

**ЧЕРВЯЧНЫЕ ЧИСТОВЫЕ ФРЕЗЫ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ  
ПЕРЕДНИМ УГЛОМ**

**Охрименко А.А.**  
(НТУУ «КПИ», г. Киев)

В настоящее время при производстве зубчатых колес основными процессами являются зубодолбление и зубофрезерование. Зубофрезерование получило более широкое распространение вследствие высокой производительности. Несмотря на глубокую проработку процесса зубофрезерования, до сих пор в достаточной степени не были решены вопросы точности профилирования червячных фрез и рациональной геометрии их режущей части. Как правило, все чистовые фрезы выполняют с передним углом равным нулю, что снижает их режущую способность. Создание положительного переднего угла снижает точность таких фрез. Известны чистовые фрезы [1, 2] с положительным передним углом, которые из-за сложности их изготовления не получили широкого распространения.

Целью данной работы является разработка методики проектирования червячных фрез с положительными передними углами, обеспечивающими повышение производительности и точности обработки.

На основании проведенного анализа установлено, что чистовые фрезы изготавливаются на базе архимедового и конволютного червяков, что вносит погрешность в профиль нарезаемого колеса [4]. Кроме того, у фрез, спроектированных на базе архимедового и конволютного червяков, увеличение переднего угла дополнительно вносит погрешность. Пересечение передней винтовой поверхности с  $\gamma \neq 0$  и задней затылованной поверхности при условии, что она образована для фрезы с  $\gamma = 0$ , создает криволинейную режущую кромку (рис. 1), которая не лежит на поверхности теоретически точной исходной инструментальной поверхности (ИИП) эвольвентного червяка. Причем для конволютного червяка эти искажения будут одинаковы как для левой, так и для правой стороны профиля. В этом случае для фрез с положительным передним углом, спроектированных на базе конволютного червяка, обеспечить заданную точность можно за счет подбора:

- угла профиля конволютного червяка;
- величины переднего угла;
- величины заднего угла.

За счет этого червяк, образованный криволинейной кромкой, может иметь минимальное отклонение от поверхности точного эвольвентного червяка. В качестве образующей передней поверхности принимаем прямую или окружность, как наиболее простые технологически, также можно принять более сложные кривые: эллипс, гиперболу, параболу, архимедову спираль [1] и так далее.

При определении параметров фрез в качестве исходной инструментальной поверхности принимаем конволютный червяк. Уравнение конволютного червяка с правым направлением витков для правой стороны приведем с учетом параметров инструмента, образующего данную винтовую поверхность. Ось  $Y$ , которая является осью симметрии центральной впадины, показана на рис. 2 стрелкой.

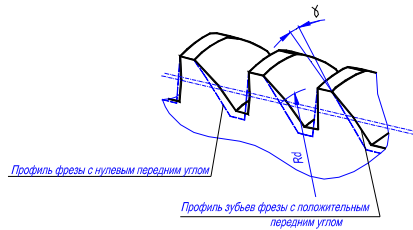


Рис. 1. Схема расположения кромок фрезы с нулевым и положительным передними углами

При изготовлении таких фрез резец для затылования устанавливается в нормальном сечении симметрично относительно оси  $Y$ . Тогда поверхность конволютного червяка в параметрической форме будет иметь вид:

$$\begin{cases} Xk = (-u \sin \alpha_{II} + A_0) \sin \beta \cos t - u \cos \alpha_{II} \sin t \\ Yk = (-u \sin \alpha_{II} + A_0) \sin \beta \sin t + u \cos \alpha_{II} \cos t \\ Zk = pt + (-u \sin \alpha_{II} + A_0) \cos \beta \end{cases} \quad (1)$$

где:

- $u, t$  – независимые параметры винтовой поверхности;
- $p$  – винтовой параметр фрезы;
- $\alpha_{II}$  – угол резца в нормальном сечении;
- $\beta$  – угол подъема винтовой линии на делительном цилиндре;
- $A_0$  – параметр, определяющий симметричную установку резца относительно оси  $Y$ , он связан с шириной резца на делительном цилиндре следующим соотношением:

$$A_0 = r_d \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{II}) - S_n / 2, \quad (2)$$

где:

- $r_d$  – радиус делительного цилиндра;
- $S_n$  – ширина резца на делительном цилиндре.

