

Для дослідження впливу анізотропії проведені розрахунки температури в тонкій пластинці при $k_1 h^2 = k_2 h^2 = 2$, $\lambda_1 = 2$, $\lambda_2 = 1$, $\lambda_{12} = 0.5$, $Bi_3 = 0.1$ де $Bi_3 = \frac{\alpha h}{\gamma_{33}}$. Результати розрахунків ліній рівня безрозмірної температури T/C при значеннях часової координати $\tau' = \frac{c\rho}{h^2 \gamma_{33}} t$ у віднесених до h координатах наведено на рис. 1.а–г.

Із наведених графіків видно, що лінії рівня температури для анізотропної пластинки істотно відрізняються від кругових, які виникають в ізотропних пластинках і є несиметричними відносно осей координат.

Отже, у роботі показано, що розв'язок широкого кола тривимірних задач нестационарної теплопровідності для анізотропних тіл циліндричної форми зводиться до розв'язування одновимірної та двовимірної задач теплопровідності. Ці розв'язки можуть бути знайдені на основі розгляду відомих задач теплопровідності для стрижнів або тонких ізотропних пластинок без тепловіддачі.

Список літератури: 1. Болотин В.В. // Уравнения нестационарных температурных полей в тонких оболочках при наличии источников тепла. Изв. АН СССР, ПММ. 1960. т.24. №2. С.361–363. 2. Карлслю Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 487 с. 3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высш. шк., 1967. – 599 с. 4. Максимович В.Н., Пляцко Г.В. // К задаче определения нестационарных температурных полей в пластинах и оболочках // В кн.: Мат. методы в термомеханике, Киев: Наук. думка, 1978. С.100–109. 5. Подстригач Я.С., Коляно Ю. М. Неустановившиеся температурные поля и напряжения в тонких пластинках. – Киев: Наук. думка, 1972. – 308 с. 6. Чибиряков В.К. // Об уравнениях теплопроводности для пластин при конвективном теплообмене с боковых поверхностей. В кн. Сопротивление материалов и теория сооружений, Киев: Будивельник. 1971. Т.15. С.60–64.

Сдано в редакцию 19.04.05

Рекомендовано д.т.н., проф. Бутенко В.И.

ЗУБОТОЧЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ЭВОЛЬВЕНТНЫМ ПРОФИЛЕМ

Бочарова И.А., Витренко В.А., Воронцов Б.С., Кириченко И.А., Пилипенко В.Н.
(ВНУ им.В.Даля, Луганск, Украина)

The article has investigated the method of teeth cutting of cylinder gear-wheels having involute profile with the help of synthesized quasihyperbola rolling cutters.

Нарезание цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем ведут в основном методом обкатки при помощи червячных фрез и долбяков.

После переточек названных инструментов уменьшается их диаметр, что приводит к изменению производящих колес [1], в результате возникают систематические погрешности профилей режущих кромок и обрабатываемых ими зубьев цилиндрических колес. Кроме того, с увеличением переднего и заднего углов, высоты профиля и угла подъема эти погрешности существенно возрастают.

Перспективным методом нарезания зубчатых колес и шлицевых валов различного профиля является зуботочение. Этот метод основан на обкатывании двух зубчатых

колес с большим углом скрещивания осей. Зуботочение производительнее в 3-6 раз и эффективнее на 30-40%, чем зубофрезерование, а износостойкость инструмента в 3 раза меньше. Для этого метода необходимы принудительное, кинематически связанное вращение инструмента и детали, продольное перемещение вдоль образующей цилиндра заготовки инструмента и большой угол скрещивания осей инструмента и детали.

