

## Способ правки круга для затылования червячных фрез

к. т. н. Н. В. Колесов, О. Г. Кирсанова // МГТУ «Станкин», г. Москва

Правка абразивного круга для затылования червячных фрез, предназначенных для нарезания зубчатых деталей (эвольвентных и червячных колес, шлицевых валов и др.), является сложной и весьма трудоемкой частью операции шлифования этих фрез.

Известны [1–3] различные способы правки круга для затылования червячных фрез. Их можно разделить на следующие три группы.

1. Правку производят без расчета профиля круга, принимая его таким же, как профиль фрезы в том или ином сечении (обычно — в осевом или нормальном к виткам фрезы).

Профиль круга всегда отличается от профиля фрезы. Поэтому, как правило, необходимо производить корректирующие правки (т. е. ручную подгонку). При этом используют различные приспособления правки, а в качестве правящего инструмента применяют ролики, алмазные иглы и карандаши.

2. Профиль круга рассчитывают и затем используют приспособления и правящие инструменты, которые обеспечивают правку круга с получением рассчитанного профиля. В частности, применение систем ЧПУ для обеспечения заданной траектории правящего инструмента представляется наиболее перспективным. Недостаток такого способа — наличие ряда погрешностей процесса правки, а также расчета и, соответственно, правки круга. Расчет профиля круга производят для строго определенной кинематики затылования, расчетных диаметров фрезы и круга. Все эти параметры переменные, например допуск на диаметр фрезы достаточно большой, а радиус круга при изнашивании изменяется.

3. Профиль круга не рассчитывают, а получают автоматически благодаря специальной кинематике правки. Правящий инструмент, например алмазная игла 1, перемещаясь по заданным траекториям  $T$ , правит и одновременно формирует необходимый профиль круга 2 (рис. 1). Такой способ, получивший наименование «кинематический» или «механический», использовали при шлифовании червяков.

Однако перечисленные выше способы не охватывают отдельных особенностей правки кругов, связанных с многообразием типов червячных фрез.

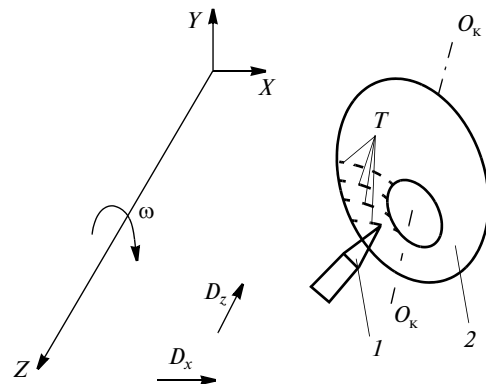


Рис. 1. Схема правки абразивного круга 2 алмазной иглой 1 по траекториям  $T$ , описываемым ее вершиной ( $\omega$ ,  $D_x$ ,  $D_z$  — направления движений алмазной иглы)

Значительная группа фрез имеет прямолинейный профиль и путем оптимизации установки круга, выбора его размеров и формы, для некоторой части таких фрез удастся использовать круги с прямолинейным профилем или их плоскую торцовую поверхность. В этом случае применяют эльборовые или алмазные круги. К недостаткам способа следует отнести ограничение выбора рациональной геометрии этой группы фрез.

В общем случае для затылования фрез требуется криволинейный профиль круга, причем он должен обеспечивать точность формы режущей кромки — пространственной кривой линии, образованной при пересечении базового червяка фрезы с ее винтовой передней поверхностью.

В связи с развитием систем ЧПУ и возможностью увеличивать число управляемых координат станка, достаточно перспективен «кинематический» метод правки круга.

Правку абразивного круга 2 осуществляют за  $N$  проходов (двойных ходов)  $T$  алмазной иглы 1 (см. рис. 1). Вершина иглы описывает за один проход относительно круга кривую, совпадающую по форме с пространственной линией режущей кромки фрезы.

Для фрез с высотой профиля  $H = 5 \div 40$  мм число  $N$  назначают в пределах от 4 до 8—10, большие значения  $N$  — для больших  $H$  и при наличии положительного переднего угла  $\gamma$  фрезы. На рис. 2 показана правка круга при  $N = 4$ .

