

П.Л. НОСКО, д.т.н., профессор каф. машиноведения СНУ им. В. Даля, г. Луганск
А.И. ПАВЛОВ, д.т.н., доц. каф. инженерной графики ХНАДУ "ХАДИ" г. Харьков
В.А. ПАВЛОВ, инж. ХНАДУ "ХАДИ",
А.В. ПЯТАЕВ, студент ХНАДУ "ХАДИ"

ПОСТРОЕНИЕ СОПРЯЖЕННЫХ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ЗУБЧАТОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ

В статті розглянуто питання побудови спряжених поверхонь в зубчастому зацепленні. Для цього записані формули, які дозволяють якнайпростішим методом визначити лінію зацеплення або функцію бокової поверхні зубця зубчастого колеса.

The question of building of congruence spaces in gearing is considered in this article. For that the formulas, which allow to define line of action or function of work space of tooth for gear easy method, are written.

Постановка задачи. Обязательным условием плавности работы зубчатого зацепления есть сопряженность рабочих поверхностей, т.е. совпадение нормалей в точках контакта. В монографии [1] приводится матричный способ построения сопряженных поверхностей, который лишен наглядности самого построения. Построение по Х.И. Гохману слишком громоздко.

Цель работы – дать метод построения сопряженных поверхностей, облегчающий работу проектантов.

Основная часть работы. Исходя из того, зубчатое зацепление может быть задано тремя способами, рассмотрим такие варианты:

1. Построение профиля зуба инструмента по заданной линии зацепления.
2. Построение линии зацепления по заданной рабочей поверхности зуба зубчатого колеса.
3. Проверка сопряженности рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес, имеющих общую линию зацепления.

На основании основного уравнения зацепления линия зацепления находится из решения уравнения

$$z(x) = \frac{x}{y'}, \quad (1)$$

где x – аргумент, y' – производная функции, описывающей профиль зуба инструмента. Для эвольвентного зацепления $y' = \operatorname{tg} \alpha$, где α – угол зацепления, тогда и линия зацепления $z = x \operatorname{ctg} \alpha$, т.е. прямая линия.

Для зацепления М.Л.Новикова (ГОСТ 15023-70) исходный контур (профиль зуба инструмента) задается дугами окружности. Если центр этой окружности расположен на начальной плоскости (делительной окружности) и

окружность описывается уравнением $(y-r)^2 + x^2 = r^2$, то производная

$$y' = \frac{x}{\sqrt{r^2 - x^2}} \quad (2)$$

и тогда условная линия зацепления описывается уравнением $z(x) = \sqrt{r^2 - x^2}$.

Профиль зуба инструмента находится из решения дифференциального уравнения зацепления [2]

$$y'' = \frac{y'(1+y'^2)}{ky' + x}, \quad (3)$$

где k – коэффициент разновидности.

Для решения обратной задачи (нахождение контура зуба инструмента по линии зацепления) придется решать дифференциальное уравнение

$$y' = \frac{x}{z(x)}, \quad \text{или} \quad y = \int \frac{x dx}{z(x)}.$$

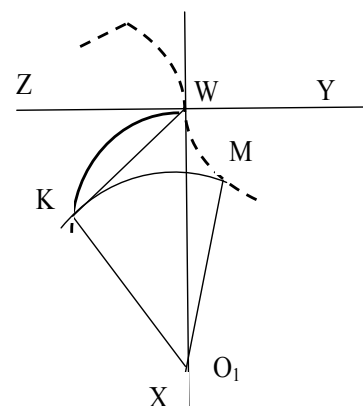


Рисунок 1 – К нахождению линии зацепления KW по заданному профилю зуба

Более сложной задачей является определение линии зацепления по заданной рабочей поверхности зуба зубчатого колеса точками $M(x_M, y_M)$ (рисунок 1). Нахождение точки контакта $K(x_K, y_K)$ на линии зацепления осуществим путем отыскания точки пересечения дуги \overline{KM} радиуса $R = \sqrt{y_M^2 + (r - x_M^2)}$ с искомой линией зацепления. Положение точки определяется профильной нормалью KW :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x_K}{y_K}, \quad \text{откуда} \quad R = \sqrt{z_K^2 + (r - x_K)^2}.$$

Приравнявая значения O_1M и O_1K , имеем

$$y_M^2 + (r - x_M^2) = z_K^2 + (r - x_K)^2,$$

или

$$x_K^2 \operatorname{csc} \alpha - 2rx_K + r^2 = R^2 = 0.$$

Отыскание координат (x_K, z_K) производится методом последовательных приближений. Задаемся $\alpha = \alpha_w + \Delta\alpha$, вычисляем соответствующие x_K, z_K , а

по ним определяем $\alpha_1 = \arctg \frac{x_K}{z_K}$. Задаваясь новым значением

$\Delta\alpha_1 = \frac{\alpha_1 - \alpha_w}{2}$, вычисляем новые значения x_K, z_K . Операцию повторяем до тех пор, пока $\Delta\alpha_1$ не станет меньше наперед заданной величины.

