ется условием получения твердости восстановленной поверхности в пределах 50…52 HRC. Анализ изменения микроструктуры и твердости припаянной стальной ленты показал, что твердость можно варьировать, изменяя скорость охлаждения от 500 до 1500 °С/с. Это подтверждается также структурной однородностью материала детали на глубине до 1,0…1,5 мм, где микротвердость находится в пределах нового изделия.

Разработанная технология восстановления изношенных деталей электроконтактной приваркой биметаллических покрытий характеризуется высокой производительностью и низкой энергоемкостью процесса, получением соединения с незначительной ЗТВ и сохранением первоначальных свойств металла детали при высокой прочности соединения.

Список литературы

1. Бурак, П.И. Электроконтактная приварка металлической ленты через промежуточный слой из порошкового материала / П.И. Бурак, Р.А. Латыпов // Материалы междун. научно-технич. конф. «Научные проблемы и перспективы развития ремонта, обслуживания машин и восстановления деталей». — М.: ГОСНИТИ, 2003. — С. 134–137.
2. Люшинский, А.В. Особенности диффузионной сварки через промежуточные слои / А.В. Люшинский // Тезисы докладов «Сварка — качество — конкурентоспособность». — М.: 2002. — С. 59–60.
3. Технология и оборудование контактной сварки / Под ред. Б.Д. Орлова. — М.: Машиностроение, 1986.

УДК 62–231.321.2

Б.В. Пылаев, *канд. техн. наук, доцент*

ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»

МЕТОДИКА ПРОФИЛИРОВАНИЯ ПЛОСКИХ КУЛАЧКОВ

Технология изготовления кулачков в настоящее время использует станки типа ЧПУ, обеспечивающие высокую точность профилирования, поэтому задача вычисления координат рабочего профиля кулачка является актуальной. Известный графический метод достаточно грубый [1], а точный математический метод определения рабочего профиля как огибающую семейства кривых в целом мало пригоден для инженерной практики [1, 2]. В статье дана методика профилирования плоских кулачков, которую можно рекомендовать при конструировании кулачковых механизмов.

На рис. 1 показаны три типа наиболее распространенных плоских кулачковых механизма: а) с роликовым коромыслом; б) с роликовым толкателем и в) с тарельчатым толкателем.

Рассмотрим кулачковый механизм с коромыслом (рис. 2). В центре *О* вращения кулачка *2* поместим начала неподвижной системы координат $O\xi\eta$ и связанной с кулачком подвижной — Oxy. Точка $B(\xi_B\eta_B)$ — центр вращения коромысла *2*, длина которого $L = BA$; r — радиус ролика *3*. Центр *A* ролика перемещается кулачком по дуге A_0A_1 радиуса L, R — радиус-вектор теоретического профиля $П_т$.

Входным параметром является угол поворота кулачка φ, а выходным — угол поворота коромысла $\gamma = \gamma(\varphi)$ — заданная функция, размах колебания коромысла — угол $\lambda = \gamma_{max}$. По заданной функции определим координаты $C(x, y)$ рабочего профиля $П_р$ кулачка, $R_р$ — радиус-вектор рабочего профиля.

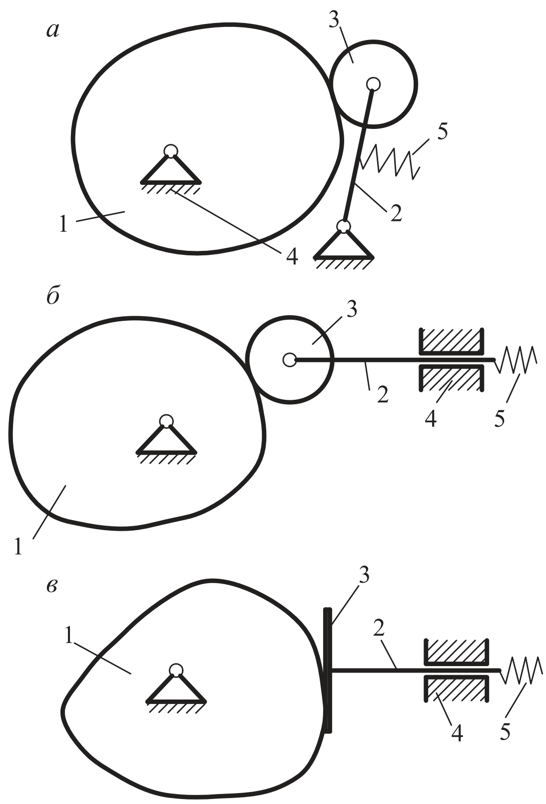

Рис. 1. **Наиболее распространенные плоские кулачковые механизмы:**
а — с роликовым коромыслом; *б* — с роликовым толкателем; *в* — с тарельчатым толкателем;
1 — кулачок (входное звено); *2* — коромысло или толкатель (выходное звено); *3* — ролик (*а, б*) или тарелка (*в*); *4* — стойка (корпус); *5* — пружина