В общем виде обкаточный резец представляет собой многозаходный инструмент, в каждом заходе которого имеется только один зуб, профилирующий впадину между зубьями[2]. Расчет на ЭВМ координат точек режущих кромок обкаточных резцов, предназначенных для нарезания методом зуботочения зубчатых колес с внешними и внутренними зубьями, достаточно полно представлен в работах Волкова Н.Н. [3]. Более прогрессивным инструментом для нарезания зубчатых изделий по методу зуботочения являются сборные двухрядные обкаточные резцы[4]. Анализ основных исследований показал, что обкаточные резцы являются довольно сложными инструментами, поэтому рассматриваемый производительный способ зуботочения пока не нашел широкого распространения.

Таким образом, для исключения указанных недостатков необходимо синтезировать такие инструменты, при работе которых основные производящие поверхности зубьев (витков) отходили бы от обрабатываемых поверхностей зубьев и, таким образом, образовывали кинематические задние углы, исключаящие затирание контактирующих поверхностей.

Авторами данной статьи получены инструменты, задние поверхности которых не затылуются и остро не затачиваются. В результате передние режущие грани можно расположить под любым углом в зависимости от обрабатываемого материала и его твердости. При этом искажения не наблюдается, так как производящая поверхность не затылована и остро не заточена и проекция на торец инструмента пространственной кривой, лежащей на основной эвольвентной поверхности будет представлять собой эвольвенту.

Чтобы решить сложную задачу незатылования искомым инструментам, их необходимо выполнять на квазигиперболоидных и цилиндрических заготовках. С этой целью рассмотрим образование квазигиперболоидного колеса при помощи цилиндрического зубчатого колеса. Для этого введем подвижные системы координат $x_1y_1z_1$ и $x_2y_2z_2$ связанные, соответственно, с цилиндрическим колесом и квазигиперболоидным колесом и неподвижную xzy , относительно которой задаются положения подвижных систем координат. Эти системы показаны на рис.1, где O_1Z_1 и O_2Z_2 - оси вращения, γ - угол скрещивания осей, a_w – межосевое расстояние в горловом сечении.

Отметим, что, если смотреть с положительных направлений осей z_1 и z_2 , изготавливаемое цилиндрическое колесо и квазигиперболоидное колесо вращаются по часовой стрелке. Уравнение цилиндрического колеса в подвижной системе координат $x_1y_1z_1$ можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned}x_1 &= f_1(\lambda) - r_0; \\y_1 &= f_2(\lambda); \\z_1 &= z = \mu,\end{aligned}\tag{1}$$

где: $f_1(\lambda)$; $f_2(\lambda)$ - профиль зубьев (может быть любым в зависимости от представляемых функций) на нарезаемом цилиндрическом колесе;
 λ - переменная величина;

r_0 - радиус окружности;

μ - текущая координата на зубе цилиндрического колеса по оси OZ_1 .

