

ПОСТРОЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ НОСКА ВЫВОДНЫХ ПРОВОДОВ СОРТОПРОКАТНЫХ СТАНОВ

THE DESIGNING OF THE WORK SURFACE OF EXITING GUIDES FOR SECTION MILLS

Слукин Е.Ю.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н.Ельцина»,
Екатеринбург, Россия, omd@mtf.ustu.ru

Освоение новой калибровки валков сортопрокатных станов, как правило, требует изготовления нового комплекта сменных деталей валковой арматуры: роликов, пропусков, проводок, линеек. При создании геометрической модели фасонных проводок, имеющих участок лекальной поверхности, определяемый конфигурацией контактирующего с ней ручья валка, средствами любой системы твердотельного моделирования требуется достаточно большое время. Это вызвано необходимостью ввода определяющего лекальную поверхность набора точек, нахождение координат которых для пользователя бывает весьма затруднительно. В настоящее время во многих системах геометрического моделирования в различных областях машиностроения для аналитического описания кривых и поверхностей деталей широко используется метод Безье [1,3], согласно которого уравнение порции поверхности в декартовых координатах имеет вид:

$$r = r(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n w_i^j r_i^j g_i(u) g_j(v)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n w_i^j g_i(u) g_j(v)},$$

где r_i^j - радиус-векторы характеристических точек порции поверхности; w_i^j - значение веса (полноты) в каждой характеристической точке; g_i , g_j - полиномиальные базисы степени n , например, полиномы Бернштейна для параметров u и v ($u, v \in [0,1]$).

Поскольку детали валковой арматуры описываются кривыми и поверхностями не выше второй степени, то для их моделирования указанным методом используется уравнения порции рациональной биквадратичной поверхности [2]. При $n = 2$ указанное уравнение описывает порцию рациональной биквадратичной поверхности [2] и может быть представлено в виде системы:

$$r = r(u, v) = \frac{r_0(u)w_0(u)(1-v)^2 + 2w_1(u)r_1(u)v(1-v) + r_2(u)w_2(u)v^2}{w_0(u)(1-v)^2 + 2w_1(u)v(1-v) + w_2(u)v^2}$$

$$r_j(u) = \frac{r_0^j w_0^j (1-u)^2 + 2r_1^j w_1^j u(1-u) + r_2^j w_2^j u^2}{w_0^j (1-u)^2 + 2w_1^j u(1-u) + w_2^j u^2}$$

$$w_j(u) = w_0^j (1-u)^2 + 2w_1^j u(1-u) + w_2^j u^2$$

$$u, v \in [0,1]; i = 0,1,2; j = 0,1,2.$$

Порция такой поверхности задается девятью характеристическими точками, образующими характеристический многогранник, причем самой поверхности принадлежат только четыре из них: r_{00} , r_{02} , r_{20} , r_{22} . Эти вершины будут называться основными, а прочие - вспомогательными. Изменение соотношения весов (полноты) w_i^j во вспомогательных вершинах по отношению к основным (значения в которых приняты равными 1) позволяет управлять формой моделируемой поверхности.

Путем преобразования рассмотренной системы для частных условий можно моделировать все типы порций поверхностей, характерные для сменных деталей валковой арматуры. При моделировании фасонных проводок, дополнительно требуется решить задачу по построению характеристического многогранника носка этой детали, так как его форма определяется конфигурацией сопрягаемого с ней ручья валка. При представлении такой проводки в виде

обобщенного цилиндра (рис.1) ее образующий u -контур, перемещающийся в направлении v , обычно задается 8-ю вершинами. Носок проводки состоит из двух участков: участка прилегания к валкам, определяемый точками Q_3^j - Q_5^j , и участка скоса, задаваемого точками Q_5^j - Q_6^j .