Проверка сопряжения двух поверхностей осуществляется в два этапа. На первом находятся контактирующие точки с общими координатами на линии зацепления. На втором этапе определяются текущие углы зацепления. Если эти углы будут равными между собой, то сопряжение рабочих поверхностей соблюдается. Сопряжение достаточно проверить в нескольких точках на линии зацепления.

Что касается зацепления М.Л. Новикова, то это точечное зацепление требует сопряжения только в точках контакта (одна для заполненного варианта и две для дозаполненного).

Если профиль зуба инструмента для нарезания одного колеса задан в виде дуги окружности (рисунок 2)

$$x^2 + (y - r)^2 = r^2, \quad (4)$$

то условная линия зацепления, проходящая через полюс передачи,

$$(x - r/2)^2 + z^2 = (r/2)^2. \quad (5)$$

Если же профиль зуба инструмента задан смещенной дугой окружности (рисунок 2)

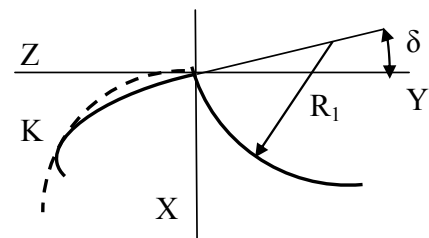


Рисунок 2 – Условная линия зацепления кругового контура со смещением и контактирование в зацеплении Новикова

$$(x - R\cos\delta)^2 + (y + R\sin\delta)^2 = R^2 \quad (6)$$

то условная линия зацепления

$$z = \frac{x\sqrt{R_1^2 - (x + R_1 \sin \delta)^2}}{x + R_1 \sin \delta}. \quad (7)$$

Выводы. Выше приведенные формулы и рекомендации позволяют построить сопряженные рабочие поверхности в зубчатом зацеплении и проверить их точность.

Список литературы. 1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. – М.: Наука, 1968. – 584с. 2. Павлов А.И. Современная теория зубчатых зацеплений. – Харьков: ХНАДУ, 2005. – 100с.

Поступила в редколлегию 20.04.10

С.І. ПАСТЕРНАК, аспірант ІМВ ШУ, м. Штутгарт, Німеччина
Ю.М. ДАНИЛЬЧЕНКО, д.т.н., проф., зав. каф. ПМ НТУУ "КПІ", м. Київ
М.Г. СТОРЧАК, д.т.н., н.с. ІМВ ШУ
А.В. КРИВОШЕЯ, к.т.н., с.н.с. ІНМ НАНУ, Київ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТУРНОЇ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ДИСКОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

На базе чотирьохкоординатного оброблюючого центра Hermle мод. UFW 1202 H з використанням раніше розробленої кінематичної схеми формоутворення проведено експериментальне дослідження процесу контурної обробки циліндричних зубчастих коліс диском інструментом. Визначено величини складових сил різання та характер їх зміни в час обробки евольвентного зубчатого колеса. Визначено та апробовано один з можливих шляхів оптимізації процесу обробки.

By using of the earlier designed kinematic scheme of shape forming on the base of 4-axis machining center Hermle UFW 1202 H an experimental research of spur gears' contour machining with disk-shaped tools was developed. Values of the cutting force components and their behavior by machining of evolvent teeth were defined. One of the possible ways for the cutting process' optimization was determined and tested.

Сучасні металорізальні верстати характеризуються високою ступінню рухомості виконавчих органів, що в поєднанні з високою точністю відпрацювання траєкторій їх рухів дозволяє здійснювати контурну обробку складнопрофільних деталей із застосуванням інструментів простої форми. Саме до таких деталей належать зубчасті колеса, але їх обробка зазвичай здійснюється за методом обкату на спеціально призначених для цього універсальних зубообробних верстатах із застосуванням інструментів складної форми. Це стосується лише зубчастих коліс із евольвентним профілем зубів. Виготовлення зубчастих коліс із профілем зубів, відмінним від евольвентного (циклоїдальним, синусоїдальним, профілем Новикова тощо), потребує застосування спеціального інструменту.

Застосування методу контурної обробки при виготовленні зубчастих коліс має ряд переваг, які насамперед полягають у підвищенні гнучкості самого процесу обробки та можливості його інтенсифікації за рахунок використання сучасних інструментальних матеріалів (мінералокераміки, полікристалічних надтвердих матеріалів), що робить дослідження в цьому напрямку актуальними.

Принципова можливість контурної обробки зубчастих коліс, як різновиду деталей з фасонним, періодично повторюваним профілем, не викликає сумніву, але способи реалізації такої обробки можуть бути різними [1]. На сучасних фрезерних верстатах така обробка здійснюється із використанням кінцевих фрез [2], але її точність і продуктивність у значній мірі визначається жорсткістю, яка залежить від діаметру цих фрез, що обмежений шириною