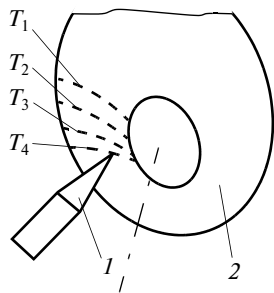


Рис. 2. Траектории  $T_1$ — $T_4$  движения вершины алмазной иглы при правке круга при  $N = 4$

Перед каждым последующим проходом алмазной игле сообщают дискретные движения  $\omega$ ,  $D_z$  и  $D_x$ . На рис. 1 эти движения показаны как относительные, при неподвижном круге. Вокруг оси  $Z$  фрезы алмазная игла может поворачиваться на угол  $\delta = 0,2 \div 1,5^\circ$ , а также перемещаться параллельно на величину  $u$  и перпендикулярно — на величину  $w$ . Для профиля фрезы высотой  $H = 5 \div 40$  мм меньшие значения угла  $\delta$  принимают для меньшей высоты  $H$ .

Движения  $D_x$ ,  $D_z$  на станке могут сообщаться кругу (а не алмазной игле), с направлением, обратным показанному на рис. 1.

Величина  $u$  равна перемещению фрезы относительно круга в процессе ее затылования в направлении, параллельном оси  $Z$  за время поворота алмазной иглы на угол  $\delta$ ; величина  $w$  равна перемещению фрезы относительно круга в процессе затылования в направлении, перпендикулярном к оси  $Z$ , за время поворота фрезы на тот же угол  $\delta$ .

Для правки круга при затыловании червячных фрез по архимедовой спирали величины  $u$  и  $w$  принимают равными:  $u = p\delta$ ,  $w = a\delta$ . Здесь  $p = P_x(z_{\text{зак}}/360)$ ;  $a = k(z_3/360)[(P_z + z_{\text{зак}}P_x)/P_z]$ ;  $P_x$  — осевой шаг витков фрезы (или базового червяка);  $z_{\text{зак}}$  — число заходов фрезы;  $k$  — величина затылования;  $z_3$  — число зубьев фрезы;  $P_z$  — шаг винтовой передней поверхности.

Для правки круга при затыловании по архимедовой спирали фрез с прямыми канавками (параллельными оси фрезы) величину  $a$  принимают равной  $a = k(z_3/360)$ .

Уравнение линии режущей кромки, которую описывает алмаз, для любой червячной фрезы:

$\theta(r) = [\xi(r)p_k - f(r)]/(p_k + p)$ ,  $z_k = f(r) + p\theta(r)$ , где  $r$  — текущее значение радиуса в любой точке (задается в интервале между наружным  $r_a$  и внутренним  $r_f$  радиусами);  $\xi(r) = \arcsin[(r_a \sin \gamma)/r] - \gamma$ ;  $p_k = P_z/360$ ;  $x(r) = r \cos \theta(r)$ ;  $y(r) = r \sin \theta(r)$ ;  $z_0 = f(r)$  — функция от  $r$  текущей координаты  $z$  любой точки.

$\theta(r)$ ,  $z_k$ ,  $r$  — цилиндрические координаты кромки;  $x(r)$ ,  $y(r)$ ,  $z_k$  — координаты кромки в прямоугольной системе координат  $XYZ$  (см. рис. 1 и 2).

Червячную фрезу проектируют на основе базового червяка с известным профилем в его осевом сечении (в плоскости  $XZ$ , см. рис. 1).

Любая точка червяка определена координатами  $(r, z_0)$ , где  $z_0$  задана как функция от  $r$ : т. е.  $z_0 = f(r)$ .

Вид функции  $f(r)$  известен для фрез разного типа.

Для архимедовых червячных фрез профиль червяка прямолинеен и функция  $f(r)$  имеет вид:  $z_0 = r \operatorname{tg} \alpha_{\text{ч}}$ , где  $\alpha_{\text{ч}}$  — угол наклона прямой профиля к оси  $X$ , т. е. угол профиля червяка в его осевом сечении.

Для эвольвентного червяка его профиль в осевом сечении и функция  $f(r)$  приведены в работе [3]:  $z_0(r) = p \operatorname{inv}[\alpha_0(r)]$ , где  $\cos[\alpha_0(r)] = r_b/r$ ,  $r_b = p \operatorname{pctg} \gamma_{b0}$ ,  $(\cos \gamma_{b0}) = (\cos \gamma_{m0})(\cos \alpha_{n0})$ ;  $r$  — значение радиуса в любой текущей точке;  $r_f \leq r \leq r_a$ ;  $r_b$  — радиус основной окружности базового червяка;  $\alpha_{n0}$  — угол профиля исходного контура рейки в нормальном сечении (для стандартных эвольвентных колес равен  $20^\circ$ ).

