УДК 253.07

А.С.ФОКИН, А.А.ПОДДУБНАЯ, С.Л.ИВАНОВ, Э.А.КРЕМЧЕЕВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

ОБЛАСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЭВОЛЬВЕНТНОГО ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С ЗАДАННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПЕРЕКРЫТИЯ

Применение комбинированного смещения при проектировании зубчатых передач позволяет значительно расширить область существования зацепления с нестандартным радиальным зазором. Представлено влияние параметров реечного производящего контура на область существования зацепления. Дано сравнение 3D области существования зацепления с различными числами зубьев.

It is shown, that application of the combined displacement while designing toothed gearings considerably allows to expand area of existence of gearing with a non-standard radial backlash. Influence of parameters of the tool on area of existence of gearing is submitted, the technology of realization of tangential displacement by generation of gears is described.

Проектирование зубчатых передач с комбинированным смещением при заданном коэффициенте перекрытия и использовании нестандартного радиального зазора в зацеплении позволяет значительно расширить область существования передачи. При этом представляется возможным вписать зубчатое зацепление в заданное межосевое расстояние, не ухудшая качественных показателей зацепления без изменения модуля и числа зубьев [2].

Применение положительного тангенциального смещения ведет к повышению изгибной прочности, а его детерминированное изменение совместно с радиальным смещением позволяет сохранить межосевое расстояние неизменным. Реализовать положительное тангенциальное смещение возможно применением инструмента с неравноделенным шагом, при утонении зуба производящей рейки на величину, равную произведению величины тангенциального смещения на модуль зубьев. При применении отрицательного тангенциального смещения при прочих равных условиях зуб утоняется. Реализация такого смещения возможна стандартным инструментом за счет дополнительного прохода при дополнительном тангенциальном смещении инструмента относительно заготовки на величину $-x_\tau m$ в тело зуба.

При проектировании зубчатой передачи мало провести расчет по заданным параметрам, сначала необходимо убедиться в выполнении условий существования зацепления и его работоспособности. Запроектированное зацепление не должно быть в опасной близости к границе заострения, опасного подрезания зуба или интерференции.

Получить более полную информацию о зубчатом зацеплении, определить тенденции изменения параметров зацепления позволяет использование блокирующих контуров [5]. Стандартные блокирующие контуры не позволяют проектировать зацепление с нестандартным радиальным зазором и учитывать тангенциальное смещение.

На рис.1 представлен блокирующий контур зацепления с числом зубьев 10/40 с заданным коэффициентом перекрытия $\varepsilon_\alpha = 1{,}0$ для возможных радиальных зазоров в зацеплении C_{p1} между головкой колеса и впадиной шестерни и C_{p2} между головкой шестерни и впадиной колеса при $x_\tau = 0$ [4].

Жирной линией на рис.1 ограничен блокирующий контур для стандартного ра-

диального зазора $C_{p1} = 0{,}25m$. Область существования такого зацепления будет ограничиваться линией 1 стандартного блокирующего контура. Зацепления с большим коэффициентом перекрытия будут располагаться на аналогичной линии, но находящейся внутри блокирующего контура.

Область существования зацепления с заданным коэффициентом перекрытия при различных радиальных зазорах, полученных за счет изменения диаметра вершин шестерни, определяются границами интерференции: с переходной поверхностью колеса – линия 3, вершин шестерни при нулевом радиальном зазоре – линия 8, с переходной поверхностью шестерни – линия 2; границей заострения зубьев шестерни – линия 5 и границей опасного подрезания зубьев шестерни – линия 1. Область существования зацепления при изменении радиального зазора представляет собой ломаную изолинию [1, 3].

Изменение радиального зазора в зацеплении за счет изменения диаметров вершин колеса также вызывает изменение конфигурации блокирующего контура. Отличие расположения изолинии при равном изменении радиальных зазоров в зацеплении при заданном коэффициенте перекрытия от обычного на рис.1 показано изолиниями 6 (за счет изменения параметров шестерни) и 4 (для колеса).

