

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ К ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТРОХОИДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Н.Г. Янкевич

РУП «Приборостроительный завод «Отрон», Минск;

Е.Н. Янкевич

ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», Минск

Введение. На протяжении всей истории редукторостроения отечественные лидеры по выпуску редукторов и электроприводов производили в основном классические редукторы, построенные на базе традиционной, прежде всего эвольвентной, передачи. Однако в последние годы появились редукторы, созданные на несколько иных видах зацепления, в том числе планетарно-цевочный редуктор, у которого рабочий профиль зуба сателлита выполнен по эпитрохоиде. Идея создания редукторов данного типа появилась еще в начале прошлого века, но предпринятые тогда попытки освоения их производства оказались безуспешными, так как предложенные технологии не позволяли добиваться требуемой точности изготовления элементов цевочного зацепления. Лишь сейчас, когда все большее применение находит принципиально новое технологическое оборудование, оснащенное гибкими системами с ЧПУ, задача создания и производства этих перспективных редукторов вновь стала актуальной.

В НАН Беларуси ведется цикл работ по созданию научных основ расчета и конструирования, а также разработке инновационных технологий изготовления оригинальных деталей планетарно-цевочного редуктора. Предложена технология формообразования трохойдной поверхности сателлита методом профильного шлифования. Однако следует отметить, что формообразование трохойдных поверхностей данным методом характеризуется интенсивным теплообразованием в зоне обработки с нагревом до температур плавления обрабатываемого материала. Сочетание высоких температур и скоростей нагрева с последующим быстрым охлаждением создаст предпосылки для структурно-фазовых превращений в поверхностном слое обрабатываемого материала и, как следствие, обуславливает возможное появление дефектов шлифовочного характера -- прижогов, микротрещин, сколов и др. Исследования [1] показывали, что возникающие в процессе шлифования дефекты поверхности в десятки раз снижают контактную и циклическую прочность деталей. Поэтому при практической

реализации предложенной технологии формообразования сателлита актуальной становится задача выбора параметров и режима шлифования, позволяющих избежать появления дефектов шлифовочного характера.

Постановка задачи. Как показали исследования, проведенные для зубчатых колес [2], при формообразовании профиля за несколько проходов решающее влияние на качество и точность профилирования оказывает стабильность термодинамического воздействия, обусловленного условиями диспергирования при интенсивном трении. Для того чтобы определить параметр шлифования, управляя которым можно стабилизировать термодинамическое воздействие на заготовку в процессе формообразования, авторами было проведено экспериментальное исследование [2], корреляционный анализ результатов которого показал, что скорость подачи v_d и площадь сечения впадины S^* , а также скорость шлифовального круга $\omega_{кр}$ и S^* достаточно тесно связаны между собой. Остальные параметры шлифования являются статистически независимыми. На основании этого был сделан вывод об определяющем влиянии параметра S^* на значение скоростей рабочих движений профильного глубинного шлифования. Поэтому, чтобы стабилизировать термодинамическое воздействие на заготовку, достаточно стабилизировать параметр S_i^* , характеризующий площадь сечения материала, удаляемого из впадины за каждый проход. Этого можно достигнуть, если назначать глубину каждого прохода h_i таким образом, чтобы площадь сечения материала, удаляемая на каждом проходе оставалась постоянной. Таким образом, задача состоит в разработке методики расчета глубины каждого прохода по заданным параметрам эпитрохоиды, описывающей профиль.

Результаты. Путем преобразований на базе методов математического анализа было получено, что площадь сечения материала, удаляемого при профилировании впадины между двумя зубьями колеса с эпитрохоидным профилем, определяется соотношением

$$S^* = \frac{2\pi}{z} \cdot \left(r \cdot e - r \cdot r_{\eta} - r_{\eta} \cdot e - \frac{e^2 z}{2} \right) + \frac{4r \cdot r_{\eta} (m+1)}{z} \cdot E \left(\frac{2\sqrt{m}}{m+1} \right), \quad (1)$$

где z (количество зубьев сателлита), r (радиус цевочного колеса), e (эксцентриситет), r_{η} (радиус цевки) – параметры эпитрохоиды; m – коэффициент укорочения эпитрохоиды, вычисляемый по соотношению

$$m = \frac{e(z+1)}{r}; E(k) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \theta} d\theta - \text{полный эллиптический интеграл.}$$

