

УДК 621.9

А.В. Витренко, ассистент**С.Б. Воронцов, аспирант,****С.Г. Кириченко, аспирант***Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля,**кв. Молодежный 20а, г. Луганск, Украина, 91034**uni@snu.edu.ua***ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ГИПЕРБОЛОИДНОГО
ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Разработана принципиально новая схема изготовления зубообрабатывающего инструмента в основе которого заложена основная инструментальная поверхность базирующаяся на однополостном гиперboloиде вращения.

Ключевые слова: гиперboloидный инструмент, схема формообразования, основная инструментальная поверхность, производящая поверхность.

Одним из основных направлений при конструировании машин является снижение их себестоимости, повышение качества за счет создания новых высокопроизводительных технологий и разработки нового, недорогого, высокоточного инструмента. Повысить производительность изготовления зубьев зубчатых колес можно за счет создания многозаходного зубообрабатывающего инструмента, основанного на схемах формообразования третьего класса[1].

До настоящего времени исследователи в области проектирования зуборезного инструмента пытались получить его на квазигиперboloидных заготовках, заготовках типа «однополостной гиперboloид» [2], но не смогли нарезать основную инструментальную поверхность такого инструмента на однополостном гиперboloиде. При получении таких инструментов необходимо знать следующие его основные параметры:

$$\begin{aligned} z_2 &= -a_w \frac{\cos^2 \gamma}{\sin \gamma} t q \psi - r \cdot \sin \gamma \cdot \sin \psi \\ \rho &= a_w - r \cos \psi \sqrt{1 + \cos^2 \gamma \cdot t q^2 \psi} \end{aligned} \quad (1)$$

где: z_2 – координата вдоль оси инструмента; γ – угол скрещивания осей; a_w – межосевое расстояние; r – радиус цилиндра, который на величину радиального зазора превышает радиус цилиндра впадин обрабатываемого зубчатого колеса; ψ – параметр обрабатываемого изделия, ρ – радиус кривизны.

Если рассмотреть большую разновидность гиперboloидных инструментов, то необходимо отметить, что визуально очень трудно найти разницу в профиле полученного зуба, кроме того уравнения описывающие такой зуб получаются как правило по одной и той же схеме, различие которой зависит от формообразующих движений. Для осуществления формообразования зубьев необходимо, чтобы соблюдался основной закон зацепления:

$$\vec{N} \cdot \vec{V}^{12} = 0, \quad (2)$$

где: \vec{N} – вектор нормали к сопряженным поверхностям изделия и инструмента; \vec{V}^{12} – вектор относительной скорости (скорость скольжения).

Уравнение (2) можно записать в более удобном виде:

$$\begin{aligned} \vec{N} \cdot \vec{V}^{12} &= -(1 - u_{21} \cos \gamma f_1' E + f_2 f_2') - z u_{21} \sin \gamma f_2' \cos \varphi_1 + f_1' \sin \varphi_1 - \\ &- a_w u_{21} \cos \gamma f_2' \sin \varphi_1 - f_1' \cos \varphi_1 = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

При формообразовании зубьев на гиперboloидной заготовке необходимо заметить, что этот процесс зависит от таких кинематических показателей как суммарная скорость перемещения поверхностей при их обработке:

$$u_\tau = \frac{2F^\varphi \left[(f_1')^2 + (f_2')^2 \right] - F^\lambda (\vec{r}_1^\lambda \vec{V}^{(12)}) - \left[(f_1')^2 + (f_2')^2 \right] F^\mu (\vec{r}_1^\mu \vec{V}^{(12)})}{\vec{V}^{(12)} \left[(f_1')^2 + (f_2')^2 \right] \left\{ \left[(f_1')^2 + (f_2')^2 \right] F^\mu + (F^\lambda)^2 \right\}} \quad (4)$$

и угла между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактных линий:

$$tqV_{\tau} = \frac{-F^{\mu} \left[(f_1')^2 + (f_2')^2 \right] (\vec{r}_I^{\mu} \vec{V}^{(12)}) - F^{\lambda} (\vec{r}_I^{\lambda} \vec{V}^{(12)})}{\left[(\vec{r}_I^{\mu} \vec{V}^{(12)}) F^{\lambda} - (\vec{r}_I^{\lambda} \vec{V}^{(12)}) F^{\mu} \right] \sqrt{(f_1')^2 + (f_2')^2}} \quad (5)$$

