

В случае необходимости РПН могут оставаться на поверхности отверстия или удаляться, что выполняется зубьями режущей части, а выравнивание поверхности от срезанных наплывов и калибрование отверстия выполняется калибрующей частью инструмента, состоящей из нескольких зубьев. При различном укомплектовании инструмента можно использовать на поверхностях различные сочетания: ПРМР + РПН; ЧРМР с параметрами по ГОСТ 24773-81 с РПН или без них [2, 7].

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. СССР 1766644. Инструмент для дорнования отверстий / В.А.Горохов.
2. А.с. СССР 1792823. Комбинированный инструмент для регуляризации микрорельефов / В.А.Горохов.
3. А.с. СССР 844157. Устройство для сверления отверстий / В.А.Горохов.
4. Горохов В.А. Оборудование и оснастка для комбинированной обработки отверстий / Химическое и нефтяное машиностроение. 1992. №2. – С. 36-39.
5. Патент РФ № 2023537. Способ вибрационной обработки и устройство для его обеспечения / В.А.Горохов.
6. Патент РБ № 4060. Способ прецизионной обработки длинных отверстий малого диаметра и устройство для его осуществления / В.А.Горохов.
7. Горохов В.А. Технология обработки материалов. – Мн.: Беларуская навука, 2000. – 439 с.

62I.833/.834.00I.24

Василенок В.Д.

## НАРЕЗАНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С МОДИФИКАЦИЕЙ НОЖЕК ЗУБЬЕВ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Режущий инструмент с протуберанцем применяют для образования переходной кривой зуба с поднутрением при полуступенчатом нарезании зубьев под шевер или под шлифование или для преднамеренного отклонения поверхности зуба от главной поверхности, осуществляемое для компенсации действия факторов отрицательно влияющих на работу передачи.

Снижение материалоемкости и металлоемкости машин диктует применение трансмиссий машин с высоконапряженными зубчатыми колесами, изготавливаемыми из цементуемых сталей. У таких зубчатых колес, после термообработки, шлифуется эвольвентный профиль зуба. Для обеспечения свободного

выхода шлифовального круга, ножки зубчатых колес должны иметь поднутрение у основания .

