эти погрешности обусловлены механизмом съема материала, и их можно рассматривать как погрешности метода обработки [7].
2. Установлено влияние параметров режима обработки на выявленные погрешности формы, что позволяет обоснованно подходить к выбору этих параметров с целью выполнения требований чертежа на изделие.

Литература

1. Беников В.С., Дикусар А.И. Саушкин Б.П. Анализ технологий изготовления поверхностных занижений глубиной 10...20 мкм / Упрочняющие технологии и покрытия, №6. 2008. – С. 48 – 53.
2. Моргунов Ю.А., Саушкин Г.Б., Велигданов Т.В. Электрохимическое гравирование аэродинамических занижений в оснастке с проточным каналом / Металлообработка, 2010, №2. – С. 50 – 61.
3. Саушкин Г.Б. Особенности электрохимического гравирования аэродинамических занижений в проточном канале / Известия МГТУ-МАМИ. 2009, №1. – С. 97 – 102.
4. Давыдов А.Д., Козак Е. Высокоскоростное электрохимическое формообразование. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
5. Кривилев А.В. Основы компьютерной математики с использованием системы MATLAB. М.: Лекс-книга. 2005. – 496 с.

6. Физико-химические методы обработки в производстве авиационных двигателей / Под ред. Б.П. Саушкина. – М.: Дрофа. 2002. – 656 с.

Структурное моделирование и классификация способов электрохимической размерной обработки

Саушкин С.Б., к.т.н. доц. Моргунов Ю.А.
МГТУ «МАМИ»

Аннотация. Проведен анализ моделей, используемых для описания процессов электрохимической размерной обработки. Представлена структурная формула, описывающая множество способов ЭХРО, на базе которой разработана классификация способов и технологий обработки.

Ключевые слова: электрохимическая обработка, технологическая унификация, моделирование технологий.

Моделирование технологических процессов получило значительное развитие и распространение в системах ТПП применительно к технологиям обработки резанием и пластическим деформированием [1–3]. Технологические модели электрохимической обработки недостаточно развиты или носят частный характер [4]. Проведенный ниже анализ позволяет классифицировать имеющиеся частные модели в области электрохимической размерной обработки, как это показано на рисунке 1.

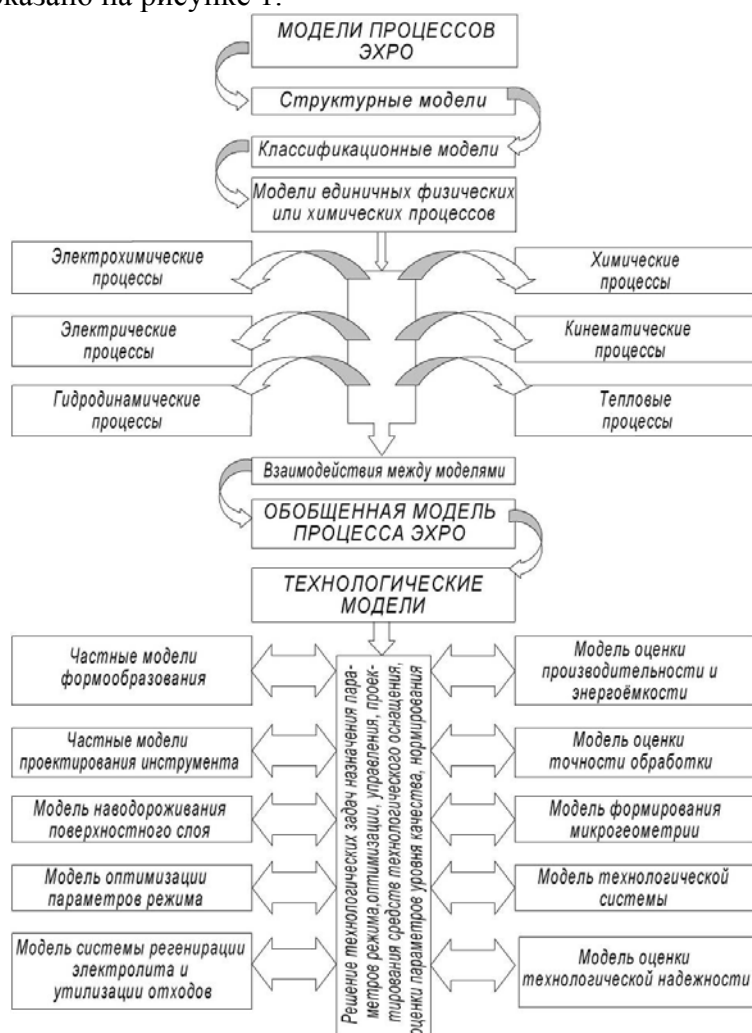


Рисунок 1 – Классификационная модель процессов и технологий ЭХРО