где $F^{\phi^1}, F^{\mu}, F^{\lambda}$ – частные производные, определяемые из уравнения станочного зацепления

$$\begin{aligned} F^{\phi^1} &= -\mu u_{21} \sin \gamma (-f_2' \sin \phi_1 + f_1') \cos \phi_1 - \\ &\quad - a_w u_{21} \cos \gamma (f_2' \cos \phi_1 + f_1' \sin \phi_1); \\ F^{\lambda} &= -(1 - u_{21} \cos \gamma) \left[(f_2')^2 + f_2 f_2'' + f_1'' f_1 - r + (f_1')^2 \right] - \\ &\quad - \mu u_{21} \sin \gamma (f_2'' \cos \phi_1 + f_1'' \sin \phi_1 - a_w u_{21} \cos \gamma (f_2' \sin \phi_1 - f_1' \cos \phi_1)); \\ F^{\mu} &= -u_{21} \sin \gamma (f_2' \cos \phi_1 + f_1' \sin \phi_1) \end{aligned} \quad (6)$$

На практике известен способ нарезания зубьев на квазигиперboloидной заготовке [2]. Представленный способ нарезания зубьев показан на рисунке 1.

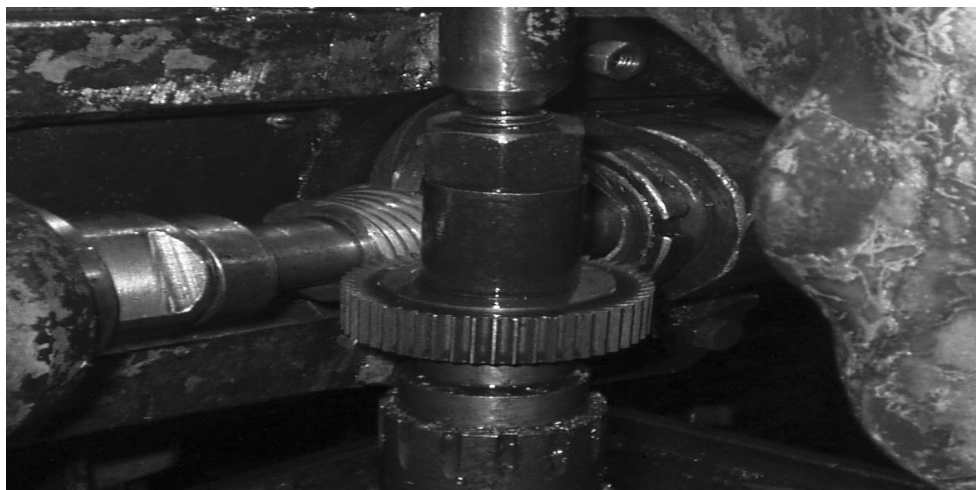


Рисунок 1 – Нарезание квазигиперboloидных зубьев

Способ заключается в том, что на столе станка на оправке устанавливается инструмент, выполненный в виде инструментального зубчатого колеса, а на инструментальном шпинделе на оправке устанавливается заготовка нарезаемого гиперboloидного зубчатого колеса или инструмента. Оси заготовки и инструмента скрещиваются, их угловые скорости обратно пропорциональны количеству их зубьев. Нарезание осуществляется при помощи радиальной подачи инструментального колеса и нарезаемой гиперboloидной заготовки. При помощи этого способа нарезания, как правило, нарезают зубья для глобоидной и квазигиперboloидной зубчатой передачи.

Для нарезания зубьев на заготовках типа «однополостной гиперboloид» применяется способ их изготовления, представленный на рисунке 2. Суть способа изготовления зубьев на заготовке вида «однополостной гиперboloид» заключается в следующем: на столе зубофрезерного станка на оправке одновременно установлен круглый резец и зуборезный долбяк или инструментальное зубчатое колесо. На инструментальном суппорте станка установлена заготовка нарезаемого гиперboloидного инструмента, выполненная в форме цилиндра или в форме приближенной к телу вида «однополостной гиперboloид». Ось инструментального суппорта повернута на угол γ по отношению к оси стола станка. Стол станка и инструментальный суппорт вращаются с угловыми скоростями обратно пропорциональными количеству зубьев инструментального колеса и количеству витков нарезаемого

гиперboloидного инструмента. Заготовка нарезаемого гиперboloидного инструмента опускается вдоль оси инструментального колеса.



