

МОДИФИКАЦИЯ ПРОФИЛЕЙ ЗУБЬЕВ В ЦИЛИНДРО-КОНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕ ВНУТРЕННЕГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ

Е.А. Полуэктов, С.Д. Лопатин

Цилиндро-конической передачей (ЦКП) называется передача, у которой одно из колес по форме заготовки коническое, а другое цилиндрическое. Передачи могут передавать вращение на пересекающихся, скрещивающихся и параллельных осях. Компоновочные возможности ЦКП позволяют получать оригинальные конструкции зубчатых механизмов, обладающих рядом преимуществ по сравнению с другими зубчатыми механизмами.

Так, в частности, на кафедре «Техническая механика» разработаны оригинальные конструкции планетарных редукторов с ЦКП внутреннего зацепления. Достоинства конструкции (высокая нагруженная способность, значительный ресурс работы, возможность выбора люфтов в зацеплениях, широкий диапазон передаточных чисел) предопределили использование данных редукторов в приводах космической техники вместо волновых передач.

Однако, широкое применение подобных конструкций ограничено особенностью изготовления конических колес. Теоретически точный профиль зубьев шестерни может быть получен, когда в качестве исходного звена используется долбяк с внутренними зубьями и числом зубьев, равном числу зубьев передачи (рис. 1, а). Практически реализовать этот способ сложно из-за трудности изготовления долбяков с внутренними зубьями.

На кафедре «Техническая механика» предложен способ формирования профилей зубьев с помощью инструмента реечного типа (червячная фреза, круг, рис. 1, б) путем перемещения его по криволинейной траектории относительного оси нарезаемого колеса [1]. Как показали исследования, подбирая соответствующую траекторию перемещения инструмента, можно получить профиль, близкий к теоретическому и обеспечить таким образом линейный контакт зубьев [2].

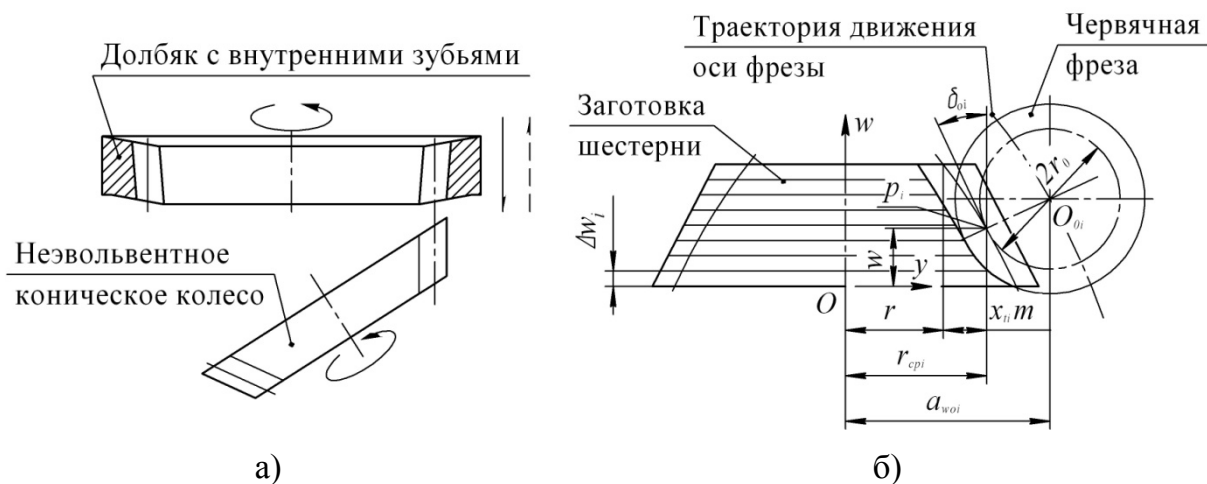


Рис. 1. Формообразование профилей зубьев конической шестерни:
 а – долбяком с внутренними зубьями; б – червячной фрезой

В реальных условиях эксплуатации вследствие деформации элементов редуктора и погрешности изготовления в зацеплении может возникнуть кромочный контакт. Поэтому целесообразно перейти от линейного к локализованному контакту.