На базе анализа изменения геометрии впадины при формообразовании трохойдной поверхности можно получить, что в общем случае площадь сечения материала, удаляемого на i -том проходе, определяется из соотношения

$$S_i^* = S_i - (i-1) \cdot \frac{S^*}{n}, \quad (2)$$

где $i=1 \dots n-1$;

$$S_i = \left(r - r_{\eta} - e + \sum_{j=1}^i h_j \right)^2 \cdot \arctan \left(\frac{y(\alpha_i)}{x(\alpha_i)} \right) - \int_{\alpha_i}^{\pi} (x(\alpha) \cdot y'(\alpha) - y(\alpha) \cdot x'(\alpha)) d\alpha, \quad (3)$$

угол α_i находится из уравнения

$$r \cdot e \cdot \cos(z\alpha_i) - \frac{r_{\eta}}{\sqrt{1+m^2+2m \cdot \cos(z\alpha_i)}} (r - e \cdot m + e(z+2) \cdot \cos(z\alpha_i)) = \frac{1}{2} \cdot \left[\left(r - r_{\eta} - e + \sum_{j=1}^i h_j \right)^2 - (r^2 + e^2 + r_{\eta}^2) \right] \quad (4)$$

а $x(\alpha), y(\alpha)$ — уравнения эпитрохоиды

$$x = r \cos \alpha + e \cos(z+1)\alpha - r_{\eta} \cos(\gamma + \alpha);$$

$$y = r \sin \alpha + e \sin(z+1)\alpha - r_{\eta} \sin(\gamma + \alpha),$$

в которых α — параметр; γ — угол зацепления, который определяется выражением

$$\gamma = \arctan \frac{\sin(z \cdot \alpha)}{\frac{r}{e \cdot (z+1)} + \cos(z \cdot \alpha)}.$$

Таким образом, задача расчета оптимальной (с точки зрения стабилизации термодинамического воздействия на заготовку в процессе формообразования детали с трохойдным профилем) глубины шлифования на каждом проходе решается посредством последовательных приближений по h_j до тех пор, пока соответствующая площадь S_j^* не станет равна S^*/n .

Ввиду того, что теоретическая высота зуба колеса с трохойдным профилем равна $2e$, глубина последнего прохода может быть найдена из соотношения

$$h_n = 2e - \sum_{i=1}^{n-1} h_i. \quad (5)$$

Припуск на термообработку и чистовое шлифование может быть учтен в параметре r_{η} теоретического профиля сателлита.

Данные технологии были апробированы и реализованы в технологическом комплексе (рис. 1) для финишной обработки рабочего профиля сателлита.

Вывод. Эффективный способ повышения качества поверхности зацепления при формообразовании детали с трохойдным профилем методом профильного глубинного шлифования за несколько проходов, заключается в стабилизации термодинамического воздействия на заготовку в процессе обработки. Это может быть достигнуто, если из впадины за каждый проход будет удаляться одинаковое количество материала. На базе этого построена методика расчета глубины шлифования на каждом проходе. Выполненные исследования позволили создать эффективную технологию формообразования трохойдных поверхностей, которая была реализована в технологическом комплексе для финишной обработки рабочего профиля сателлита.



Рис. 1. Профилирование сателлита планетарно-цевочного редуктора

Литература

1. Ящерицын, П.И. Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей / П.И. Ящерицын, А.К. Цокур, М.Л. Еременко. – Минск: Наука и техника, 1973. – 184 с.
2. Старков, В.К. Шлифование высокопористыми кругами / В.К. Старков – М.: Машиностроение, 2007. – 688 с.

УДК 621.91.04

СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ПАЗОВ НА ТОРЦАХ ДЕТАЛЕЙ С НЕПРЕРЫВНЫМ И ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНЫМ ПРОЦЕССОМ ДЕЛЕНИЯ

В.А. Данилов, О.В. Яловский

УО «Полоцкий государственный университет», Новополоцк

В машиностроении для обработки пазов на торцах деталей обычно применяется схема с дискретным движением деления, при которой они обрабатываются последовательно с периодическим поворотом заготовки