Для фрезы с размерами:  $r_f = 63$  мм;  $r_a = 87$  мм;  $\alpha_{n0} = 20^\circ$ ;  $\gamma_{m0} = 4,7^\circ$ ;  $\gamma = 5^\circ$ ;  $P_x = 37,286$  мм;  $z_{\text{зак}} = 1$ ;  $z_3 = 9$  мм;  $k = 12$ ;  $P_z = 5602$  мм имеем:  $p = 0,1050731$  (мм/градус);  $a = 0,3020257$  (мм/град.);  $r_f \leq r \leq r_a$ ; при  $r = 87$  мм:  $\theta(r) = -1,5108$  (град.);  $x(r) = 23,5101$  мм;  $y(r) = -2,2958$  мм;  $z_k = 23,5101$  мм.

Таким образом, при любом текущем значении  $r$  координаты пространственной кромки и уравнение траектории алмазной иглы определены. В частном случае, может быть задан профиль фрезы в каком-либо ее сечении, т. е. траектория — плоская линия.

Испытания данного способа для правки кругов при затыловании червячных фрез с высотой профиля 24 мм показали весьма высокую точность правки, погрешность профиля фрез не превышала 2—3 мкм.

Способ универсален: пригоден для правки кругов любой формы (дисковой, пальцевой, чашеч-

ной), для фрез с разным профилем и геометрией, для любого способа затылования (например, по логарифмической спирали). Учитывая разнообразие типов червячных фрез, изложенный способ может иметь для разных фрез свои особенности. Например, можно использовать алмазный карандаш, добавлять вращательное движение алмазной иглы при правке и т. д.

Существенное преимущество данного способа правки — возможность автоматического профилирования круга (без расчета его профиля) для фрез с любой геометрией, например, с положительным передним углом.

Для использования данного способа правки разработано все необходимое математическое обеспечение, в том числе расчет минимально необходимого числа проходов правки.

### Список литературы

1. Палей М. М. Технология и автоматизация инструментального производства: Учебник для вузов. — Волгоград: Волгоград. гос. техн. ун-т, 1995. — 488 с.
2. Романов В. Ф., Авакян В. В. Технология алмазной правки шлифовальных кругов. — М.: Машиностроение, 1980. — 119 с.
3. Юликов М. И., Горбунов Б. И., Колесов Н. В. Проектирование и производство режущего инструмента. — М.: Машиностроение, 1987. — 296 с.

## ТЕХНОЛОГИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

### *Компьютерное моделирование процесса формообразования дисковой фрезой деталей с винтовой поверхностью*

К. Т. Н. А. А. Ляшков // ОГТУ, г. Омск

Обеспечение требований точности профилирования поверхностей таких деталей, как зубчатые колеса, шлицевые валики, звездочки цепных передач и др. во многом определяется формой режущей части применяемого режущего инструмента (РИ). Поэтому одним из важных элементов процесса проектирования РИ является конструирование его формообразующей поверхности. Решению этой задачи посвящено много исследований. Во многих из них для выполнения расчета требуется вывод соответствующих зависимостей применительно к различным исходным данным. Часто такие зависимости имеют форму трансцендентных уравнений. Для их решения используют численные методы. Все это усложняет процесс профилирования РИ.

Кроме того, во многих случаях профиль детали состоит не только из участков, полученных огибанием соответствующих участков РИ, но и переходных кривых, линий подрезов. В этих случаях процесс профилирования носит итеративный характер. При этом на отдельных этапах проектирования проверяют полученные результаты графическими

или аналитическими методами [1]. Это также усложняет процесс профилирования.

Вместе с тем, эффективно решить рассматриваемые задачи формообразования поверхностей можно с применением методов моделирования средствами компьютерной графики [2—7], позволяющих исследовать влияния различных параметров РИ на форму профиля детали и наоборот, а также решить некоторые другие вопросы.

В общем случае это включает в себя три этапа: 1) создание твердотельной модели детали с винтовой поверхностью (ВП) по ее параметрам; 2) разработка алгоритма и программы, моделирующей процесс формообразования поверхности дисковой фрезы по полученной модели детали; 3) решение обратной задачи, т. е. моделирование формообразования винтовой поверхности детали по полученной модели дисковой фрезы, профиль которой может быть скорректирован.

Практически эти этапы реализованы в виде подпрограмм, написанных на языке программирования AutoLISP в среде САПР AutoCAD. Диалог