Целью работы являлось исследование возможных способов локализации контакта в ЦКП внутреннего зацепления. Исследование было проведено на примере одного из зацеплений редуктора разворота солнечных батарей РПНС-200. Было рассмотрено зацепление со следующими параметрами: модуль $m = 2$, число зубьев колеса $z_2 = 46$ и коэффициент смещения $x_2 = 1,45$, число зубьев конической шестерни $z_1 = 40$.

На первом этапе исследования был рассмотрен традиционный способ локализации, описанный для ЦКП внешнего зацепления в работах Ф.Л. Литвина [3]. При этом способе число зубьев колеса передачи z_2 нужно выбирать больше (на 1–5 зубьев), чем число зубьев производящего колеса z_0 , обеспечив при этом условие сопряженного зацепления этих колес в виде [4]

$$\operatorname{tg} \alpha_{a,p2} = (\operatorname{tg} \alpha_{a,p0} - \operatorname{tg} \alpha_{tw02}) z_0 / z_2 + \operatorname{tg} \alpha_{tw02}, \quad (1)$$

где $\alpha_{a,p0}$ и $\alpha_{a,p2}$ – углы профиля зубьев производящего колеса и колеса передачи в верхних и нижних точках их активных поверхностей соответственно; α_{tw02} – угол зацепления, определяющий положение плоской поверхности зацепления (рис. 2).

При этом линейчатая поверхность зацепления шестерни и производящего колеса Π_{10} пересекается с плоскостью зацепления Π_{02} по линии зацепления n_{12} , а с поверхностью зацепления шестерни и колеса передачи – по некоторой прямой $n_{1(02)}$ (см. рис. 2)

Угол зацепления передачи α_{tw12} равен углу зацепления α_{tw02} .

Здесь и в дальнейшем индекс 0 присваивается производящему колесу, индекс 1 – шестерне, а индекс 2 – колесу передачи.

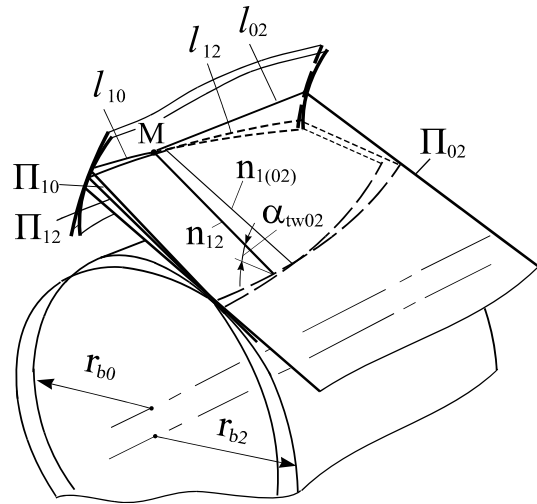


Рис. 2. Поверхности зацеплений и линии контакта: Π_{10} и l_{10} – шестерни и производящего колеса; Π_{12} и l_{12} – шестерни и колеса передачи; Π_{02} и l_{02} – производящего колеса и колеса передачи; $n_{1(02)}$ – линия пересечения поверхностей зацепления Π_{10} и Π_{12}

Межосевое расстояние в воображаемом внутреннем зацеплении колеса передачи и производящего колеса находится по формуле

$$a_{w02} = r_{b2} (z_2 - z_0) / z_2 \cos \alpha_{tw02}, \quad (2)$$

где r_{b2} – радиус основной окружности колеса передачи.

С помощью имеющейся на кафедре программы была рассчитана геометрия профилей зубьев конической шестерни при $z_0 = 45$ и $z_0 = z_2 = 46$. Сравнение результатов расчета позволило построить инерционную зону касания зубьев (для суммарной величины сминаемого слоя $\delta = 0,006\sqrt{m} = 8,5$ мкм).

Из рис. 3 следует, что инерционная зона составляет 55 % общей площади рабочей поверхности зуба при $z_2 - z_0 = 46 - 45 = 1$.

Дальнейшее увеличение разности между z_2 и z_0 не позволило получить работоспособную передачу вследствие ограничений по интерференции зубьев на входе в зацепление.