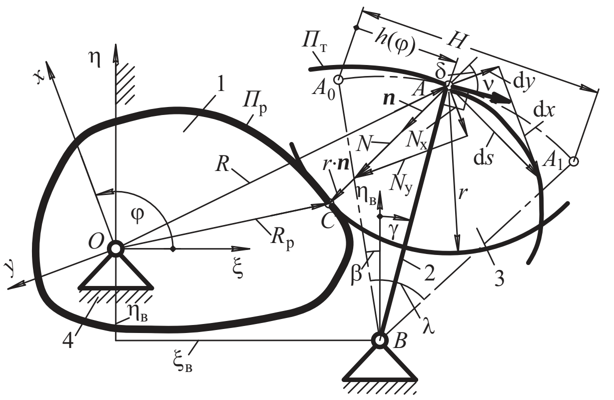

Рис. 2. **Кулачковый механизм с коромыслом**

В системе $O\xi\eta$ координаты центра ролика A запишутся как

$$\xi = L\sin(\gamma + \beta) + \xi_B,\ \eta = L\cos(\gamma + \beta) + \eta_B, \quad (1)$$

а в системе Oxy, используя формулы преобразования координат поворотом на угол φ, координаты центра ролика A, следовательно, проекции вектора R теоретического профиля $П_т$:

$$x = \xi\cos\varphi + \eta\sin\varphi,\ y = -\xi\sin\varphi + \eta\cos\varphi.$$

Кулачок с роликом образуют высшую пару, следовательно, точка их касания лежит на общей нормали теоретического $П_т$ и рабочего $П_р$ профилей. Вектор нормали построим следующим образом. Проведем элементарный вектор ds перемещения центра A, проекции которого dx и dy. Вектор нормали N получается поворотом вектора ds на 90° в сторону центра кривизны теоретического профиля, проекции которого, как видно из рис. 2, равны

$$N_x = dy,\ N_y = -dx,$$

модуль вектора нормали

$$|N| = \sqrt{dx^2 + dy^2}.$$

Проекции единичного вектора нормали

$$n_x = \frac{N_x}{|N|} = \frac{\dfrac{dy}{d\varphi}}{\sqrt{\left(\dfrac{dx}{d\varphi}\right)^2 + \left(\dfrac{dy}{d\varphi}\right)^2}},$$

$$n_y = \frac{N_y}{|N|} = \frac{-\dfrac{dx}{d\varphi}}{\sqrt{\left(\dfrac{dx}{d\varphi}\right)^2 + \left(\dfrac{dy}{d\varphi}\right)^2}}.$$

Вектор рабочего профиля $R_р = R + rn$, проекции которого являются координатами рабочего профиля:

$$x_р = x + rn_x,\ y_р = y + rn_y.$$

Проекции аналога вектора скорости v_q центра A и единичного вектора нормали $\boldsymbol{n}$ в неподвижной системе $O\xi\eta$:

$$v_{q\xi} = \frac{d\xi}{d\varphi} = L\cos(\gamma + \beta)\frac{d\gamma}{d\varphi},$$

$$\nu_{q\eta} = \frac{d\eta}{d\varphi} = -L\sin(\gamma + \beta)\frac{d\gamma}{d\varphi}; \quad (2)$$

$$n_о = n_x\cos\varphi - n_y\sin\varphi,\ n_з = n_x\sin\eta + n_y\sin\eta.$$

Углом давления δ кулачка на ролик является острый угол между линией действия нормали и вектором скорости центра A, который находится из скалярного произведения векторов $\boldsymbol{v}_q\boldsymbol{n}$:

$$\delta_к = \arccos\left|\frac{\nu_{q\xi}n_\xi + \nu_{q\eta}n_\eta}{\sqrt{\nu_{q\xi}^2 + \nu_{q\eta}^2}}\right| =$$

$$= \arccos\left|n_\xi\cos(\gamma + \beta) - n_\eta\sin(\gamma + \beta)\right|. \quad (3)$$

Аналог и угловая скорость коромысла

$$\omega_q = \frac{d\gamma(\varphi)}{d\varphi},\ \omega_к = \omega\omega_q,$$

где $\omega = \dfrac{d\varphi}{dt}$ — угловая скорость кулачка (t — время).

