

СИНТЕЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ ЗУБЬЕВ ТЯЖЕЛОАГРУЖЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ МУФТ

А.Н. Михайлов, И.А. Горобец, Р.М. Грубка
Донецкий национальный технический университет

У статті виконаний аналіз особливостей роботи зубчастих муфт. Представлено основи синтезу просторової геометрії зубів важконавантажених зубчастих муфт. Розроблено рівняння просторової геометрії бічної поверхні зубів. Показано особливості і характеристики просторової геометрії зубчастих муфт.

С развитием научно-технического прогресса возникает необходимость создания высокоэффективных машин и механизмов с качественно новыми свойствами и возможностями. Это вызывает потребность в разработке новой элементной базы этих машин с нетрадиционной совокупностью свойств и мерой полезности. К такой элементарной базе относятся пространственные зубчатые зацепления, имеющие различные параметры и свойства. Особый интерес для науки и практики представляют внутренние пространственные зубчатые зацепления с равным числом внутренних и наружных зубьев работающих в условиях пересечения осей валов. К таким внутренним пространственным зацеплениям можно отнести зубчатые муфты, которые широко используются в промышленности для обеспечения связи между агрегатами, позволяющие компенсировать небольшие перекосы осей валов до $\omega \leq 1,5^{\circ}$. Ограничения по углу перекоса осей валов для зубчатых муфт является сдерживающим фактором их более широкого применения для пространственных зубчатых зацеплений с более высокими углами перекосов осей валов. Это связано с отсутствием необходимой пространственной геометрии зубьев для внутренних пространственных зацеплений с равным числом внутренних и наружных зубьев и предназначенных для работы их в условиях повышенных перекосов осей валов. Поэтому в данной работе предлагаются основы создания геометрии внутренних пространственных зацеплений с равным числом внутренних и наружных зубьев, предназначенных для работы в условиях пересечения осей валов до 15° .

Анализ относительных движений осей втулки и обоймы показал, что точка a , лежащая на продольной оси втулки, описывает окружность, проходящую через точки $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$, являющимися особыми

положениями зубьев в относительных движениях. При этом поверхность 2 (рис.1) описывается выражением:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= z_1 \cos \psi \sin \omega, \\ y_2 &= z_1 \sin \psi \sin \omega, \\ z_2 &= z_1 \cos \omega. \end{aligned} \right\}$$

Можно заметить, что точки a или c , лежащие на осях y_2 или x_2 , связанные зубьями втулки, описывают сложные пространственные кривые, проходящие через точки $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8$ или $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8$, траектории которых подобны восьмеркам накрученных на шар. При этом

поверхности 3 и 4 (рис.1) могут быть описаны следующими выражениями:

- для поверхности 3

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= -y_1 \sin 2\psi \sin^2 \frac{\omega}{2}, \\ y_2 &= y_1 (1 - 2 \sin^2 \psi \sin^2 \frac{\omega}{2}), \\ z_2 &= -y_1 \sin \psi \sin \omega; \end{aligned} \right\}$$

- для поверхности 4

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_1 (1 - 2 \cos^2 \psi \sin^2 \frac{\omega}{2}), \\ y_2 &= -x_1 \sin 2\psi \sin^2 \frac{\omega}{2}, \\ z_2 &= -x_1 \cos \psi \sin \omega. \end{aligned} \right\}$$

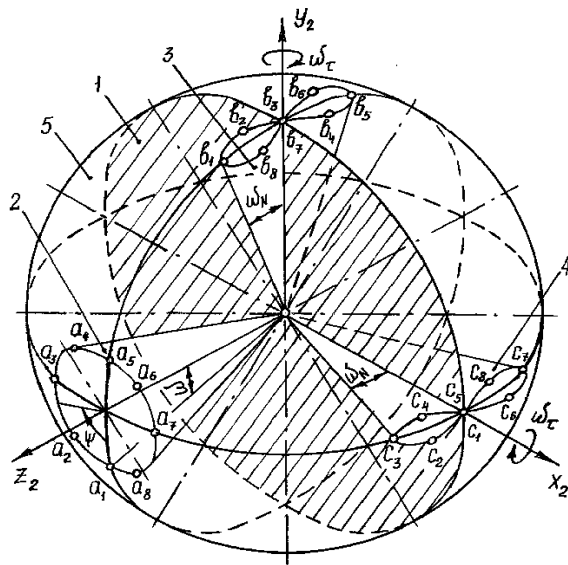


Рис. 1. Особенности относительных движений элементов внутреннего пространственного зацепления при наличии перекоса осей

обоймы приблизительно до $1,5^\circ$.