Характеристический скелет и образующий контур фасонной проводки

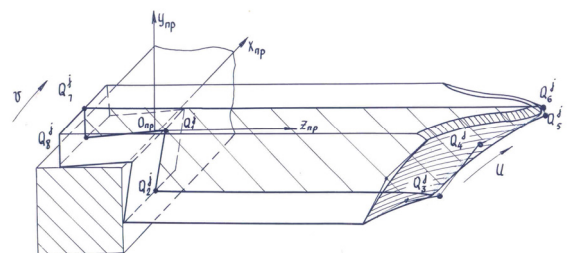


Рис.1

Линии, ограничивающие участок прилегания сверху и снизу, задаются характеристическими

ломаными Q_3^j (нижняя) и Q_3^j (верхняя) и образуются в результате пересечения поверхности ручья с верхней и нижней гранями проводки, поэтому их контур будет определяться очертаниями первого. Нахождение аналитического описания названных линий традиционным методом - решением соответствующей системы уравнений [4], нарушит концептуальное единство математической модели описания формы проводки, так как при этом, скорее всего, потребуется переход от параметрического описания одной из пересекающихся поверхностей к ее описанию в неявном виде. Поскольку все рассматриваемые в настоящей работе кривые и поверхности имеют степень не выше двух, то решение этой задачи можно существенно упростить, используя некоторые свойства конических сечений, известных из проективной геометрии [5,6]. Применительно к рассматриваемому случаю это выразится:

- в отображении по определенному закону выбранных на каждом сегменте ручья калибра

пяти точек в точки соответствующего сегмента, принадлежащего линии, ограничивающей участки прилегания носка проводки сверху или снизу;

- последующем представлении спроектированного сегмента в форме Безье, для чего требуется по полученным в результате проектирования пяти точкам контура построить его характеристическую ломаную и определить значение полноты в каждой вспомогательной вершине.

Проектирование пяти точек сегмента контура ручья в точки соответствующего сегмента на линии носка проводки (рис.2) в общем виде может быть задано уравнением

$$P_{(i)np}(v_i) = f_i(P_{(i)}'(v_i)), \quad (1)$$

где $P_{(i)}'(v_i)$ - точки сегмента ручья; $P_{(i)np}(v_i)$ - точки соответствующего сегмента на проводке; f_i - закон отображения каждой пары соответствующих точек; $i = 1, 2, 3, 4, 5$; v - параметр сегментов Безье, $v \in [0, 1]$, у выбранных для проектирования пятерок точек.

Отображение точек сегмента конической кривой ручья на плоскость носка проводки (а) и построение характеристической ломаной (б, в)