Аналог и угловая скорость коромысла

$$\varepsilon_q = \frac{d\omega_q}{d\varphi},\ \varepsilon_к = \omega^2\varepsilon_q + \omega_q\varepsilon,$$

где $\varepsilon = \dfrac{d\omega}{dt}$ — угловое ускорение кулачка.

Кулачковый механизм с роликовым толкателем имеет выходным параметром перемещение центра A кулачка (см. рис. 2) $h = h(\varphi)$, $h(0) = 0$, максимальное перемещение $H = h_{max}$. Размещая толкатель параллельно оси $O\xi$, т. е. на расстоянии $\eta_A = \text{const}$, имеем в системе $O\xi\eta$ координаты центра ролика A:

$$\xi = h(\varphi) + \xi_0,\ \eta = \eta_A.$$

Полученные выше зависимости (1) и (2) верны для рассматриваемого механизма. Проекции аналогов векторов скорости $\boldsymbol{v}_q$ и ускорения a_q центра A в неподвижной системе $O\xi\eta$:

$$v_{q\xi} = \frac{d\xi}{d\varphi} = \frac{dh}{d\varphi},\ v_{q\eta} = 0;$$

$$q_{q\xi} = \frac{dv_{q\xi}}{d\varphi},\ q_{q\eta} = 0,$$

скорость и ускорение центра A

$$v_A = \omega v_{q\xi},\ a_A = \omega^2 a_{q\xi} + \varepsilon v_{q\xi},$$

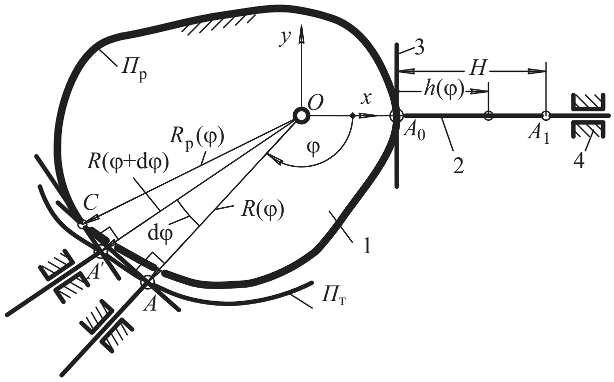

Рис. 3. **Кулачковый механизм с тарельчатым толкателем**

угол давления, используя выражение (3), запишется как

$$\delta_{\text{рт}} = \arccos\left|\frac{\nu_{q\xi} n_\xi + \nu_{q\eta} n_\eta}{\sqrt{\nu_{q\xi}^2 + \nu_{q\eta}^2}}\right| = \arccos\left|n_\xi\right|.$$

Кулачковый механизм с тарельчатым толкателем имеет аналогичные, выше рассмотренные выходные параметры кулачкового механизма с роликовым толкателем: перемещение центра A кулачка (рис. 3): $h = h(\varphi)$, $h(0) = 0$, максимальное перемещение $H = h_{\max}$.

$R(\varphi) = h(\varphi) + R_0$ — радиус-вектор теоретического профиля $П_{\text{т}}$, где минимальный радиус $R_0 = R(0) = OA_0$. Для получения рабочего профиля $П_{\text{р}}$ зафиксируем кулачок и рассмотрим поворот толкателя относительно центра вращения кулачка O, при произвольном угле φ и $\varphi + d\varphi$, где $d\varphi$ — элементарное приращение угла. Точкой рабочего профиля C является пересечение контактных прямых тарелок, соответствующих точкам A и A' теоретического профиля. Уравнения контактных прямых запишем в виде

$$f(x, y, \varphi) = x\cos\varphi + y\sin\varphi - R(\varphi) = 0,$$

$$f(x, y, \varphi + d\varphi) = x\cos(\varphi + d\varphi) + y\sin(\varphi + d\varphi) -$$

$$- R(\varphi + d\varphi) = x\cos\varphi\cos d\varphi - x\sin\varphi\sin d\varphi +$$

$$+ y\sin\varphi\cos d\varphi + y\cos\varphi\sin d\varphi - R(\varphi + d\varphi) = 0,$$

$$f(x, y, \varphi + d\varphi) \to x\cos - x\sin\varphi\, d\varphi + y\sin\varphi +$$

$$+ y\cos\varphi\, d\varphi - R(\varphi + d\varphi) = 0,$$

$$f'_\varphi(x, y, \varphi) = \frac{f(x, y, \varphi + d\varphi) - f(x, y, \varphi)}{d\varphi} =$$

$$= -x\sin\varphi + y\cos\varphi - R'_\varphi(\varphi) = 0.$$

Система $\begin{cases} f(x, y, \varphi) = 0 \\ f'_\varphi(x, y, \varphi) = 0 \end{cases}$