Можно заметить, что внутренние пространственные зацепления имеют большие потенциальные возможности, которые в настоящее время не в полной мере используются в направлении выравнивания нагрузки в зацеплении, исключения кромочных контактов зубьев и увеличения угла смещения осей втулки относительно обоймы. Поэтому в данной работе ставятся следующие актуальные задачи развития внутренних пространственных зацеплений: выравнивания нагрузки между зубьями в зацеплении и увеличения числа зубьев, передающих нагрузку; обеспечения линейного контакта зубьев; расширение возможностей зацепления за счет увеличения угла между осями валов втулки и обоймы до 15° с одновременным повышением величины передаваемых крутящих моментов.

В работе эти задачи предусмотрено решить за счет создания новой пространственной геометрии зубьев зубчатой втулки, взаимодействующей с зубьями обоймы в условиях перекосов осей валов. При этом получение сопряженных поверхностей зубьев предложено выполнить с учетом двух положений второго способа Оливье [1, 2].

Вывод уравнения пространственной геометрии втулки произведем, рассматривая только относительные формообразующие движения зубьев изделия и инструмента. Систему координат x_1, y_1, z_1 , связанную с инструментом 1 (рис.1), считаем неподвижной, а систему координат x_2, y_2, z_2 , связанную с зубчатой втулкой (изделием) 2, - подвижной в относительных формообразующих движениях. Относительно неподвижной системы будем задавать положения подвижной системы координат. Для того чтобы при обработке относительные движения изделия и инструмента полностью совпадали с относительными движениями элементов внутреннего пространственного зацепления при эксплуатации, необходимо, чтобы выполнялась следующая зависимость:

$$i = \frac{d\psi_1}{d\psi_2} = \frac{\dot{\psi}_1}{\dot{\psi}_2} = 1, \quad (1)$$

где i – передаточное отношение внутреннего пространственного зацепления;

$d\psi_1$ и $d\psi_2$ - приращение углов поворота продольных осей инструмента и изделия;

$\dot{\psi}_1$ и $\dot{\psi}_2$ - угловая скорость вращения инструмента и изделия вокруг своих продольных осей.

В координатной записи уравнение эвольвентного профиля инструмента имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= r_b [\sin(\varphi - \varphi_c) - \varphi \cos(\varphi - \varphi_c)]; \\ y_1 &= r_b [\cos(\varphi - \varphi_c) + \varphi \sin(\varphi - \varphi_c)]; \\ z_1 &= r_b \operatorname{tg} v. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где r_b – радиус основного цилиндра инструмента;

φ - параметрический угол эвольвенты;

v – параметрический угол точки в продольном сечении.

Вывод уравнений пространственной геометрии зубьев втулки произведем на основе кинематического метода исследования пространственных зацеплений, приведенного в работе [2]. Учитывая изложенные выше соображения, выражение (1) и основные положения кинематического метода [2], уравнения контактных линий в системе инструмента с эвольвентным профилем зубьев после соответствующих преобразований будут иметь следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= r_b [\sin(\varphi - \varphi_c) - \varphi \cos(\varphi - \varphi_c)] \\ y_1 &= r_b [\cos(\varphi - \varphi_c) + \varphi \sin(\varphi - \varphi_c)] \\ z_1 &= \frac{r_b \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}}{\sin(\psi + \varphi - \varphi_c)}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

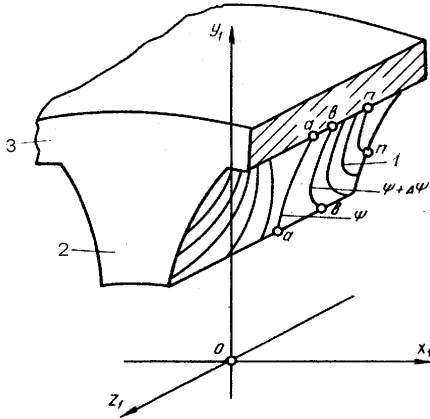


Рис. 2. Контактные линии на боковой поверхности зуба инструмента (обоймы) внутреннего пространственного зацепления