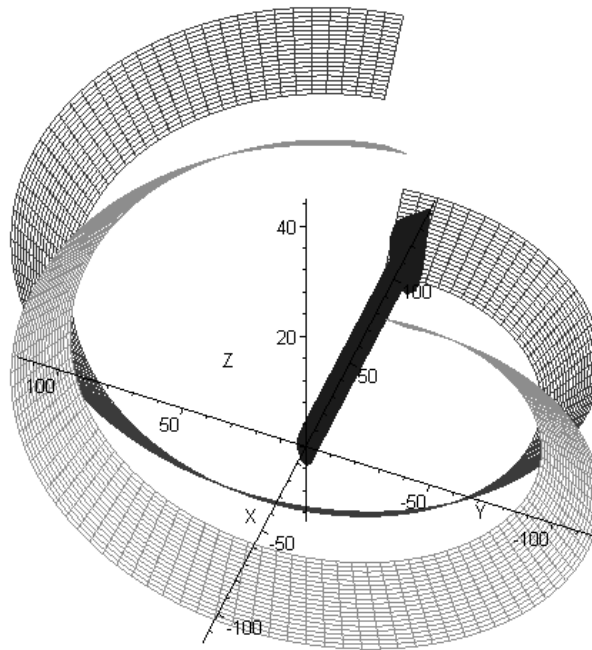


Рис. 2. Боковые поверхности конволютного червяка

Для левой боковой поверхности нужно в уравнении (1) выражение  $(-u \sin \alpha_H + A_0)$  записать со знаком минус.

В этом случае передняя поверхность образуется как огибающая последовательных положений конической поверхности круга. Заменяем ее линейчатой винтовой поверхностью (рис.3). При такой замене для стандартных параметров фрез отклонение полученной поверхности от реальной в торцевом сечении не превышает 0,01мм, что объясняется большим шагом передней винтовой поверхности. Тогда уравнение передней винтовой поверхности запишется в виде:

$$\begin{cases} Xp = (u_1 \sin \gamma - r_a \sin \gamma \cos \gamma) \cos t_1 - (u_1 \cos \gamma + r_a \sin^2 \gamma) \sin t_1 \\ Yp = (u_1 \sin \gamma - r_a \sin \gamma \cos \gamma) \sin t_1 + (u_1 \cos \gamma + r_a \sin^2 \gamma) \cos t_1 \\ Zp = p_1 t_1 \end{cases} \quad (3)$$

где:

- $t_1$  – независимый параметр винтовой поверхности, определяющий положение образующей в пространстве;
- $u_1$  – независимый параметр винтовой поверхности, определяющий положение точки на образующей прямой;
- $\gamma$  – передний угол;
- $r_a$  – радиус вершин зубьев фрезы;
- $p_1$  – винтовой параметр стружечной канавки.

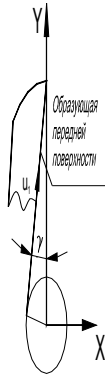


Рис. 3. Образование передней поверхности фрезы

Задняя боковая затылованная поверхность при радиальном затыловании по архимедовой спирали запишется следующим образом:

$$\begin{cases} Xz = (-u \sin \alpha_H + A_0) \sin \beta \cos(t + \psi) - (u \cos \alpha_H - Ka\psi) \sin(t + \psi) \\ Yz = (-u \sin \alpha_H + A_0) \sin \beta \sin(t + \psi) + (u \cos \alpha_H - Ka\psi) \cos(t + \psi) \\ Zz = p(t + \psi) + (-u \sin \alpha_H + A_0) \cos \beta \end{cases} \quad (4)$$

где:

- $\psi$  – параметр, определяющий движение резца вдоль винтовой линии при затыловании;
- $Ka$  – параметр затылования  $Ka = ra \cdot \text{tg}(\alpha_B)$ ;
- $\alpha_B$  – статический угол.

Для фрезы параметр  $t$  в уравнении (4) принимает дискретные значения кратные числу зубьев фрезы.

Совместное решение уравнений (3) и (4) даст систему уравнений (5), определяющую пространственную режущую кромку:

$$\begin{cases} Xz(t, u, \psi) = Xp(t_1, u_1) \\ Yz(t, u, \psi) = Yp(t_1, u_1) \\ Zz(t, u, \psi) = Zp(t_1, u_1) \end{cases} \quad (5)$$

Решая систему уравнений (5), находим текущие координаты точек режущей кромки  $X_i, Y_i, Z_i$  для центральной впадины, где  $i$  – количество рассматриваемых точек. Зная их координаты, определяем координаты точек  $Ye_i, Ze_i$  осевого сечения червяка, образованного данной режущей кромкой:

$$\begin{aligned} R_i &= \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} & \text{tg}(a_i) &= \frac{X_i}{Y_i} \\ Ze_i &= Z_i + pa_i & Ye_i &= R_i \end{aligned} \quad (6)$$

Для определения профиля режущей кромки, обеспечивающего наименьшие отклонения ее от теоретически точной винтовой поверхности, воспользуемся методом последовательных приближений.

