

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ КОНТАКТИРОВАНИЯ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА С НАРЕЗАЕМОЙ ЗАГОТОВКОЙ

Рябичев В.Д., Витренко В.А. (ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР)
Тел./Факс: + 38 (0642) 341826; E-mail: vitrenko.vl@gmail.com

Abstract: *Cutting of cylindrical gear wheels is performed with the teeth-cutting instrument obtained in a space machine-tool engagement. Multi-pass hyperbola instrument presented in the given article is highly-productive, precise, and technological. Determination of optimum conditions for mechanical treatment using the presented instrument has been investigated.*

Key words: *hyperbola cutter, gear wheel, specific points, tooth surface, work-piece, contact.*

В технологическом цикле изготовления различных зубчатых колес наиболее трудоемкой, сложной, низко производительной операцией является операция нарезки зубьев. Это можно объяснить, прежде всего, низкой производительностью самого зубообрабатывающего оборудования, а также несовершенством и сложностью зуборезного инструмента [4]. Если внимательно рассмотреть кинематику процесса нарезания зубьев, то становится понятным, что при помощи одной и той же производящей поверхности можно получить различный профиль формообразуемых зубьев, следовательно профиль зуба зависит от геометрии и кинематики процесса их нарезания.

Для повышения производительности нарезания зубьев необходимо стремиться к тому, чтобы зуборезный инструмент был многозаходным [5]. Существует три схемы формообразования гиперболоидного многозаходного зуборезного инструмента. Самой простой схемой является схема, когда инструмент получают при помощи радиального врезания производящего инструментального зубчатого колеса в гиперболоидную заготовку. В этом случае исходная инструментальная поверхность представляет собой квазигиперболоидную инструментальную поверхность, пригодную для нарезания узких цилиндрических зубчатых колес, геометрия которых полностью совпадает с геометрией производящего инструментального зубчатого колеса. Если при формообразовании гиперболоидной инструментальной поверхности зуборезному профилирующему инструменту кроме радиального врезания придать движение вдоль его оси, то получим инструментальную поверхность, представляющую собой тело «вида однополостной гиперболоид». Такая инструментальная поверхность пригодна для нарезания зубчатых колес любой ширины геометрические параметры которых полностью совпадают с геометрическими параметрами формообразующего инструмента. Для того, чтобы избежать недостатков присущих инструментам, полученным по первым двум схемам формообразования, необходимо основную инструментальную поверхность получать формообразованием вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперболоида. В этом случае производящая поверхность зуборезного инструмента полностью совпадает с его основной инструментальной поверхностью, а сам инструмент может обрабатывать цилиндрические зубчатые колеса любой геометрии. Такой процесс формообразования легко осуществим на серийных зубофрезерных станках, оснащенных протяжным суппортом. Также такое нарезание можно осуществлять на вертикально фрезерных станках с ЧПУ оснащенных делительными головками.

При нарезании зубьев цилиндрических зубчатых колес при помощи гиперболоидного зуборезного инструмента очень часто наблюдается процесс подрезания зубьев [1,3]. Этот процесс приводит к уменьшению рабочего участка поверхности зуба зубчатого колеса, отрицательно влияет на прочность зуба, поскольку подрезание ослабляет его основание и, тем самым, приводит к снижению прочности

зуба на излом. Поэтому при создании прогрессивных зуборезных инструментов и высоконагруженных зубчатых передач необходимо ограничивать производящую поверхность, исключая из нее особые точки.

В данном исследовании для определения условий отсутствия подрезания зубьев зубчатых колес рассмотрим их поверхность при двухпараметрическом огибании инструмента и заготовки. В нашем случае параметры λ и μ представляют собой линии вдоль и поперек исследуемого зуба зубчатого колеса. В этом случае определитель равен 0:

$$\begin{vmatrix} F^\lambda & F^\mu & F^\circledast \\ E_1 & F_1 & (\vec{r}_1^\lambda \vec{V}_1^{(12)}) \\ F_1 & G_1 & (\vec{r}_1^\mu \vec{V}_1^{(12)}) \end{vmatrix} = 0. \quad (1)$$

В этом равенстве приняты следующие обозначения:

$$(\vec{r}_1^\lambda \vec{r}_1^\lambda) = E_1; \quad (\vec{r}_1^\lambda \vec{r}_1^\mu) = F_1; \quad (\vec{r}_1^\mu \vec{r}_1^\mu) = G_1. \quad (2)$$