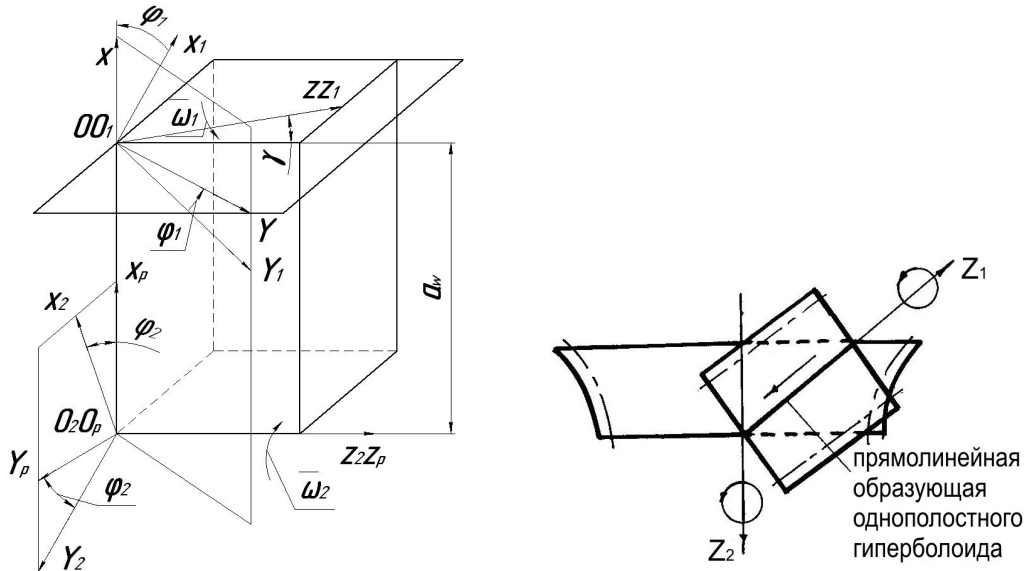


Рис.1. Системы координат, связанные с инструментом и заготовкой

Используя известные методы теории зацепления [5], получим уравнения поверхностей искомого квазигиперболоидного колеса (инструмента) в следующем виде:

$$\begin{aligned} x_2 &= M_{21}x_1; \\ y_2 &= M_{21}y_1; \\ z_2 &= M_{21}z_1; \\ F(\lambda, \mu, \varphi_1) &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где: x_2, y_2, z_2 - координаты поверхности искомого квазигиперболоидного инструмента (колеса);

M_{21} - матрица перехода от системы $x_1y_1z_1$ к системе $x_2y_2z_2$ имеет следующий вид [5]:

$$M_{21} = (M_{2p} M_{p0}) M_{01} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + \sin \gamma \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 & -\sin \varphi_1 \cos \varphi_2 + \cos \gamma \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 & -\sin \gamma \sin \varphi_2 & a_w \cos \varphi_2 \\ -\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 + \sin \gamma \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 & \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \gamma \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 & -\sin \gamma \cos \varphi_2 & -a_w \sin \varphi_2 \\ \sin \gamma \sin \varphi_1 & \sin \gamma \cos \varphi_1 & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

где:

$$M_{O1} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_1 & -\sin \varphi_1 & 0 & 0 \\ \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad M_{p0} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & a_w \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ 0 & \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

$$M_{2p} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_2 & \sin \varphi_2 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Из теории зацепления [5,6] уравнение связи между параметрами λ, μ, φ_1 запишем в следующем виде:

$$\begin{aligned} F(\lambda, \mu, \varphi_1) = & (u_{21} \cos \gamma - 1) [f_2 f_2' + f_1' (f_1 - r)] - \\ & - \mu \cdot u_{21} \sin \gamma (f_2' \cos \varphi_1 + f_1' \sin \varphi_1) - \\ & - a_w u_{21} \cos \gamma (f_2' \sin \varphi_1 - f_1' \cos \varphi_1) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

В уравнении (3) $\mu = O_1 Z_1 = O_1 Z$, а переменная величина λ при функциях $f_1; f_2$, а так же при производных $f_1'; f_2'$ опущена для простоты записи.

Для получения стружечных канавок на поверхности квазигиперболоидного инструмента (2) необходимо функции (1) и их производные подставить в выражение (2), при этом, увеличив угол скрещивания γ на 90^0 . Стружечные канавки можно так же получить на горизонтальном или вертикально-фрезерном станках при помощи дисковой или пальцевой фрезы соответственно.

Полученными квазигиперболоидными инструментами можно осуществить нарезание цилиндрических колес как с прямым так и косым зубом. Цилиндрическими инструментальными колесами можно нарезать квазигиперболоидные колеса.

Понятно, что процесс нарезания зависит от величины относительной скорости $\vec{V}^{(12)}$; суммарной скорости движения поверхностей зубьев в направлении, перпендикулярном линии контакта \vec{u}_τ ; угла между вектором относительной скорости и направлением контактной линии $tg \nu_\tau$. Используя работы [5,6] эти величины получены в общем виде.

