

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАДИУСА ПРАВЯЩЕГО РОЛИКА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ С ТРОХОИДНЫМ ПРОФИЛЕМ

Асп. ЯНКЕВИЧ Е. Н.

ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

Основным требованием, предъявляемым к приводным механизмам, созданным на базе трохойдного зацепления, является обеспечение заданной надежности при необходимой кинематической точности. В связи с этим особую значимость приобретает задача снижения погрешностей изготовления элементов зацепления, связанных с параметрами обрабатываемого оборудования.

Точность исполнения влияет на работу механизмов по ряду параметров:

- за счет погрешности изготовления элементов зацепления происходит перераспределение нагрузок в механизме;

- влияние погрешностей изготовления является определяющим для динамической нагруженности механизма. Увеличение зазоров в сопряжениях, волнистость рабочей поверхности влекут за собой возникновение шумов, вибраций. Кроме того, вследствие дополнительных динамических нагрузок значительно увеличиваются потери на трение в узлах и, как следствие, уменьшается КПД и повышается интенсивность износа поверхностей;

- вследствие неточности исполнения в сложных передаточных механизмах могут происходить заедания.

Перечисленные выше факторы влияют в целом на надежность и долговечность механизма и определяют его конкурентоспособность.

Проблема достижения необходимой точности элементов механизмов, выполненных на базе трохойдного зацепления, является комплексной задачей, решение которой требует консолидации конструкторской и технологической мысли на всех этапах производства.

Формообразование деталей с трохойдным профилем осуществляется методом шлифования абразивным кругом, контур которого выполнен алмазной правкой врезанием. При работе по этому методу для корректировки круга по контуру программируется перемещение механизма правки. В частности, задается траектория

движения центра алмазного ролика, которая представляет собой эквидистанту к теоретическому профилю – трохойде. Одним из ключевых моментов в ходе работы по этому методу является выбор радиуса ролика механизма правки. В [1] данная проблема исследовалась для случая, когда инструментом нарезается непосредственно профиль. Однако применить результаты, полученные в [1] для радиуса инструмента, к рассматриваемому методу производства деталей с трохойдным профилем невозможно. Целью настоящей работы является определение критериев для выбора оптимального радиуса ролика механизма правки профильшлифовального станка, которые позволят обеспечить точность производства деталей с трохойдным профилем.

В [1] максимальный радиус инструмента определяется минимальным радиусом кривизны на вогнутом участке профиля зуба. При обработке профиля методом шлифования абразивным кругом, контур которого выполнен алмазной правкой врезанием, данный подход не применим, поскольку инструментом правится не деталь, а шлифовальный круг. Поэтому в данном случае максимальный радиус правящего ролика определяется минимальным радиусом кривизны на выпуклом участке профиля зуба.

Часть профиля, показанная на рис. 1, в соответствии с которой осуществляется правка абразивного круга, задается уравнениями:

$$\begin{aligned} x &= r \sin \alpha + e \sin(z+1)\alpha - r_{\text{ц}} \sin(\gamma + \alpha); \\ y &= -r \cos \alpha - e \cos(z+1)\alpha + r_{\text{ц}} \cos(\gamma + \alpha), \end{aligned} \quad (1)$$

где r – радиус цевочного колеса; e – эксцентриситет; $r_{\text{ц}}$ – радиус цевки; γ – угол передачи – параметры эпитрохоиды [2]; z – передаточное отношение; α – параметр, изменяющийся в интервале $[\pi - \pi/z; \pi + \pi/z]$.