Равенство (1) является дополнительным условием для определения особых точек на нарезаемой зубчатой поверхности [2]. Граничные точки на поверхности зубьев цилиндрических зубчатых колес и гиперboloидных инструментов получим, раскрывая определитель (1):

$$E_1 F^\circledast - E_1 F^\mu (\vec{r}_1^\mu \vec{V}_1^{(12)}) - F^\lambda (\vec{r}_1^\lambda \vec{V}_1^{(12)}) = 0. \quad (3)$$

где $F^{\phi_1} = F^\circledast, F^\lambda, F^\mu$ и $(\vec{r}_1^\lambda \vec{V}_1^{(12)}); (\vec{r}_1^\mu \vec{V}_1^{(12)})$ - имеют известные значения.

Зависимость (3) позволяет определить граничные точки на поверхности зуба цилиндрического зубчатого колеса. При этом необходимо использовать уравнения непрерывности станочного зацепления т.е. уравнения непрерывности станочного касания поверхности зубьев цилиндрического зубчатого колеса с поверхностью зубьев многозаходного гиперboloидного инструмента. Алгоритм отыскания граничных точек выглядит следующим образом. Из уравнения непрерывности станочного касания определяем $\mu = \mu(\lambda, \phi_1)$ в зависимости от координатных линий направленных вдоль и поперек поверхности зуба. Для каждого значения μ из (3) определим $\lambda = \lambda(\phi_1)$. Затем для каждого значения угла поворота заготовки ϕ_1 в пределах поля зацепления определим координаты граничных точек. Заметим, что для конкретного вида станочного зацепления последовательность нахождения граничных точек может быть изменена. При этом необходимо граничные точки определять для обеих сторон зуба, поскольку условия подрезания в общем случае для каждой стороны зуба цилиндрического колеса неодинаковы.

При зацеплении гиперboloидного зуборезного инструмента и нарезаемого зубчатого колеса, с правой стороны от горлового сечения однополостного гиперboloида, происходит отход сопряженных поверхностей друг от друга, что приводит к нормальному нарезанию зубьев. С левой стороны инструмента, от горлового сечения однополостного гиперboloида, происходит приближение контактирующих поверхностей зубьев, приводящее к внедрению поверхностей друг в друга, то есть такое положение приводит к интерференции взаимоогиаемых поверхностей. Замеры радиусов кривизны зубьев на гиперboloидной заготовке

показывают, что их величины также не одинаковы на равных расстояниях от самого малого (горлового) сечения однополостного гиперboloида.

Изготовить гиперboloидные основные инструментальные поверхности, применяемые для гиперboloидных зубчатых инструментов и колес, можно на любых токарных станках с числовым программным управлением. При этом заготовки можно нарезать при помощи стандартного токарного резца, придав ему относительное движение вдоль двух координатных осей. Профиль зуба также можно нарезать при помощи специально заправленного резца. В этом случае, режущая кромка токарного резца движется вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперboloида.

После получения исходной инструментальной заготовки, на ней необходимо нарезать зубья при помощи цилиндрического производящего зубчатого колеса с прямыми или косыми зубьями. Как правило, заготовку однополостного гиперboloида можно получить при помощи цилиндра (круглого резца) диаметр которого равняется диаметру впадин сопрягаемого цилиндрического зубчатого колеса. Изготовление гиперboloидных зубчатых колес и инструментов осуществляется на серийных зубофрезерных станках по отработанной технологии. Кроме того, гиперboloидные зубчатые колеса и инструменты можно изготовить на стандартном токарном оборудовании. При этом режущему инструменту (профилирующему токарному резцу) необходимо придать движение вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперboloида.

Нарезаемое или сопрягаемое цилиндрическое зубчатое колесо имеет определенный профиль который легко описывается при помощи трех уравнений. Необходимо отметить, что известная поверхность цилиндрического зубчатого колеса зацепляется с двумя разными частями многозаходного гиперboloидного зубчатого колеса или инструмента. Таким образом, условие непрерывности станочного зацепления в этом случае выполнить невозможно, то есть нельзя получить полный контакт при огибании цилиндрического колеса и полного гиперboloидного колеса.