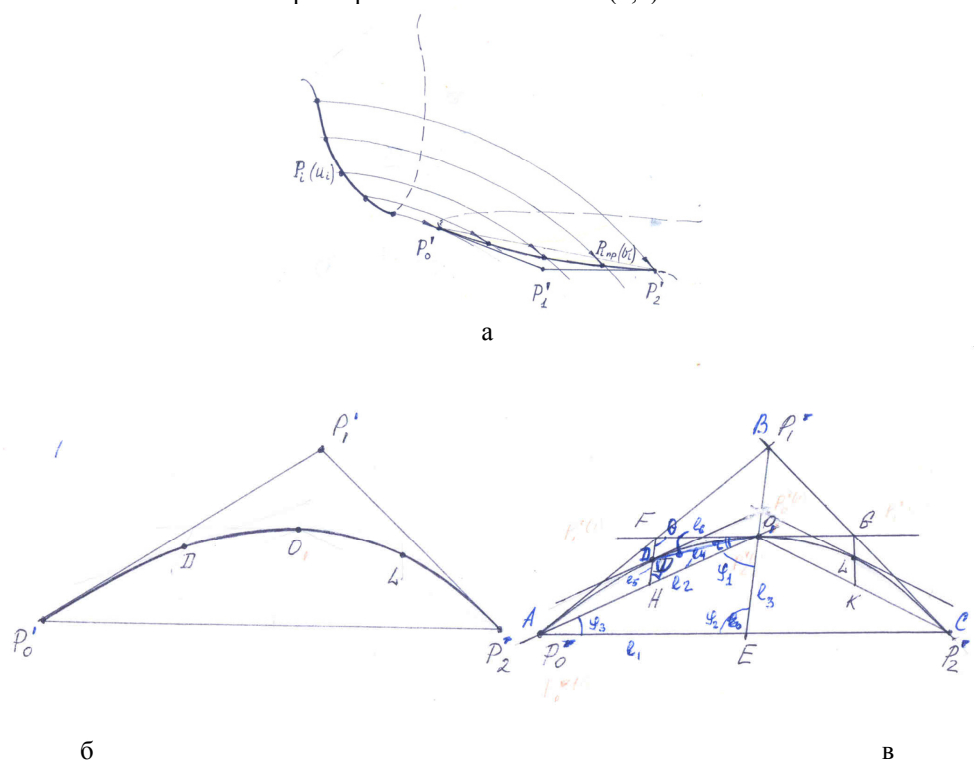


Рис.2

Выбор каждой из пяти точек на заданном сегменте ручья калибра может быть осуществлен произвольно. Но для построения характеристической ломаной по спроектированным точкам с целью задания искомой кривой в форме Безье и отыскания значений полноты w_1 в основных характеристических точках удобно выбрать следующие точки (см.рис. 2,б):

- концы сегмента, совпадающие с вершинами P_0' и P_2' его характеристической ломаной, которым

соответствуют значения параметра $v = 0$ и $v = 1$ ($P_{(1)}'(0)$, $P_{(5)}'(1)$);

- точку максимума квадратичного сегмента с параметром $v = 0,5$, которая согласно [2] лежит на медиане треугольника, образованной характеристической ломаной, и проведенная в этой точке касательная к кривой будет параллельна основанию треугольника ($P_{(3)}'(0.5)$).

Положение оставшейся пары точек получим следующим образом:

- разобьем рассматриваемый сегмент (см. рис.2,б) на две части $P^{(I)}(v')$ и $P^{(II)}(v')$, соединяющиеся в точке О, тождественной $P_3'(0.5)$, и задаваемых своими характеристическими ломаными $P_0^{(I)}, P_1^{(I)}, P_2^{(I)}$ и $P_0^{(II)}, P_1^{(II)}, P_2^{(II)}$, причем смежные их стороны и $P_1^{(I)}P_2^{(I)}$ и $P_0^{(II)}P_1^{(II)}$ лежат на касательной к точке максимума старого сегмента $P_3'(0.5)$; а $w_1^{(I)} = w_1^{(II)} = w_1$;

- по аналогии с большим сегментом возьмем точки максимумов у новых сегментов, которым будет соответствовать значение нового параметра $v' = 0.5(P^{(I)}(0.5), P^{(II)}(0.5))$.

Представим эти точки как функции от первоначального параметра v . Согласно [2] такое преобразование обеспечивается формулой

$$v = (1 - v')v_0 + v'v_1,$$

где v' , v_1 - первоначальные параметры конечных точек модифицируемого сегмента.

Подстановка в формулу значений параметров для точки $P^{(I)}(0.5)$ дает

$$v = 0.5 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0.5 = 0.25, \text{ а для точки } P^{(II)}(0.5) \\ v = 0.5 \cdot 0.5 + 0.5 \cdot 1 = 0.75.$$

Таким образом, оставшейся паре точек будут соответствовать значения параметра $v = 0.25$ и $v = 0.75$, а их обозначения $P^{(I)}(0.5)$ и $P^{(II)}(0.5)$ после приведения к первоначальному сегменту будут $P_{(2)}'(0.25)$ и $P_{(4)}'(0.75)$ соответственно.

Чтобы определить закон отображения точек f_i , рассмотрим продольное сечение находящейся в ручье проводки (рис. 3). Начало системы координат ручья x_{0p}^* , y_{0p}^* поместим в точке пересечения вертикальной плоскости, проходящей через линию прокатки, с осью валка (в нашем случае нижнего). Эта система координат может свободно вращаться относительно оси валка x_0^* , а следовательно, ордината y_0^* будет соответствовать радиусу вращения R_i .