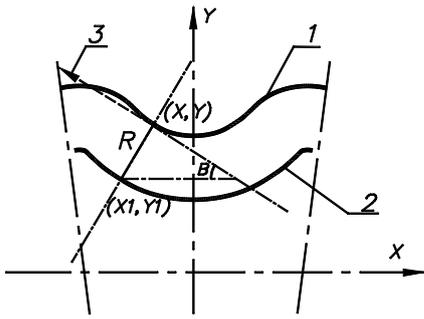


Рис. 1. Построение траектории центра ролика правящего механизма: 1 – исходный профиль (эпитрохоида); 2 – эквидистанта (траектория движения центра правящего ролика); 3 – направляющий вектор касательной к профилю в точке (x, y)

Радиус кривизны в каждой точке кривой (1) определяется соотношением

$$\rho = \frac{r(1+m^2+2m\cos(z\alpha))^{3/2}}{1+m^2(z+1)+m(z+2)\cos(z\alpha)} \pm r_4, \quad (2)$$

где m – коэффициент укорочения эпитрохоиды, $m = e(z+1)/r$.

В (2) знак «+» соответствует вогнутому участку профиля, а «-» – выпуклому [2]. Продифференцировав соотношение (2) по параметру α , получаем, что единственным нетривиальным случаем, когда радиус кривизны достигает экстремума, является

$$\alpha = \frac{1}{z} \arccos\left(\frac{(z-1)-m^2(2z+1)}{m(z+2)}\right). \quad (3)$$

Тогда условие для определения максимального радиуса правящего ролика запишется в виде

$$R_{\text{инстр}} \leq \frac{3r}{z+2} \sqrt{\frac{3z(1-m^2)}{z+2}} - r_{\text{ц}}. \quad (4)$$

При производстве деталей с трохойдным профилем для экономии времени и снижения износа роликов целесообразно использовать ролики как можно большего радиуса. При этом его максимальное значение задается соотношением (4).

Для проверки правильности полученного критерия применим другой метод определения оптимального радиуса правящего ролика. С учетом симметрии кривой (1) все дальнейшие рассуждения будем проводить для ее полови-

ны, соответствующей значениям параметра $\alpha \in [\pi; \pi + \pi/z]$. Эквидистанта к профилю задается уравнениями:

$$\begin{aligned} x_1 &= x - R_{\text{инстр}} \sin \beta = x - R_{\text{инстр}} \frac{y'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}}; \\ y_1 &= y - R_{\text{инстр}} \cos \beta = y + R_{\text{инстр}} \frac{x'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где β – угол между касательной к профилю и отрицательным направлением оси абсцисс (рис. 1). В соотношении (2) штрих обозначает производную функции по параметру α .

В результате перемещения центра ролика механизма правки по определенной траектории край ролика будет очерчивать эквидистанту к этой кривой. Откуда следует, что если осуществить «обратный ход» и построить эквидистанту к траектории движения центра ролика (5), то при условии правильного выбора радиуса правящего ролика она должна повторить исходный профиль (рис. 1). Процедура построения «обратной» эквидистанты аналогична ранее изложенной. В результате получаем уравнения, из которых видны проекции на оси декартовой системы координат отклонения профиля от теоретической эпитрохоиды:

$$\begin{aligned} x_2 &= x + R_{\text{инстр}} \left(\frac{y'_1}{\sqrt{x_1'^2 + y_1'^2}} - \frac{y'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} \right) = x + \varepsilon_x; \\ y_2 &= y + R_{\text{инстр}} \left(\frac{x'}{\sqrt{x'^2 + y'^2}} - \frac{x'_1}{\sqrt{x_1'^2 + y_1'^2}} \right) = y + \varepsilon_y. \end{aligned} \quad (6)$$

Тогда в качестве критерия для выбора радиуса правящего ролика принимается соотношение

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2} \leq \varepsilon_0. \quad (7)$$

Условную границу ε_0 можно задать, исходя из каких-либо эмпирических данных. Но более рационально будет связать ее с характеристиками станка, а именно принять в качестве граничного значения погрешности программирования геометрическую сумму допустимых погрешностей поперечного перемещения суппорта с механизмом правки и вертикального перемещения шлифовальной головки.

Перечисленные выше параметры определяются, исходя из класса точности шлифовального станка на основании ГОСТ 8–82 [3].