Проанализировав огибание многозаходного инструмента с цилиндрическим прямозубым или косозубым зубчатым колесом, можно сделать вывод о том, что гиперboloидное зацепление должно состоять из цилиндрического зубчатого колеса любой ширины и гиперboloидной инструментальной поверхности, выбранной из правой или левой части однополостного гиперboloида. Ширина гиперboloидной заготовки принимается равной $0,3...0,4t$, ширина может быть определена экспериментально.

Особые точки или искомые точки, то есть точки подреза и заострения можно определить в аналитическом виде. Для этого необходимо в уравнении непрерывности станочного зацепления $\vec{N}\vec{V} = 0$, записанном в координатной форме, определить частные производные. Тогда нормаль \vec{N} , представляющая собой векторное произведение частных производных должна принимать какую-то величину. Если же обе частные производные или хотя бы одна из них будет равняться нулю, то это означает, что на исследуемой поверхности (боковой поверхности зуба) появляются особые точки, показывающие, что в этом районе поверхность исследуемого зуба подрезается. Что касается заострения, то его допустимую величину аналитически можно определить при помощи известных математических уравнений.

Процесс нарезания зубьев при помощи гиперboloидных зуборезных инструментов в значительной степени зависит от геометро-кинематических параметров обработки зубьев. Зная основные геометро-кинематические параметры двухпараметрического огибания сопрягаемых поверхностей, можно еще на стадии проектирования определить работоспособность зуборезного инструмента, определить условия подрезания и заострения формообразуемых зубьев. Благодаря анализу

геометро-кинематических параметров огибания, можно еще на стадии проектирования судить о работоспособности зуборезного инструмента, т.е. в значительной мере сократить затраты на его проектирование и производство.

К основным геометрическим и кинематическим показателям зацепления гиперболоидного инструмента и нарезаемого зубчатого изделия необходимо отнести следующие показатели:

- относительная скорость скольжения (скорость скольжения вдоль трех взаимно перпендикулярных координатных осей). Скорость скольжения вдоль оси x (V_x); скорость скольжения вдоль оси y (V_y); скорость скольжения вдоль оси z (V_z); относительная скорость скольжения ($\vec{V}^{(12)}$);

- суммарная скорость перемещения контактирующих поверхностей зубьев инструмента и нарезаемой заготовки в направлении перпендикулярном линии контакта зубьев сопряженной пары (U_S);

- углы между векторами относительной скорости скольжения и направлением контактных линий на взаимоогигаемых поверхностях зубьев инструмента и нарезаемой заготовки (U_G);

- приведенные кривизны поверхностей зубьев гиперболоидного многозаходного инструмента и нарезаемого цилиндрического прямозубого или косозубого зубчатого колеса в направлении перпендикулярном контактными линиям рабочего или станочного зацепления (K_{PR});

- удельные скольжения контактирующих зубьев на нарезаемой заготовке и зуборезном инструменте (S_1) и (S_2);

- коэффициенты перекрытия;

- длина контактных линий.

Процесс нарезания зубьев цилиндрических прямозубых и косозубых зубчатых колес осуществляется при помощи гиперболоидного многозаходного обкатного инструмента. Из кинематической схемы формобразования гиперболоидных инструментов следует, что на полученных многозаходных фрезах передние режущие грани должны быть со стороны противоположной горловому сечению.

Угол скрещивания осей нарезаемого цилиндрического зубчатого колеса и гиперболоидного инструмента, лежит в следующих пределах: $0,5\pi \leq \gamma \leq \pi$. Направление зуба на гиперболоидном многозаходном режущем инструменте правое. Кроме того, такой инструмент не затылуется, что снижает его стоимость и повышает точность обработки зубчатых колес. При этом передний угол режущей грани у разработанного инструмента может быть любым, а из теории резания известно, что усилие резания в основном зависит от этого угла от обрабатываемого материала его твердости, количества заходов гиперболоидного инструмента.

Список литературы: 1. Гавриленко В.А. зубчатые передачи в машиностроении. М.: Машгиз, 1962.-531 с. 2. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений /Ф.Л.Литвин.– М.: Наука, 1968, 584 с. 3. Перепелица Б.А. Автоматизированное профилирование режущих инструментов (теория и алгоритмы): Учебное пособие / Б.А.Перепелица. – Харьков: ХПИ, 1985.–107 с. 4. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов / П.Р.Родин. – К.: Вища школа, 1990. – 424 с. 5. Цвис Ю.В. Профилирование режущего обкатного инструмента / Ю.В. Цвис – М.: Машгиз, 1961. – 155 с.