Положение выбранной точки контура калибра относительно нового начала координат O' может быть выражено как

$$\alpha_i = \arccos\left(\frac{R_0 - h - h_2}{R_i}\right) = \arccos\left(\frac{R_0 - h - h_2}{R_0 + y_{\min} - s/2 - y_{pi}}\right) \quad (3)$$

$$\text{Величина угла } \alpha_i \text{ меняется в пределах от } \alpha_0 = \arccos\left(\frac{R_0 - h - h_2}{R_0}\right)$$

$$\text{до } \alpha_n = \arccos\left(\frac{R_0 - h - h_2}{R_0 + y_{\min} - s/2}\right).$$

Проекция ординаты проектируемой точки R_i на заданную плоскость находится по формуле $S_{1yi} =$

$$S_{1yi} = (R_0 + y_{\min} - s/2 - y_{pi}) \sin\left(\arccos\left(\frac{R_0 - h - h_2}{R_0 + y_{\min} - s/2 - y_{pi}}\right)\right). \quad (4)$$

Абсцисса спроектированной точки равна абсциссе проектируемой, т.е. с учетом (2) равна абсциссе в системе координат калибра $S_{1xi} = x_i^* = x_{pi}$.

$$x_i^* = x_{pi}, y_i^* = R_i = R_0 + y_{\min} - s/2 - y_{pi}, \quad (2)$$

где R_0 - радиус дна ручья; y_{\min} - самая нижняя точка ручья относительно начала координат калибра; $s/2$ - половина величины зазора между буртами валков. Величина радиуса ручья R_i может изменяться в пределах от R_0 до $R_0 + y_{\min} - s/2$.

Спроектируем каждую из пяти выбранных на рассматриваемом сегменте точек на плоскость верхней грани участка прилегания носка проводки к валку (см. рис.2, б):

$$P_i'(u) \rightarrow P_{i np}(v).$$

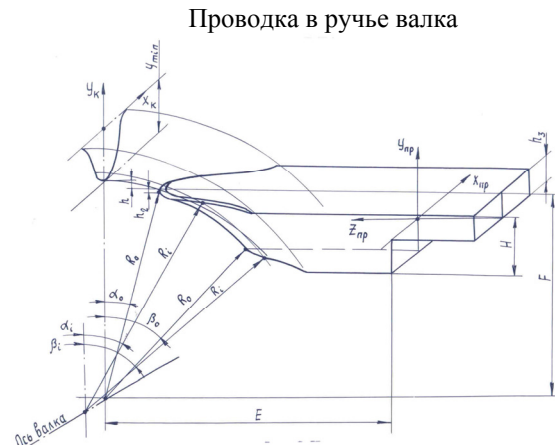


Рис.3

Как видно из рис.3 положение проекции каждой точки зависит от угла α_i , величина которого, в свою очередь, зависит от величины R_i и может быть выражена как

$R_i \sin(\alpha_i)$, подстановка в которую соответствующего выражения из (2) и (3) дает

применительно к системе координат проводки, в которой они примут вид:

$$\begin{aligned} x_{npi} &= x_{pi}, \\ y_{npi} &= F, \\ z_{npi} &= E - S_{lyi} = E - (R_\delta + y_{\min} - s/2 - y_{pi}) \cdot \sin(\arccos(\frac{R_\delta - h - h_2}{R_\delta + y_{\min} - s/2 - y_{pi}})) . \end{aligned} \quad (5)$$

С учетом полученных результатов уравнение (1) после подстановки в него (5) приобретает вид:

$$x_{npi}(v_i) = x_{pi}(v_i),$$

$$\beta_i = \arccos(\frac{R_\delta - h - H}{R_i}) = \arccos(\frac{R_\delta - h - H}{R_\delta + y_{\min} - s/2}) , \quad (7)$$

где величина угла β_i меняется в пределах от

$$\arccos(\frac{R_\delta - h - H}{R_\delta}) \text{ до } \arccos(\frac{R_\delta - h - H}{R_\delta + y_{\min} - s/2}) .$$

$$S_{2yi} = R_i \sin \beta_i = (R_\delta + y_{\min} - s/2 - y_{pi}) \sin(\arccos(\frac{R_\delta - h - H}{R_\delta + y_{\min} - s/2 - y_{pi}})) .$$