Известными считаются:

- диаметр вершин зубьев  $d_a$ ;
- высота головки зуба  $h$ ;
- величина заднего вершинного угла  $\alpha_s$
- толщина зуба колеса  $S$ .

Выбираем интервал изменения параметров фрезы: - передний угол  $\gamma$ ; - угол профиля резца  $\alpha_u$ ; - толщину резца на делительном цилиндре.

Так как для фрез с положительным передним углом увеличивается толщина впадины фрезы,  $S_0 \rightarrow S_1$  точки 1, 2 перемещаются ближе к оси симметрии зуба, положение 1' и 2' (рис. 4).

Решая уравнения (5), находим координаты точек режущей кромки. Для этого задаемся значениями параметра  $u_1$ , находя три других  $t_1, u, \psi$ . Параметр  $u_1$  связан с диаметром текущей точки  $u_1 = \sqrt{r^2 - (r_a \sin \gamma)^2}$ ,  $u_1 [\sqrt{r_f^2 - (r_a \sin \gamma)^2}, \sqrt{r_a^2 - (r_a \sin \gamma)^2}]$ . Зная параметры  $t, u$ , или  $\psi, t_1$  и подставляя их в соответствующие им уравнения (3), (4), находим координаты текущих точек режущей кромки  $X_i, Y_i, Z_i$ . Подставляя их в уравнения (6), находим осевое сечение червяка, образованное данной кромкой, и сравниваем их с осевым сечением эвольвенты винтовой поверхности. Это позволяет найти максимальную погрешность профиля.

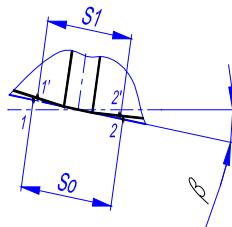


Рис. 4. Вид сверху на зубья фрезы с нулевым передним углом и с положительным

Изменяя значения в выбранном интервале параметров, находим значения параметров, которые обеспечивают минимальное отклонение полученного профиля винтовой поверхности от теоретически точной (табл. 1).

Выводы. Анализ показал, что точные фрезы можно спроектировать с положительными передними углами, что будет способствовать повышению их работоспособности. При этом для больших модулей точность фрез с нулевым передним углом будет несколько выше. Для средних модулей 5-6мм точность профилирования фрез с положительным углом и с нулевым примерно одинакова. Для модулей меньше 5мм фрезы с положительным углом могут по точности превосходить стандартные с нулевым передним углом.

Таблица 1. Результаты расчета для фрез класса ААА

Модуль, мм	Диаметр фрезы, мм	Угол профиля резца $\alpha_n$	Передний угол $\gamma$	Задний угол при вершине $\alpha_b$	Максимальное отклонение червяка от теоретически точной ИИП, мкм
10	180	19°52'	5°	10°	16
5	140	20°01'	5°	10°	1,2
3	112	20°00'01''	5°	10°	0,1
		Угол профиля червяка по ГОСТ 9326-80			
10	180	20°	0°	10°	10
5	140	20°	0°	10°	1,2
3	112	20°	0°	10°	0,3

В процессе переточек передний угол может оставаться постоянным, однако для фрез с большим модулем, чтобы обеспечить необходимую их точность, для предельно переточенной фрезы передний угол можно увеличить на 1° по сравнению с расчетным.

**Список литературы:** 1. Гончаров А.М. Повышение точности профилирования червячных фрез с оптимальными передними углами. Резание и инструмент. Харьков, ХГУ. – 1990. Вып. 43. – С. 64-68. 2. Лашнев С.К. Формообразование зубчатых деталей реечными и червячными инструментами. – М. Машиностроение, 1971. – 216 с. 3. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. – К.: Выща школа, 1990. – 424 с. 4. Равська Н.С. Охріменко О.А. Про підвищення точності профілювання черв'ячних фрез. Вісник НТУУ"КПІ" Машинобудування. – Вип. 43. – 2002. – С. 104-105.

**ЧЕРВ'ЯЧНІ ЧИСТОВІ ФРЕЗИ З ПЕРЕДНІМ КУТОМ, БІЛЬШИМ НУЛЯ**  
Охріменко О.А.

В статі вирішується задача проектування черв'ячних чистових фрез з додатнім переднім кутом. Це забезпечує їх підвищену працездатність.

**ЧЕРВЯЧНЫЕ ЧИСТОВЫЕ ФРЕЗЫ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ПЕРЕДНИМ УГЛОМ**  
Охрименко А.А.

В статье решается задача разработки червячных чистовых фрез с положительным передним углом. Это обеспечивает их повышенную работоспособность.

**WORM FAIR MILLS WITH A POSITIVE FORWARD CORNER**  
Ohrimenko A.A.

In paper the problem of development of worm fair mills with a positive front corner is solved. That provides their raised serviceability.