С целью определения области существования зубчатого зацепления с учетом тангенциального смещения были разработаны алгоритм и программа, позволяющие построить блокирующий контур зацепления с заданным коэффициентом перекрытия в осях радиального смещения колеса и шестерни, с учетом величины тангенциального смещения и в диапазоне возможных радиальных зазоров в зацеплении. При расчете блокирующего контура в алгоритме автоматизированного построения области существования зацепления с заданным коэффициентом перекрытия имеется возможность перераспределения изменения высоты зуба между колесом и шестерней, что позволяет сместить область заострения зубьев колеса и шестерни за пределы области существования зубчатого зацепления.

На рис.2 представлен результат расчета блокирующего контура зубчатого зацепле-

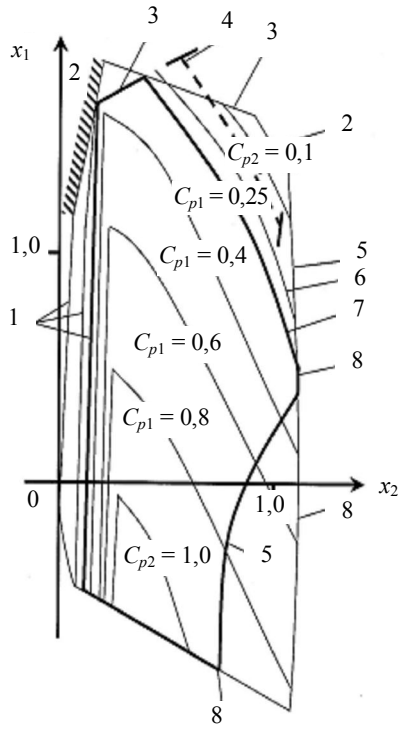

Рис.1 Блокирующий контур с переменным радиальным зазором

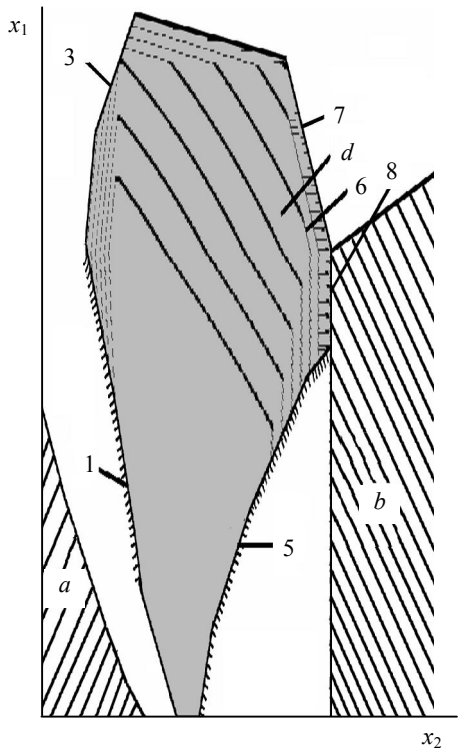

Рис.2 Область существования зацепления $z_1/z_2 = 10/40$

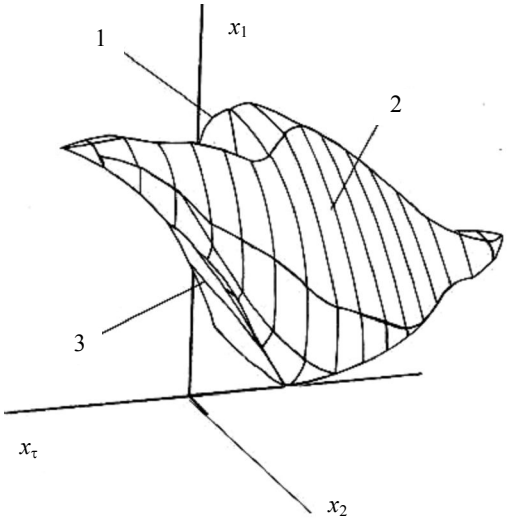

Рис.3. 3D область существования зацепления $z_1/z_2 = 10/10$

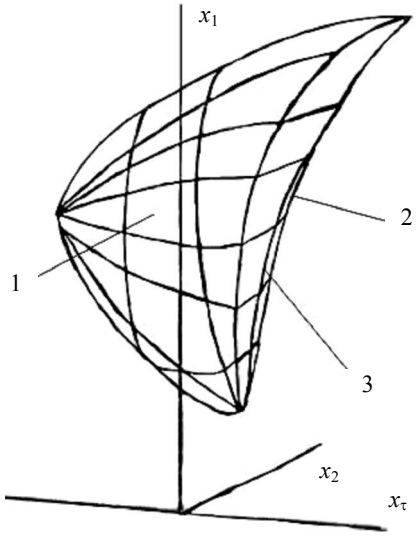

Рис.4. 3D область существования зацепления $z_1/z_2 = 10/40$

ния $z_1/z_2 = 10/40$ с тангенциальным смещением, равным нулю, в диапазоне возможных изменений радиальных зазоров с коэффициентом перекрытия, равным единице.