С учетом полученных результатов окончательно имеем:

$$z_{npi}(v_i) = E - (R_\delta + y_{\min} - s/2 - y_{pi}(v_i)) \sin(\arccos(\frac{R_\delta - h - H}{R_\delta + y_{\min} - s/2 - y_{pi}(v_i)}))$$

$$v_i \in \{0; 0.25; 0.5; 0.75; 1\}; i = 1, 2, 3, 4, 5.$$

Для построения характеристической ломаной сегмента Безье по его пяти найденным выше точкам, обозначим спроектированные точки $P_{(2)np}(0.25)$, $P_{(4)np}(0.75)$ как D и L. Точки $P_{(0)np}(0)$, $P_{(3)np}(0.5)$, $P_{(5)np}(1)$ соединим друг с другом, обозначив вершины получившегося треугольника A, O₁, C соответственно см. рис. 2). Середины его сторон AO₁, O₁C, AC обозначим H, K, E. Через точку O₁ проведем прямую (FG), параллельную основанию AC. Соединив точки H и D, а также K и L, проведем прямые (HD) и (KL), которые пересекутся с построенной прямой в точках F и G. Достроим треугольники AO₁F и O₁GC, проведя через точки F и G прямые (AF) и (BG), которые

$$|AE| = \frac{1}{2}|AC| - \frac{\sqrt{(x_c - x_A)^2 + (z_c - z_A)^2}}{2} = l_1 ;$$

$$|AO_1| = |OO_1| - |AO| = \sqrt{(x_{O1} - x_A)^2 + (z_{O1} - z_A)^2} = l_2 ;$$

$$|O_1E| = |OO_1| - |OE| = \sqrt{\left(x_{O1} - \frac{(x_c + x_A)}{2}\right)^2 + \left(z_{O1} - \frac{(z_c + z_A)}{2}\right)^2} = l_3 ;$$

$$y_{npi}(v_i) = F + h_3 - h_2 ,$$

$$z_{npi}(v_i) = E - S_{lyi} = E - (R_\delta + y_{\min} - s/2 - y_{pi}(v_i))$$

$$(\sin(\arccos(\frac{R_\delta - h - h_2}{R_\delta + y_{\min} - s/2 - y_{pi}(v_i)})))$$

$$v_i \in \{0; 0.25; 0.5; 0.75; 1\}; i = 1, 2, 3, 4, 5. \quad (6)$$

По аналогии с (3), (4), (6) для нижней грани проводки имеем:

Проекция ординаты проектируемой точки R_i на заданную плоскость находится по формуле:

$$x_{npi}(v_i) = x_{pi}(v_i) ,$$

$$y_{npi}(v_i) = F + h_3 - H ,$$

пересекутся в точке В. Так как прямые (FH), (GK) и (BE) соединяют вершины соответствующих треугольников с серединами соответствующих сторон, то они являются медианами.

Рассматривая треугольники A O₁, C, DO₁H, FO₁H, определим длины сторон треугольника через координаты соответствующих векторов:

$$|AC| = |OC| - |OA| =$$

$$\sqrt{(x_c - x_A)^2 + (z_c - z_A)^2} = l_0 ,$$

где точка O - начало координат проводки (см. рис.3);

$$\begin{aligned}
|HO_1| &= \frac{1}{2}|AO_1| = \frac{l_2}{2} = l_4 ; \\
|\overline{HD}| &= |\overline{OD}| - |\overline{OH}| = \sqrt{(x_D - (x_A - x_{O1}))^2 + (z_D - (z_A - z_{O1}))^2} = l_5 ; \\
|\overline{O_1E}| &= |\overline{OO_1}| - |\overline{OE}| = \sqrt{(x_{O1} - x_D)^2 + (z_{O1} - z_D)^2} = l_6 ; \\
|FO_1| &= |HO_1| \frac{\sin \theta}{\sin \psi} = \frac{l_2 \sin(\tau + \psi)}{2 \sin \psi} .
\end{aligned}$$