Рисунок 2 – Нарезание зубьев на заготовке вида «однополостной гиперboloид»

Нарезанные рассмотренным способом зубчатые инструменты имеют серьезный недостаток – применяются для нарезания только зубьев зубчатых колес геометрические параметры которых соответствуют геометрическим параметрам долбяка при помощи которого получен этот гиперboloидный инструмент.

Для создания гиперboloидного инструмента способного нарезать зубчатые колеса любой геометрии необходимо создать принципиально новую схему его формообразования. Для этого нарезаемый инструмент должен двигаться с горизонтальной подачей вдоль передней поверхности инструментального зубчатого колеса. Такое нарезание было произведено на зубофрезерном станке «pfauter».

В качестве экспериментальных исследований в данной работе осуществлялась нарезка зубьев на гиперboloидной заготовке с числом зубьев (витков) $z_2 = 29$. Для этого было использовано инструментальное зубчатое колесо с количеством зубьев $z_1 = 68$ и модулем в нормальном сечении $m_n = 1,5$ мм. Диаметр делительной окружности инструментального колеса:

$$d = m_n \cdot z_1 = 1,5 \cdot 68 = 102 \text{ (мм)}.$$

Высота нарезаемого зуба определялась по следующей зависимости:

$$h_z = 2,25 \cdot m_n = 2,25 \cdot 1,5 = 3,375 \text{ (мм)}.$$

Угол скрещивания осей инструментального суппорта и стола станка составлял $37^\circ 50'$. В этом случае гиперboloидная заготовка получала горизонтальную подачу $S = 5,9$ мм/мин (подача вдоль плоскости перпендикулярной оси инструментального колеса). Модуль торцовый на нарезаемой заготовке определялся следующим образом:

$$m_\tau = m_n / \cos 52^\circ 10' = 1,5 / 0,6139931 = 2,4430242$$

Делительный диаметр в горловом сечении гиперboloидной заготовки определялся по следующей зависимости:

$$d_d = m_\tau \cdot z_2 = 2,443 \cdot 29 = 70,85 \text{ (мм)}$$

Диаметр окружности выступов в этом же сечении определялся следующим образом:

$$d_a = d_d + 2m_n = 70,85 + 2 \cdot 1,5 = 73,85 \text{ (мм)}$$

Для нарезания зубьев необходимо настроить гитару деления и по таблицам выбрать сменные шестерни:

$$U = \frac{k \cdot z_2}{z_1} = \frac{6 \cdot 29}{68} = 2,56210325$$

где $k = 6$ – характеристика зубофрезерного станка

$$U = \frac{98 \cdot 80}{45 \cdot 68}$$

Далее было произведено изготовление гиперболоидного инструмента с другими геометрическими параметрами, а именно с числом заходов $z_2 = 20$. Для нарезания этого инструмента использовался стандартный долбяк с модулем $m_n = 1,0$ мм и числом зубьев $z_1 = 100$. В этом случае угол поворота инструментального суппорта составил $60^\circ 49'$. Нарезание зубьев на такой гиперболоидной заготовке осуществлялось с горизонтальной подачей $S = 3,19$ мм/мин.