Уравнения системы (3) позволяют найти положения линий контакта зубьев на профиле зуба инструмента (обоймы) в зависимости от угла поворота зацепления ψ при вращении. На рис. 2 изображены линии контакта 1 на боковой поверхности зуба 2 инструмента (обоймы) 3 при взаимодействии с зубом втулки при повороте пространственного зацепления. Линии контакта на зубе обоймы представляют собой плавные кривые с изменяющимися геометрическими параметрами по высоте и ширине зуба. При повороте внутреннего пространственного зацепления на угол ψ линия контакта 1 занимает положение $a-a$ (рис. 2), при другом фиксированном положении зацепления $\psi + \Delta\psi$ линия контакта занимает положение $b-b$ и так

далее до положения $n-n$. При нагружении внутреннего пространственного зацепления линии контакта превращаются в поверхность соприкосновения (под действием деформаций) с увеличенной площадью пятна контакта.

Если уравнения (3) записать в системе координат x_2, y_2, z_2 , получим параметрические уравнения профиля как совокупности контактных линий в системе x_2, y_2, z_2 , которые будут иметь следующий вид [3]:

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= x_1 + 2A_1 r_b \cos \psi \sin^2 \frac{\omega}{2}, \\ y_2 &= y_1 + 2A_1 r_b \sin \psi \sin^2 \frac{\omega}{2}, \\ z_2 &= A_2 - (x_1 \cos \psi + y_1 \sin \psi) \sin \omega. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Здесь:

$$\begin{aligned} A_1 &= \cos(\psi + \varphi - \varphi_c) [\operatorname{ctg}(\psi + \varphi - \varphi_c) + \varphi], \\ A_2 &= \frac{r_b \cos \omega \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}}{\sin(\psi + \varphi - \varphi_c)}. \end{aligned}$$

Разработанная новая пространственная геометрия зубьев втулки может быть изготовлена методом обкатки или копирования на зубообрабатывающих станках с применением специальных приспособлений, обеспечивающих идентичность относительных движений элементов муфты при обработке с эксплуатационными [1, 4, 5, 6, 7, 8].

Таким образом, разработанные основы синтеза пространственных зацеплений обеспечивают возможность создания внутренних пространственных зацеплений с передаточным отношением равным единице с качественно новыми свойствами и возможностями, позволяющие при наличии перекосов осей валов элементов зацепления равномерно распределить и выравнять нагрузку в зацеплении и обеспечить линейный контакт зубьев. Это значительно повышает надежность и долговечность тяжело нагруженных внутренних пространственных зацеплений.

Литература

1. Михайлов А.Н. Разработка методов повышения несущей и компенсирующей способности зубчатых муфт: Дис. ...канд. техн. наук.- Донецк: ДПИ, 1985.- 259 с.
2. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений.- М.: Наука, 1968.- 584 с.
3. А.с. 1425374 (СССР), МКИ F16D 3/18. Зубчатая муфта / А.Н. Михайлов.- Оpubл. в БИ №35,1988.- 5 с.
4. А.с. 1291312 (СССР), МКИ В23F 9/00. Способ обработки бочкообразных зубьев // А.Н. Михайлов, В.А. Финиченко, А.В. Лукичев и др.- Оpubл. в БИ №7, 1987.-3с.
5. А.с. 1511025 (СССР), МКИ В23F 19/00. Способ отделочной обработки зубчатых элементов муфты с пространственно-модифицированными зубьями // А.Н. Михайлов, Б.М. Махмутов, Г.А.Свечников.- Оpubл. в БИ №36, 1986.-6с.
6. А.с. 1613257 (СССР), МКИ В23F 19/00. Способ отделочной обработки зубчатых элементов муфты с пространственно-модифицированными зубьями // А.Н. Михайлов, В.А. Финиченко, Т.Е. Михайлова и др.- Оpubл. в БИ №46, 1990.-8с.
7. А.с. 1333486 (СССР), МКИ В23F 19/00. Способ обработки зубчатых колес с бочкообразным зубом и устройство для его осуществления // В.А. Финиченко, В.И.Ажажа, А.Н. Михайлов, и др.- Оpubл. в БИ №32, 1987.-4с.
8. А.с. 1495030 (СССР), МКИ В23F 19/00. Способ обработки зубчатых изделий с бочкообразным зубом и устройство для его осуществления // А.Н. Михайлов, Т.Е. Михайлова, В.А. Финиченко.- Оpubл. в БИ №27, 1989.-4с.

Поступила в редакцию 11 января 2004 года