Значения углов в рассматриваемых треугольниках (см. рис.2,в) определяются из простых тригонометрических соотношений

$$\begin{aligned}
\varphi_2 &= \arccos\left(\frac{l_1^2 + l_3^2 - l_2^2}{2l_1l_3}\right) ; \\
\varphi_1 &= \arcsin\left(\frac{l_1 \sin \varphi_2}{l_2}\right) = \arcsin\left(\frac{l_1}{l_2} \sin\left(\arccos\left(\frac{l_1^2 + l_3^2 - l_2^2}{2l_1l_3}\right)\right)\right) ; \\
\tau &= 180 - \varphi_2 - \varphi_1 ; \\
\psi &= \arccos\left(\frac{l_4^2 + l_5^2 - l_6^2}{2l_4l_5}\right) ; \\
\theta &= 180 - \tau - \psi .
\end{aligned}$$

Треугольники BO_1F и BEA подобны по трем сторонам, следовательно, коэффициент подобия k может быть выражен через отношение длин пары соответствующих сторон, например, FO_1 и AE :

$$k = \frac{|AE|}{|FO_1|} = \frac{2l_1 \sin \psi}{l_2 \sin(\tau + \psi)} . \quad (8)$$

Длина медианы BE треугольника ABC может быть найдена как сумма отрезков EO_1 и O_1B :

$$\begin{aligned}
x_B &= x_F + |BE| \cos(90 - \varphi_2) = x_E + l_3 \left(1 + \frac{1}{\frac{2l_1 \sin \psi}{l_2 \sin(\tau + \psi)} - 1}\right) \sin \varphi_2 , \\
z_B &= z_E + |BE| \sin(90 - \varphi_2) = z_E + l_3 \left(1 + \frac{1}{\frac{2l_1 \sin \psi}{l_2 \sin(\tau + \psi)} - 1}\right) \sin \varphi_2 .
\end{aligned}$$

Величина полноты w_l квадратичного сегмента Безье характеризуется отношением отрезков медианы, получаемых при ее пересечении с кривой в точке максимума и может быть выражена как

$$w_1 = \frac{|EO_1|}{|BO_1|} = \frac{l_3}{l_3(k-1)} = \frac{1}{k-1} ,$$

Подстановка в данное уравнение выражения (8) дает

$$|BE| = l_3 + \frac{l_3}{k-1} = l_3 \left(l + \frac{1}{k-1}\right) .$$

Тогда координаты вершины B треугольника ABC , которой соответствует вершина P_l характеристической ломаной сегмента Безье могут быть найдены как

$$w_1 = \frac{1}{\frac{2l_1 \sin \psi}{l_2 \sin(\tau + \psi)} - 1} . \quad (9)$$

Аналогичным образом, определяются величины P_l^j , w_l^j других сегментов, составляющих линии, ограничивающие участки прилегания носка проводки к валкам сверху $(P_2^j)_i^l - (P_2^j)_o^l$ и снизу $(P_0^j)_i^l - (P_0^j)_o^l$. Нетрудно убедиться, что эти вершины будут соответствовать вершинам

характеристических ломаных Q_3^j и Q_5^j (см. рис.1 и рис.4).

Чтобы задать поверхность, соответствующую участку прилегания носка проводки к валкам осталось определить положение вершин Q_4^j скелета и значений w_4^j в каждой из них (см. рис.1).

Как уже отмечалось, каждой вершине скелета детали Q_i^j соответствует отдельная порция поверхности вращения, которую в нашем случае следует обозначить P_{kl} , где k соответствует номеру сегмента кривой на верхней или нижней грани носка проводки, которые содержит указанная порция, причем ее вершина совпадает с соответствующей вершиной скелета Q_i^j (рис. 4,а).