Области *a* и *b* соответствуют зубчатым передачам, которые не могут существовать по причине заострения зуба колеса s_{a1} и s_{a2},

$$s_a = \frac{d_a\left(0{,}5\pi + 2x\,\mathrm{tg}\alpha + x_\tau + z\,\mathrm{inv}\alpha_t - z\,\mathrm{inv}\alpha_a\right)\cos\beta_a}{z},$$

где α – угол профиля зуба производящего реечного контура; α_a – угол профиля в точке на окружности вершин; β_a – угол наклона линии зуба на окружности вершин; α_t – угол торцового профиля плоского колеса.

Область *c* соответствует работоспособным зубчатым передачам с коэффициентом перекрытия меньше единицы,

$$\varepsilon_\alpha = \frac{0{,}5}{\pi}\left[(z_1 + z_2)\,\mathrm{tg}\,\alpha_t - 2\left(z_1\frac{\rho_{p1}}{d_{b1}} + z_2\frac{\rho_{p2}}{d_{b2}}\right)\right],$$

где ρ_{p1}, ρ_{p2} – радиус кривизны активного профиля в нижней точке.

Область *d* – это область существования зубчатого зацепления с коэффициентом перекрытия, равным единице.

Для оценки влияния величины тангенциального смещения на область существования зубчатого зацепления в диапазоне возможных радиальных зазоров в зацеплении лучше перейти от плоского блокирующего контура в осях x_1 и x_2 к трехмерному блокирующему контуру в осях x_1, x_2 и x_τ. Для этого был рассчитан ряд блокирующих контуров в осях x_1, x_2 в диапазоне возможных радиальных и тангенциальных смещений, полученные сечения объемных тел, описывающих область существования зубчатого зацепления в осях x_1, x_2, x_τ в программе $3D_{max}$, были объединены в трехмерные области существования зубчатого зацепления.

Трехмерные область существования зубчатых зацеплений $z_1/z_2 = 10/10$ и $z_1/z_2 = 10/40$ в осях x_1, x_2, x_τ при коэффициенте перекрытия, равном единице, и переменном радиальном зазоре представлены на рис.3 и рис.4 соответственно. Различная ориентация осей на рис.3, 4 обусловлена обеспечением максимальной наглядности изображения 3D-контуров.

Поверхность 1 – это граница опасного подрезания зуба шестерни, на рис.1 показана линией 1. Поверхность 2 – это граница интерференции, на рис.1 ей соответствуют линии 2, 3, 6, 8. Поверхность 3 – это граница заострения зуба, на рис.1 этой поверхности соответствует линия 5.

Разработанный алгоритм и программа расчета на ЭВМ позволяет оценить прямозубое или косозубое зубчатое зацепление с

зубчатыми колесами нарезаемыми как стандартным так и нестандартным инструментом одновременно по изменяемым параметрам x_1, x_2, $x_{\tau 1}$, $x_{\tau 2}$, C_{p1}, C_{p2} при заданном коэффициенте перекрытия, что значительно упрощает предварительный выбор параметров передачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубчатые передачи: Справочник / Под ред. Е.Г.Гинзбурга. Л: Машиностроение, 1980.

2. *Иванов И.П.* Зубчатые передачи с комбинированным смещением: Основы теории и расчетов. Л.: Издво ЛГУ, 1989.

3. *Иванов С.Л.* Область существования зацепления цилиндрических зубчатых колес с заданным коэффициентом перекрытия // Записки Горного института. СПб, 1993. Т.138.

4. Особенности проектирования зубчатых передач с комбинированным смещением / С.Л.Иванов, Н.В.Кузнецова, А.А.Поддубная, А.С.Фокин // Записки Горного института. СПб, 2004. Т.157.

5. Справочник по геометрическому расчету эвольвентных зубчатых и червячных передач / Под ред. И.А.Болотовского. М.: Машиностроение, 1986.