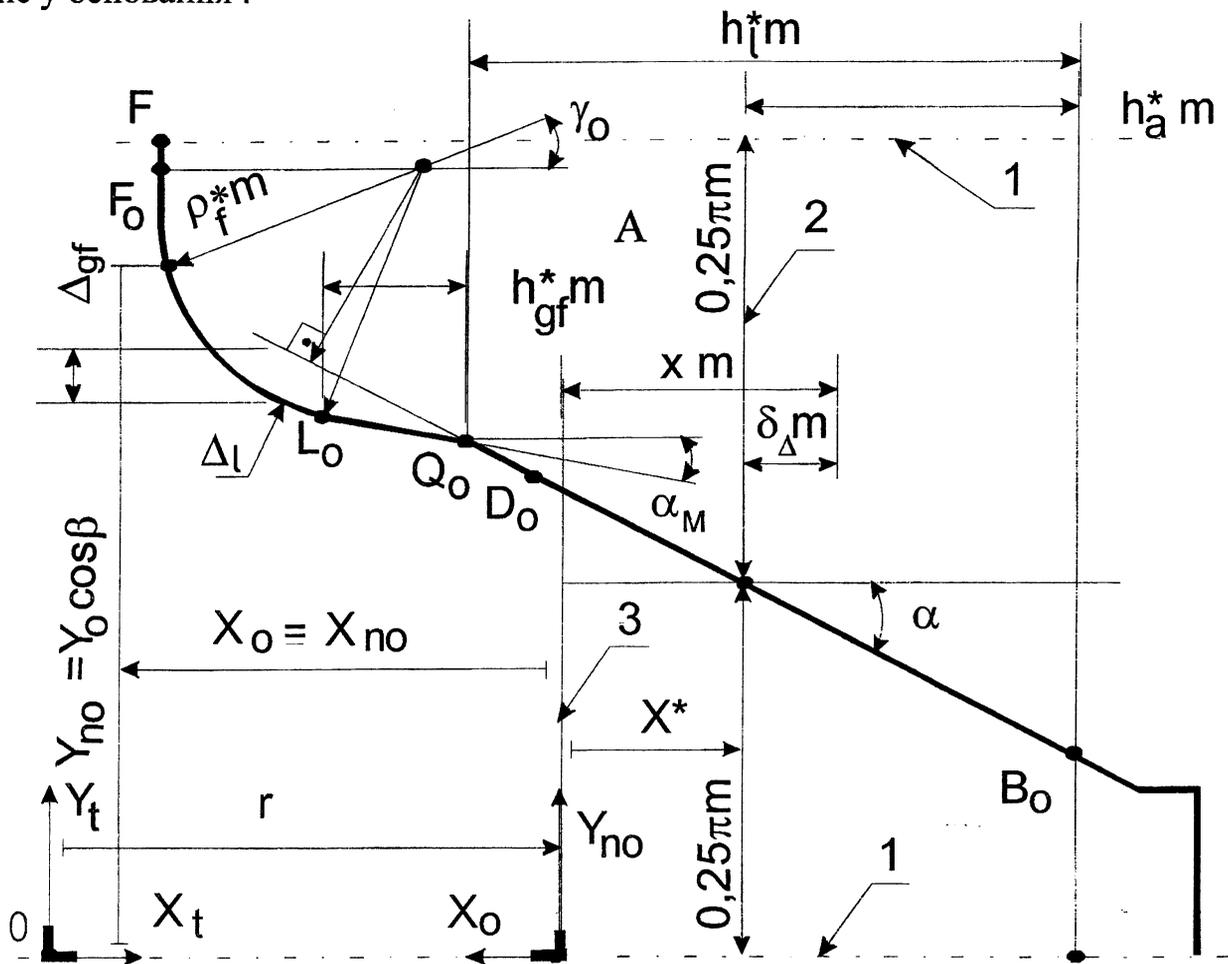


Рис. 1. Торцовый профиль зуба зубчатого колеса:

I - оси симметрии профиля зуба; FL - переходная кривая; LQ- линия модификации ножки зуба; ( QB - эвольвента основной окружности радиуса  $r_b$  ; B - предельная точка теоретического эвольвентного профиля; L - граничная точка; Q - точка начала модификации ножки зуба

Профиль зуба зубчатого колеса однозначно определяется профилем и движением относительно заготовки зубчатого колеса последнего обрабатывающего инструмента. Поэтому профиль зуба высоконапряженного зубчатого колеса формируют: на участке переходной кривой модифицированный производящий контур на эвольвентном участке тарельчатый абразивный круг.

В настоящей работе рассмотрены вопросы расчета высоконапряженных зубчатых колес с модификацией ножек зубьев.



$$\rho_f^* = [0,25\pi - (h_l^* - h_a^*) \cdot \operatorname{tg} \alpha - h_{gf}^* \cdot \operatorname{tg} \alpha_M] / \cos \alpha_M,$$

$$h = [\rho_f^* \cdot (1 - \sin \alpha_M) + h_{gf}^* + h_l^*] \cdot m.$$

Вначале найдем величины: торцовый угол профиля, делительный и основной радиусы, половину основной угловой толщины

$$\alpha_i = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \alpha / \cos \beta), r = m \cdot z / (2 \cos \beta), r_b = r \cdot \cos \alpha_i,$$

$$\psi_b = \left(\frac{\pi}{2} + 2x \cdot \operatorname{tg} \alpha\right) / z + \operatorname{inv} \alpha_i.$$

Координаты точки  $C$

$$x_c = m \cdot (h_f^* - \rho_f^* - x^*),$$

$$y_c = \left[\frac{\pi}{4} + (h_l^* - h_a^*) \cdot \operatorname{tg} \alpha + h_{gf}^* \cdot \operatorname{tg} \alpha_M + \rho_f^* \cos \alpha_M\right] \cdot m / \cos \beta.$$

Если  $y_c > \frac{\pi m}{2 \cos \beta}$  то исходные данные требуют корректировки.

$$x_{d0} = r - r_b, x_{q0} = m \cdot (h_l^* - h_a^* - x^*),$$

$$x_{L0} = x_c + m \cdot \rho_f^* \sin \alpha_M.$$

Если окажется, что  $x_{d0} \geq x_{q0}$ , то точки  $D_o$ , сопряженной с начальной точкой  $D$  основной окружности, на контуре рейки не существует.