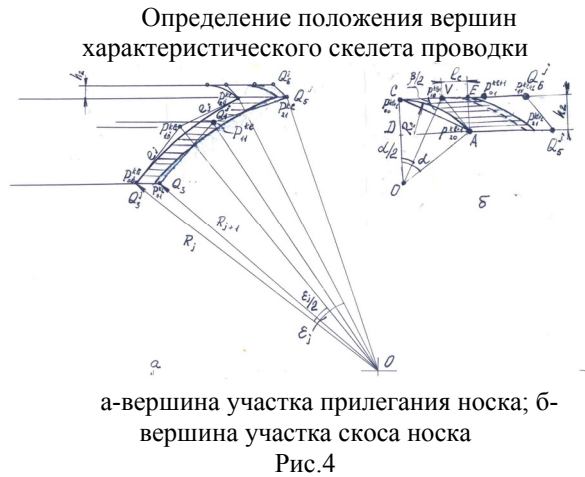


Рис.4
а-вершина участка прилегания носка; б-
вершина участка скоса носка

Для Q_4^j и w_4^j требуется найти соответствующие им величины P_{11}^{kl} , w_{11}^{kl} у каждой порции поверхности. Граничной кривой каждой пары порций рассматриваемого участка носка проводки является дуга окружности R_i , концы которой P_{01}^{kl} , P_{21}^{kl} совпадают с одноименными концами сегментов P_{2j} и P_{0j} , рассмотренных в предыдущем пункте. Положение вершин P_{1j}^{kl} , в том числе и вершины P_{11}^{kl} , для k -порции будем определять для каждой пары одноименных точек характеристических ломаных P_{2j} , P_{1j} , P_{0j} смежных сегментов, составляющих линию прилегания носка проводки к ручью.

Величина угла ε_j (см. рис. 4,а) равна $\varepsilon_j = 90 - \alpha_j - \beta_j$, где α_j и β_j определяются по формулам (3), (7).

Длина отрезков P_{0j}^{kl} , P_{1j}^{kl} и P_{01j}^{kl} , P_{2j}^{kl} характеристической ломаной текущей дуги окружности радиуса R_j равна $e_j = R_j \tan(\varepsilon_j / 2)$.

Таким образом, координаты точки P_{1j}^{kl} могут быть найдены как

$$x_{1j}^{kl} = (x_{0j}^{kl} + x_{2j}^{kl})/2, y_{1j}^{kl} = y_{0j}^{kl} + \varepsilon_j \sin \beta_j, z_{1j}^{kl} = z_{0j}^{kl} - \varepsilon_j \sin \beta_j.$$

Величина полноты w_{10}^{kl} и w_{12}^{kl} для граничных кривых порции равна синусу половины угла при вершинах P_{1j}^{kl} их характеристических ломаных [7]. Величина этого угла ω_j составляет

$$\omega_j = 180 - \varepsilon_j = 90 + \alpha_j + \beta_j.$$

Таким образом, величины w_{10}^{kl} и w_{12}^{kl} можно выразить в виде формулы

$$w_{ij}^{kl} = \sin \omega_j = \sin(90 + \alpha_j + \beta_j) = -\cos(\alpha_j + \beta_j), \text{ где } j \neq 1.$$

Значения w_{01}^{kl} и w_{21}^{kl} и для характеристических ломаных, ограничивающие рассматриваемый участок сверху и снизу, соответствуют величине w_1 , определяемой по формуле (9). Значение полноты w_{11}^{kl} в характеристической точке P_{11}^{kl} порции, соответствующей вершине скелета Q_4^j , может быть определено как $w_{11}^{kl} = w_4 = w_{10}^{kl} \cdot w_{01}^{kl}$, где $i=0,1,2$.

После подстановки в данную формулу предыдущего выражения и с учетом формулы (9) имеем

$$w_{11}^{kl} = w_4^j = \frac{\cos(\alpha_j + \beta_j)}{\frac{2l_1 \sin \psi}{l_2 \sin(\tau + \psi)} - 1}. \quad (10)$$

Построение скелета участка скоса носка проводки. Характеристическая ломаная Q_6^j , определяющая скос носка, может быть получена перемещением характеристической ломаной Q_3^j вверх на величину $\Delta y = h_2$ и в сторону пяты на величину $\Delta z = l_c$, которая определяется величиной радиуса скругления R_c (см. рис.4, б). Для построения характеристической ломаной Q_6^j необходимо определить значение l_c и величину полноты w_c в местах сопряжения соседних порций скоса, которая в рассматриваемом случае будет одинаковой во всех вершинах P_{10}^{k2} и P_{12}^{k2} . Указанные величины определены с использованием простых геометрических и тригонометрических преобразований четырехугольника ОСВА, образованного характеристической ломаной дуги окружности в сечении скоса носка в месте сопряжения двух соседних порций и ограничивающими ее радиусами R_c .