служит для описания образующей семейства линий, в нашем случае системы прямых [2, 3]. Выразим из

$$f'_\varphi(x, y, \varphi) = 0 \to x = \frac{y\cos\varphi - R'_\varphi}{\sin\varphi} \to f(x, y, \varphi) =$$

$$= y\cos^2\varphi + y\sin^2\varphi - R\cos\varphi - R'_\varphi\sin\varphi = 0;$$

$$f'_\varphi(x, y, \varphi) = 0 \to y = \frac{x\sin\varphi + R'_\varphi}{\cos\varphi} \to f(x, y, \varphi) =$$

$$= x\cos^2\varphi + x\sin^2\varphi - R\cos\varphi + R'_\varphi\sin\varphi = 0.$$

Учитывая, что полученные уравнения являются параметрическими уравнениями рабочего профиля, имеем

$$x_{\text{р}} = R\cos\varphi - R'_\varphi\sin\varphi,\ y_{\text{р}} = R\sin\varphi + R'_\varphi\cos\varphi.$$

Так как нормаль в точке C контакта перпендикулярна тарелке, следовательно, параллельна толкателю, поэтому угол давления $\delta_{\text{тт}} = 0$.

В качестве примеров рассмотрим профилирование кулачков по предложенной методике для трех кулачковых механизмов (см. рис. 1), обеспечивающих скорость выходного звена пропорциональной $\sin^2\varphi$.

Введем характеристическую систему функций

$$\begin{cases} U(\varphi) = \dfrac{\varphi - 0{,}5\sin 2\varphi}{\pi},\ 0 \le \varphi < \pi; \\ U(\varphi) = 2 - \dfrac{\varphi - 0{,}5\sin 2\varphi}{\pi},\ \pi \le \varphi < 2\pi, \end{cases}$$

производные от которой

$$\begin{cases} U_1(\varphi) = \dfrac{dU}{dt} = \dfrac{1 - \cos 2\varphi}{\pi} = \dfrac{2}{\pi}\sin^2\varphi; \\ U_2(\varphi) = \dfrac{dU_1}{dt} = \dfrac{2}{\pi}\sin 2\varphi,\ 0 \le \varphi < \pi; \\ U_1(\varphi) = \dfrac{dU}{dt} = -\dfrac{1 - \cos 2\varphi}{\pi} = -\dfrac{2}{\pi}\sin^2\varphi; \\ U_2(\varphi) = \dfrac{dU_1}{dt} = -\dfrac{2}{\pi}\sin 2\varphi,\ \pi \le \varphi < 2\pi. \end{cases}$$

Графики этих функций показаны на рис. 4.

1. *Кулачковый механизм с роликовым коромыслом* (рис. 1а).

Зададим угол поворота коромысла $\gamma(\varphi) = \lambda U(\varphi)$, где $\lambda = \pi/3$ — размах коромысла длиной $L = 100$ мм, радиус ролика $r = 20$ мм, $\beta = -\pi/6$, $\xi_B = 150$ мм, $\eta_B = -90$ мм. Теоретический $П_{\text{тк}}$ и рабочий $П_{\text{рк}}$ профили кулачка, рассчитанные по предложенной методике, даны на рис. 5. Максимальный угол давления $\delta_{\max} = 38°$ при $\varphi = 317°$. Аналоги угловых скорости и ускорения коромысла

$$\omega_q = \frac{d\gamma}{d\varphi} = \lambda U_1,\ \varepsilon_q = \frac{d\lambda U_1}{d\varphi} = \lambda U_2.$$