Из построений (см. рис.1) получим функции  $\gamma_0(x_0)$ ,  $\gamma(x_0)$  и  $y_0(x_0)$

Для прямолинейного участка  $BQo$  аргумент  $x_0 \leq x_{q0}$

$$\gamma_0 = \pi/2 - \alpha, \gamma = \pi/2 - \alpha_i, y_0 = m \cdot \left[\frac{\pi}{4} + (x_0/m + x^*) \cdot \operatorname{tg} \alpha\right] / \cos \beta. \quad (2)$$

Для участка модификации ножки  $Q_o L_o$  аргумент  $x_0$  лежит в интервале  $x_{q0} \leq x_0 \leq x_{L0}$ , тогда получаем

$$\gamma_0 = \pi/2 - \alpha_M, \gamma = \pi/2 - \alpha_{im}, \text{ где } \alpha_{im} = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \alpha_M / \cos \beta),$$

$$y_0 = m \cdot \left[\frac{\pi}{4} + (x_{q0}/m + x^*) \cdot \operatorname{tg} \alpha + x_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_M / m\right] / \cos \beta. \quad (3)$$

Для участка переходной кривой исходного контура  $L0F0$  аргумент  $x_0$  удовлетворяет условию  $x_{L0} \leq x_0 \leq m \cdot (h_f^* - x^*)$

$$\gamma_0 = \arccos\left(\frac{x_0 - x_c}{\rho_f^* \cdot m}\right), \quad \gamma = \operatorname{arctg}(\cos \beta \operatorname{tg} \gamma_0),$$

$$y_0 = y_c - m \cdot \rho_f^* \sin \gamma_0 / \cos \beta. \quad (4)$$

Для участка  $F_c Fco$ , образующего окружность впадин, аргументом надо принять ординату  $y_0$ , лежащую в интервале

$$y_c \leq y_0 \leq \pi m / (2 \cos \beta), \gamma_0 = \gamma = 0, x_0 = m \cdot (h_f^* - x^*).$$

Подставив функции  $\gamma(x_0)$  и  $y_0(x_0)$ , выраженные (2), (3), (4) в (1), получаем параметры торцового профиля зуба зубчатого колеса.

3. В зависимости от значений исходных параметров» могут встретиться различные варианты переходных поверхностей зубьев. Исследования показали в отдельных случаях участок  $QL$  может вырождаться в одну точку  $Q$  - начальную точку модификации ножки, участок  $FFc$  может быть представлен одной точкой  $F$  - отделяющей переходную кривую от окружности впадин.

Граничные точки профиля зуба  $B, Q, L, F$  принадлежат двум разным участкам и их координаты удовлетворяют различным способам использования уравнений (1).

Участок  $BQ$  - эвольвентный, для которого полярная координата

$$\psi_i(r_i) = \psi_b - \text{in var } \cos(r_b / r_i), \quad (6)$$

Точка  $Q$  может принадлежать одному из участков производящего контура  $D0Q0$ ,  $Q0L0$  или  $L0F0$ .

При равных для уравнений (1) и (6) значениях радиуса  $r_i$  по (2),  $r_i$  по (3) и  $r_i$  по (4) равны и углы  $\psi_{i2}, \psi_{i3}, \psi_{i4}$ , а разность углов должна равняться нулю.

Тогда, аргумент  $xq_0$ , определяющий точку  $Q$ , является корнем одного из уравнений  $\Delta\psi = 0$ , где

$$\begin{aligned} \Delta\psi_2 &= \psi_{i2} - \psi_b + \text{in var } c \cos(r_b / r_{i2}); \\ \Delta\psi_3 &= \psi_{i3} - \psi_b + \text{in var } c \cos(r_b / r_{i3}); \\ \Delta\psi_4 &= \psi_{i4} - \psi_b + \text{in var } c \cos(r_b / r_{i4}). \end{aligned} \quad (7)$$

Для нахождения значения  $xq_0$  определяющего точку  $Q$  задаются рядом последовательно увеличивающихся значений независимого аргумента  $x\theta$ , начиная от  $x\theta_0$ , и для каждого взятого аргумента, при котором  $r_i(x_0) \geq r_b$  вычисляют его функции.