$$w_c = \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) = \sqrt{\frac{2R_c - h_2}{2R_c}}, \quad (11)$$

$$l_c = \sqrt{t^2 - h_2^2} = \sqrt{\frac{R_c^2 h_2}{2R_c - h_2} - h_2^2}. \quad (12)$$

Параметры характеристической ломаной Q_6^j , задающей скос носка проводки, выражаются через параметры характеристической ломаной Q_3^j с учетом (11) и (12) следующим образом:

$$x_6^j = x_3^j, \\ y_6^j = y_3^j + h_2,$$

$$z_6^j = z_3^j - l_c = z_3^j - \sqrt{\frac{R_c^2 h_2}{2R_c - h_2} - h_2^2},$$

$$w_6^j = w_c w_5^j = w_5^j \sqrt{\frac{2R_c - h_2}{2R_c}}.$$

Положение остальных характеристических точек скелета фасонной проводки: Q_1^j , Q_2^j , Q_3^j , Q_8^j может быть найдено по известным конструктивным размерам этой детали.

Разработанная согласно рассмотренной стратегии геометрическая модель послужила основой для создания программного модуля, в

котором координаты характеристического каркаса лекальной поверхности носка проводки находятся по координатам соответствующих точек сегментов кривых второго порядка и отрезков прямых плоского контура ручья вала, сопрягающегося с этой деталью. Математическая модель такого контура была подробно рассмотрена в работах [7,8]. Работа пользователя сводится к заданию характеристического каркаса ручья вала, размеров, характеризующих расположение проводки относительно ручья, визуальному контролю построенного контура и распечатки результатов расчета, которые затем используются в процессе построения трехмерных моделей этих деталей. По этим моделям Экспериментальным производственным комбинатом УрФУ на станках типа обрабатывающий центр был изготовлен алюминиевый макет проводки для ящичного калибра (рис.2), а затем произведена партия выводных проводок для ОАО «Златоустовский металлургический завод» [9].

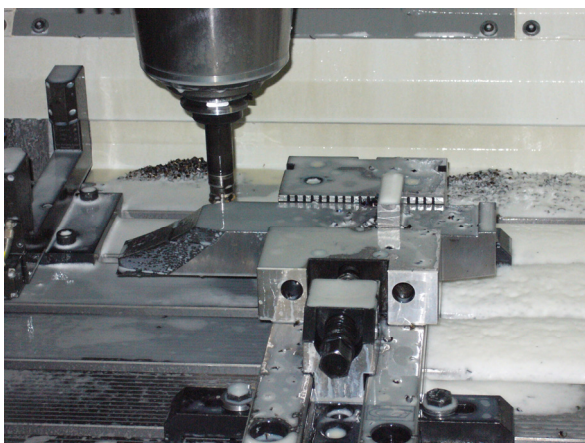


Рис.2 Изготовление выводной проводки для ящичного калибра

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шенен П., Коснар М., Гардан И., и др. Математика и САПР. М.:Мир.1988. Т.1,2.
2. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве. - М.: Мир. 1982.302 с.
3. Сухих Б.И., Вайсбурд Р.А. Вычислительная геометрия. Основные объекты и преобразования. - Свердловск: УПИ.1989. 91 с.
4. Стародетко Е.А. Математическое моделирование лекальных поверхностей / Под ред. П.М.Чеголина. - Минск: Наука и техника. 1984. 126 с.
5. Александров А.Д., Нецветаев Н.Ю. Геометрия. М.:Наука.1990. 672 с .
6. Берже М. Геометрия М.:Мир.1984. Т.1,2.
7. Слукин Е.Ю., Шилов В.А. Моделирование формы калибров в системах проектирования технологии сортовой прокатки /Изв. вузов. Черная металлургия. 1991. N 4. с. 37-39.
8. Слукин Е.Ю., Шилов В.А. Алгоритм и программа автоматизированного построения калибров произвольной формы / Изв. вузов. Черная металлургия. 1991. N 6. с. 36-38.
9. Слукин Е.Ю., Гайсин Н.В. Особенности изготовления выводных проводок сортовых станов на многооперационных станках в УГТУ-УПИ. / Изв. вузов. Черная металлургия. 2010. N 3. с.65-66.