Критерий (7) может быть использован при выборе оптимального радиуса ролика механизма правки при производстве деталей с трохойдным профилем методом шлифования абразивным кругом, контур которого выполнен алмазной правкой врезанием.

Проведем уточнение критерия применительно к плоскошлифовальным станкам высокого класса точности. Согласно [4] можно принять: $\varepsilon_{x0} = 0,01172$ мм; $\varepsilon_{y0} = 0,0156$ мм; $\varepsilon_0 = 1,95 \cdot 10^{-2}$ мм. Критерий (7) приводится к виду

$$\max_{\alpha \in [\pi, \pi + \pi/z]} R_{\text{инстр}} \sqrt{2 \left(1 - \frac{x'_1 x'_1 + y'_1 y'_1}{\sqrt{x'^2_1 + y'^2_1} \sqrt{x'^2 + y'^2}} \right)} < 1,95 \cdot 10^{-2} \quad (8)$$

В пакете Mathematica 5.0 на базе приведенных выше соотношений реализована программа Radius, предназначенная для расчета оптимального радиуса на основе следующих принципов:

- минимизация погрешности за счет подбора радиуса ролика в соответствии с критерием (8);
- уменьшение времени правки и снижение износа роликов за счет выбора ролика с максимально возможным радиусом.

Проведено исследование для редуктора МПЦЦ 82-G25 (рис. 2), применяемого в качестве привода машины СО-170, предназначенной для заглаживания бетонных поверхностей в промышленном и гражданском строительстве. Профиль его сателлита представляет собой трохойду с параметрами:

- радиус цевочного колеса $r = 53,5$ мм;
- эксцентриситет $e = 1,5$ мм;
- радиус цевки $r_{\text{ц}} = 4$ мм;
- количество зубьев $z = 25$;
- коэффициент укорочения $m = 0,729$.



Рис. 2. Планетарный цевочный редуктор МПЦЦ 82-G25

Из соотношения (4) получаем, что максимальный радиус инструмента составляет 2,782 мм. С помощью программы Radius на базе (8) было получено, что использование при производстве сателлита с данными параметрами ролика с радиусом 2,8 мм приводит к появлению значительных погрешностей, в то время как при $R_{\text{инстр}} = 2,7$ мм таких проблем не возникает.

Тем не менее на практике удобнее руководствоваться соотношением (4), поскольку оно позволяет получить значение радиуса правящего ролика в явном виде.

ВЫВОДЫ

1. При правке шлифовального круга необходимо использовать ролик возможно большего радиуса, но при этом его величина не должна быть больше минимального радиуса кривизны на выпуклом участке профиля зуба трохойды.

2. Получено соотношение (4) для расчета по заданным параметрам трохойды оптимального радиуса ролика механизма правки при производстве деталей с трохойдным профилем методом шлифования абразивным кругом, контур которого выполнен алмазной правкой врезанием. Кроме того, разработан критерий (8) для выбора оптимального радиуса ролика. Проведено его уточнение применительно к плоскошлифовальным станкам высокого класса точности.

3. Исследование, проведенное для сателлита ПЦР, показало, что результаты, полученные на основании обоих подходов, согласуются. Но на практике при определении оптимального радиуса ролика удобнее руководствоваться соотношением (4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Янкевич, Н. Г. Нагруженность и обеспечение работоспособности элементов трохойдной передачи: дис. ... канд. техн. наук: 01.02.06 / Н. Г. Янкевич. – Минск, 1990. – 139 с.
2. Цевочные редукторы с циклоидным зацеплением / О. В. Берестнев [и др.]. – Минск, 1988. – 45 с. – (Оперативно-информационные материалы / Ин-т проблем надежности и долговечности машин.)
3. Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность: ГОСТ 8–82. – Введ. 01.07.1983. – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1983. – 14 с.
4. Детали и механизмы металлорежущих станков: в 2 т./ Д. Н. Решетов [и др.]; под общ. ред. Д. Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1972. – Т. 1. – 664 с.

Поступила 8.08.2007