Торцовый модуль на нарезаемой гиперболоидной заготовке определялся по следующей зависимости:

$$m_\tau = m_n / \cos 29^\circ 11' = 1,0 / 0,487671 = 2,051 \text{ (мм)}.$$

Делительный диаметр гиперболоидной заготовки в горловом сечении найдем следующим образом:

$$d_d = m_\tau \cdot z_2 = 2,051 \cdot 20 = 41 \text{ (мм)}.$$

Затем найдем наружный диаметр изготавливаемого гиперболоидного инструмента:

$$d_a = d_d + 2 \cdot 1,25 \cdot m_n = 41 + 2,5 = 43,5 \text{ (мм)}.$$

Настроим гитару деления станка:

$$U = \frac{k \cdot z_2}{z_1} = \frac{6 \cdot 20}{100} = \frac{6}{5}$$

Подберем сменные колеса для гитары деления:

$$U = \frac{60}{50}$$

Для изготовления зубчатых колес с модулем нормальным $m_n = 1,0$ мм нарежем гиперболоидную фрезу с числом заходов (количеством витков или зубьев) равным $z_2 = 17$. Нарезание зубьев на таком инструменте производилось при помощи стандартного прямозубого долбяка с числом зубьев $z_1 = 68$. Диаметр делительной окружности определялся следующим образом:

$$d_d = m_n \cdot z_1 = 1 \cdot 68 = 68 \text{ (мм)}.$$

Определим высоту зуба нарезаемого гиперболоидного инструмента:

$$h = 2,25 \cdot m_n = 2,25 \cdot 1 = 2,25 \text{ (мм)}.$$

Найдем делительный диаметр гиперболоидного инструмента в горловом сечении:

$$d_d = m_\tau \cdot z_2.$$

где m_τ – торцовый модуль определяется по зависимости:

$$m_\tau = m_n / \cos \beta = m_n / \cos 16^\circ = 1,0 / 0,2756 = 3,6284,$$

$$d_d = 3,6284 \cdot 17 = 61,68 \text{ (мм)}.$$

Затем найдем наружный диаметр гиперболоидного инструмента в горловом сечении:

$$d_a = d_d + 2 \cdot m_n = 61,68 + 2 \cdot 1 = 63,68 \text{ (мм)}.$$

Следующий этап изготовления гиперболоидной фрезы заключается в настройке зубофрезерного станка “Pfauter”, для этого выберем гитару деления и настроим станок:

$$U = \frac{k \cdot z_2}{z_1} = \frac{6 \cdot 17}{68} = 1,5$$

$$U = \frac{60}{40}$$

При нарезании этого инструмента угол наклона инструментального суппорта составлял 16° , а горизонтальная подача заготовки составляла 5,3 мм/об.

Все гиперболоидные инструменты, нарезание которых приведено в примерах, имеют принципиально новую геометрию наружной поверхности и профиля зуба. Экспериментальные исследования показали, что при помощи предложенного инструмента можно нарезать зубчатые колеса с различным числом зубьев. Это в значительной мере расширяет область исследования и внедрения гиперболоидного инструмента.

В результате выполненных в работе исследований получила развитие теория формообразования поверхностей и профилирования гиперболоидного зубообрабатывающего инструмента, применяемого

для нарезания и отделки зубьев цилиндрических зубчатых колес. Разработана принципиально новая схема формообразования третьего класса для изготовления гиперболического инструмента.

Библиографический список используемой литературы

1. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов / П.Р. Родин. — К.: Вища школа, 1990. — 424 с.
2. Кириченко И.А. Создание гиперболических передач с линейным контактом зубьев на базе специальных режущих инструментов: дис... д-ра техн. наук: 05.02.02 «Машиноведение» / И.А. Кириченко. — Луганск, 2004. — 350 с.
3. Инструмент для современных технологий. Справочник / Под общей редакцией А.Р. Маслова. — М: Изд-во «ИТО», 2005. — 248 с.

Поступила в редакцию 30.04.2012 г.

Вітренко О.В., Воронцов С.Б., Кириченко С.Г. Проектування та виготовлення гіперболоїдного зубооброблюючого інструменту

Розроблена принципово нова схема виготовлення зубооброблюючого інструменту основна інструментальна поверхня якого базується на однополосному гіперболоїді обертання.

Ключові слова: гіперболоїдний інструмент, схема формоутворення, основна інструментальна поверхня, призовдача поверхня.

Vitrenko A.V., Vorontsov S.B., Kirichenko S.G. Design and production of hyperbola teeth-treating instruments

New scheme of teeth-treating instrument has been developed. Its instrument surface is based on one-cave rotation hyperbola.

Keywords: hyperbola instrument, shape formation scheme, basic instrument surface, producing surface.