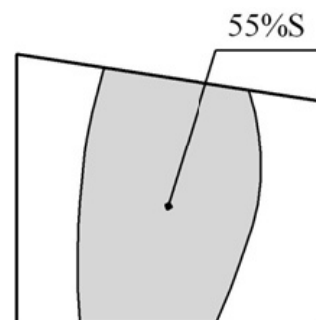


Рис. 3. Инерционная зона касания зуба шестерни при локализованном контакте в передаче при числе зубьев производящего колеса $z_0 = 45$

На втором этапе исследования был рассмотрен способ локализации контакта за счет корректировки коэффициентов смещения инструмента по краям шестерни при формировании профилей зубьев шестерни инструментом реечного типа (продольная модификация). По специальной программе были рассчитаны профили зубьев шестерни для 5 сечений с модификацией по краям равной $(0,02; 0,04; 0,06) X$.

Влияние модификации на площадь инерционной зоны представлено на рис. 4.

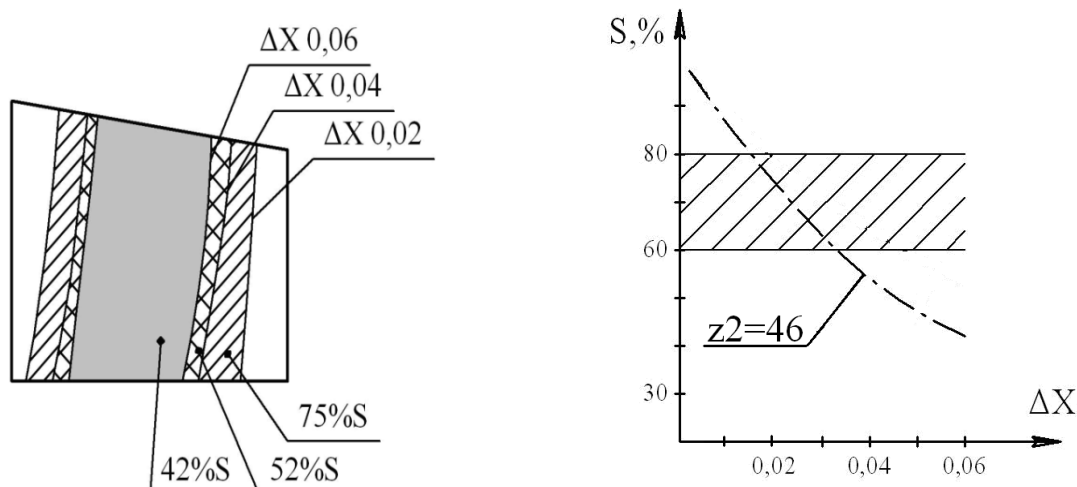


Рис. 4. Влияние модификации на площадь инерционной зоны касания зубьев

Выводы

Сравнение инерционных зон по 1 и 2 способу локализации показывает, что возможности регулирования размеров пятна контакта в ЦКП внутреннего зацепления при продольной модификации значительно выше и позволяет практически реализовать любую требуемую степень локализации контакта от резко точечного до линейного.

Библиографический список

1. Пат. 2364480 С1 Российская Федерация, МПК В 23 F 5/24. Способ нарезания зубьев неэвольвентной шестерни цилиндро-конической передачи внутреннего зацепления / Б.А. Лопатин, Е.А. Полуэктов, Д.Б. Лопатин, Р.И. Зайнетдинов, В.М. Рублев. – № 2008117944; заявл. 04.05.0; опубл. 20.08.09, Бюл. № 23. – 2 с.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009616002 от 29.10.2009. Программный комплекс расчета и анализа геометрии зацеплений цилиндрико-конических зубчатых передач / Б.А. Лопатин, С.А. Хаустов, Е.А. Полуэктов, С.Р. Бурназян, Р.И. Зайнетдинов. – № 2009614819; заявл. 04.09.2009; зарегистрировано 29.1.2009.
3. Литвин, Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л. Литвин. – М.: Наука, 1968. – 584 с.
4. Лопатин, Б.А. Цилиндрико-конические зубчатые передачи: моногр. / Б.А. Лопатин, О.Н. Цуканов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 200 с.