При  $x\theta_2$ , лежащем в интервале  $x_{\theta_0} \leq x_{\theta_2} \leq x_{q_0}$  параметры  $y_{02}, \gamma_{02}, \gamma_2$  вычисляют по уравнениям (2).

При  $x_{q_0} \leq x_{\theta_2} \leq x_{L_0}$  параметры  $y_{03}, \gamma_{03}, \gamma_3$  вычисляют по (3).

При  $x_{L_0} \leq x_{\theta_4} \leq m \cdot (h_f^* - x^*)$  параметры  $y_{04}, \gamma_{04}, \gamma_4$  вычисляют по (4).

Затем с помощью уравнений (1) и (7) определяют  $\Delta\psi_2, \Delta\psi_3, \Delta\psi_4$ . То значение аргумента  $x\theta$ , при котором получают  $\Delta\psi = 0$  и есть значение  $xq_0$ , соответствующие ему функции обозначают

$$\gamma_q = \gamma_q(x_{q_0}), \varphi_q = \varphi(x_{q_0}), x_q = x_i(x_{q_0}), y_q, r_q, \psi_q, \varepsilon_q = \varepsilon_i(x_{q_0}).$$

Если система (7) имеет несколько корней, то действительное значение  $xq_0$  это то из них, при котором  $r_q$  -наибольшее. Отметим, что участки  $D0Q0$  и  $Q0L0$  могут не участвовать в формообразовании зуба, а точка  $L$  совпадет с точкой  $Q$ .

4. Если точка  $L$  не совпадает с точкой  $Q$ , то ее координаты вычисляют как границу участков, уравнения которых (4), (1) и (3), (1) или (2), (1).

Для этого задаемся рядом последовательно увеличивающихся значений независимого аргумента  $x_{04}$ , начиная от  $x_{l0}$  и для каждого взятого  $x_{04}$  вычисляют  $x_{i4}(x_{04}), y_{i4}(x_{04})$ . Затем задавшись также рядом последовательно уменьшающихся значений  $x_{03}$ , начиная от  $x_{l0}$  и если имеется точка  $D0$ , то и рядом уменьшающихся значений  $x_{02}$ , начиная от  $x_{q0}$  для каждого взятого значений  $x_{03}$  и  $x_{02}$  и вычисляют  $x_t, x_t$ . Находят такое значение  $x_{03}$  ( $x_{02}$ ) при котором  $x_{t3} = x_{t4}$  (или  $x_{t2} = x_{t4}$ ).

При соответствующем значении  $x_{t3}$  (или  $x_{t2}$ ) вычисляют

$$\Delta y_3 = y_{i4} - y_{i3} \text{ или } \Delta y_2 = y_{i4} - y_{i2}. \quad (8)$$

То значение  $x_{03}$  (или  $x_{02}$ ), при котором получают  $\Delta y_3$  (или  $\Delta y_2$ ) равно нулю, и есть аргумент, определяющий особую точку  $L$ . Если оба уравнения (8) имеют корни, то соответствующие две точки сливаются в одну точку  $L$ .

5. В дальнейшем расчет геометрических параметров передачи не отличается от обычного.

Однако при проверке интерференции в передаче [2] необходимо учитывать действительную геометрию переходной поверхности зуба.

Для расчета величины единичных изгибающих напряжений на переходной поверхности зуба применяется метод скользящих биполярных координат, разработанный в [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андожский В.Д. Геометрический расчет модификации головок зубьев.- Вестник машиностроения, 1976, N 5, 6.
2. Андожский В.Д., Василенок В. Д. Интерференция и заклинивание зубьев.- Изв. ВУЗов. Машиностроение 1978, N 12, 1979, N 3.
3. Андожский В.Д., Василенок В. Д., Борисов Н. К. К точности некоторых аналитических методов определения напряжений в зубьях.- Изв. ВУЗов, Машиностроение, 1981, N 4.

UDK 621.74.046

Beznák M.

## PRODUCTION OF FORGING TOOLS BY PRECISION CASTING INTO CERAMIC MOULDS

*Slovak university of technology  
Trnava, Slovakia*

The Shaw method is one of less familiar methods of precision casting in ceramic moulds with using of permanent pattern. The method uses special ceramic