Численный анализ этих величин, проведенный на компьютере, показывает, что на инструменте, выполненном на квазигиперболоиде, скорости $\vec{V}^{(12)}$ и \vec{u}_τ , а так же угол $tg \nu_\tau$ изменяются в широких пределах. При этом, первостепенное значение для рассматриваемых величин имеет выбор участка на квазигиперболоиде по координате $O_2 Z_2$. Управлять этими величинами можно так же передаточным числом $u_{12} = \varphi_1 / \varphi_2$.

В настоящее время осуществлено изготовление квазигиперболоидного инструмента (колеса) при помощи цилиндрического инструментального колеса (рис.2.) на квазигиперболоидной заготовке.

Цилиндрическое инструментальное колесо устанавливается на протяжном шпинделе зубофрезерного станка, а квазигиперболоидная заготовка на столе станка. На рис.1 протяжной шпиндель совпадает с осью O_1Z_1 , а стол станка совпадает с осью O_2Z_2 .

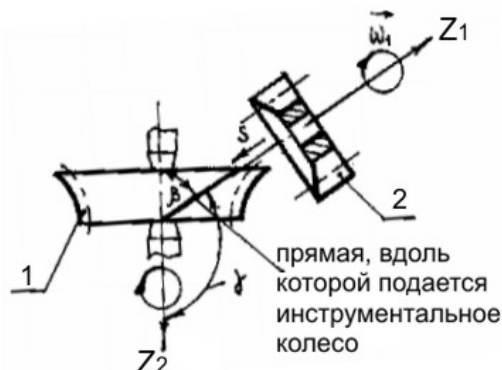


Рис.2. Изготовление квазигиперболоидного колеса

Используя относительное скольжение изготавливаемого инструмента о передние грани цилиндрического инструментального колеса, появляющееся за счет скрещивания осей на угол γ , осуществляют процесс резания. Для получения квазигиперболоидного инструмента любой ширины цилиндрическому инструментальному колесу сообщают поступательное перемещение вдоль оси O_1Z_1 при помощи протяжного суппорта. Вращение цилиндрического инструментального колеса и квазигиперболоидной заготовки осуществляют по часовым стрелкам при угловых скоростях, обратно пропорциональных количеству их зубьев.

Выводы:

1. При скрещивании осей цилиндрическое зубчатое колесо имеет линейный характер касания с квазигиперболоидным колесом;
2. Квазигиперболоидный инструмент не затылуется и остро не затачивается;
3. Цилиндрическое инструментальное колесо не затылуется;
4. Цилиндрический и квазигиперболоидный инструмент затачиваются по передним граням. Величина этих углов зависит от марки обрабатываемых материалов и их твердостей и находится в пределах $30^0 \dots - 30^0$ в зависимости от марок контактирующих поверхностей и их твердостей.

Список литературы: 1. Передачи зубчатые. ГОСТ 16530-70 – ГОСТ 16532 – 70. 2. Обкаточный резец: А.с. 715245 В 23 F 21/00./ Ю.В. Цвис, Ю.В. Котельников, В.А. Ильичев. - № 1932754/08; заявлено 25.06.73; Опубл. 10.02.80, Бюл. №6. - 3 с. 3. Волков Н.Н. Расчет координат точек режущих кромок обкаточных резцов на ЭВМ // Станки и инструмент. - 1981. - №5. - С.10-11. 4. Кошлакова В.В. Нарезание шлицевых (зубчатых) валов двухрядными обкатными резцами // Технология пр-ва., научн. организация труда и упр. – М.: НИИМаш, 1979. - №22. - С.14-17. 5. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. Изд.2-е, перераб. и доп. – М.: наука, 1968. – 584 с. 6. Кириченко И.А. Создание гиперболоидных передач с линейным контактом зубьев на базе специальных режущих инструментов. Диссерт. на соиск.уч. степени докт. техн. наук. – Луганск, 2004. – 333 с.

Сдано в редакцию 19.04.05

Рекомендовано д.т.н., проф. Бутенко В.И.