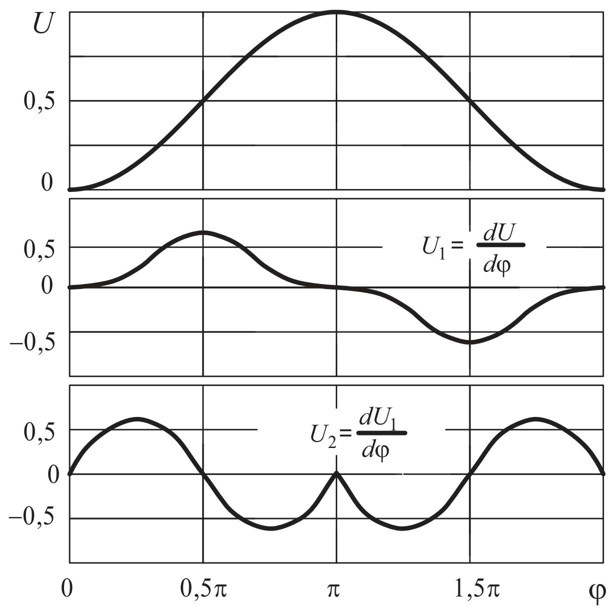

Рис. 4. **Характеристические функции**

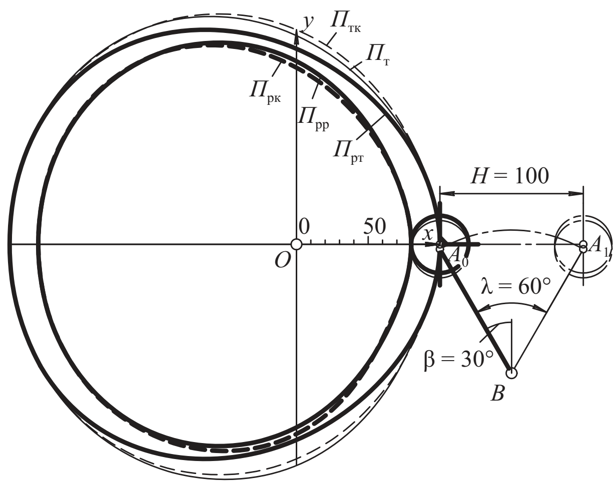

Рис. 5. **Теоретический и рабочий профили кулачков для трех типов механизмов**

При угловой скорости кулачка ω(*t*) имеем угловую скорость и ускорение коромысла

$$\omega_к = \omega\omega_q = \omega\lambda U_1;$$

$$\varepsilon_К = \omega^2\varepsilon_q + \omega_q\frac{d\omega}{dt} = \omega^2\lambda U_2 + \frac{d\omega}{dt}\lambda U_1,$$

следовательно, поставленная задача решена: угловая скорость коромысла пропорциональна $\sin^2\varphi$.

2. *Кулачковые механизмы с роликовым и тарельчатым толкателем* (рис. 1б, в).

Зададим закон перемещения толкателя $h(\varphi) = HU(\varphi)$, где H = 100 мм — максимальное перемещение толкателя, радиус ролика r = 20 мм, $\eta_A = 0$. Теоретический $П_т$ и рабочие $П_{рр}$, $П_{рт}$ профили, соответственно кулачков с роликовым и тарельчатым толкателями, рассчитанные по предложенной методике, даны на рис. 5. Максимальный угол давления роликового толкателя $\delta_{max} = 24°$ при $\varphi = 80°$ и 279°, а у тарельчатого толкателя $\delta_{тт} = 0$. Аналоги скорости и ускорения толкателя

$$v_q = \frac{dh}{d\varphi} = HU_1,\ a_q = \frac{dHU_1}{d\varphi} = HU_2.$$

При угловой скорости кулачка ω(*t*) имеем скорость и ускорение толкателя

$$v_A = \omega v_q = \omega HU_1;$$

$$a_A = \omega^2 a_q + v_q\frac{d\omega}{dt} = \omega^2 HU_2 + \frac{d\omega}{dt}HU_1,$$

таким образом, скорость v_A перемещения толкателей пропорциональна $\sin^2\varphi$.

Предложенная методика профилирования кулачков достаточно эффективна и может быть рекомендована для реализации в инженерной практике.

Список литературы

1. Теория механизмов и машин / Под ред. К.В. Фролова. — М.: Высшая школа, 1987.
2. Попов, Н.Н. Расчет и проектирование кулачковых механизмов / Н.Н. Попов. — М.: Машиностроение, 1980.
3. Болтянский, В.Г. Огибающая / В.Г. Болтянский. — М.: ГИФМЛ, 1961.

УДК 621.83:699.718

А.В. Коломейченко, *канд. техн. наук, доцент*
Н.С. Чернышов, *канд. техн. наук*
ФГОУ ВПО «Орловский государственный агроинженерный университет»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ МДО-ПОКРЫТИЯ

Алюминиевые сплавы обладают такими ценными свойствами, как легкость, высокая прочность в сочетании с малой плотностью, удовлетворительная коррозионная стойкость, хорошая теплопроводность. Поэтому они нашли широкое применение в машиностроении, в том числе для изготовления деталей, работающих в системе охлаждения двигателей. В то же время в результате воздействия аб-