

УДК 621.9

И. А. КИРИЧЕНКО, Н. Н. КУЗЬМЕНКО, А. Л. КАШУРА

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ПЕРЕДАЧ

У статті розглядаються експериментальні дослідження і технологія виготовлення циліндричних зубчастих коліс за допомогою гіперболоїдної фрези (виробляючої поверхні), що збігається геометрично з основною гіперболоїдною поверхнею. Створено експериментальну і математичну модель гіперболоїдної зубчастої передачі другого роду, зубчасті колеса якої мають зв'язані поверхні зубців з лінійним контактом, що одержувані виробляючим колесом для одного з них, яке збігається з головною поверхнею зубців парного зубчастого колеса.

Ключові слова: гіперболоїдне зачеплення, верстатне зачеплення, зубчаста передача, обкатний інструмент.

В статье рассматриваются экспериментальные исследования и технология изготовления цилиндрических зубчатых колес с помощью гиперболической фрезы (производящей поверхности), совпадающей геометрически с основной гиперболической поверхностью. Создана экспериментальная и математическая модель гиперболической зубчатой передачи второго рода, зубчатые колеса которой имеют сопряженные поверхности зубьев с линейным контактом, получаемым производящим колесом для одного из них, совпадающим с главной поверхностью зубьев парного зубчатого колеса.

Ключевые слова: гиперболическое зацепление, станочное зацепление, зубчатая передача, обкаточный инструмент.

In the article experimental researches and technology of making of cylindrical gear-wheels are examined by means of hyperboloidal milling cutter (to the productive surface) consilient geometrically with a basic hyperboloidal surface. The conclusions about the strata of society, various parties are supported by, have been made. An experimental and mathematical model of a hyperboloid gearing of the second kind, whose gears has conjugate tooth surfaces with a linear contact received by the producing wheel for one of them, coincides with the main surface of the teeth of the twin gear. The model consists of a cylindrical spur gear with an involute profile and a quasi-hyperboloid gear with a non-involute profile.

Keywords: hyperboloidal hooking, machine-tool hooking, gearing, staging tool.

Введение. Идея создания передач на скрещивающихся валах при помощи эвольвентного производящего колеса встречается в работах как отечественных, так и зарубежных исследователей. К этому классу передач, прежде всего, относятся так называемые гиперболические передачи. В таких передачах реализуется точечный характер касания. Поэтому несущая способность колес невысока, и они не применяются в силовых передачах. Несмотря на это колеса для таких передач изготавливают на машиностроительных заводах всего мира. При этом нарезание зубьев на цилиндрических заготовках производят копированием, обкаткой. Основное применение имеет обкатка, как наиболее точный и производительный способ обработки зубчатых колес и лезвийных инструментов, имеющих режущие зубья. По этому методу зубья нарезают инструментом в виде рейки, червячной фрезой, долбяком, обкаточным резцом. Необходимо отметить, что независимо от того, предназначены ли нарезаемые таким образом колеса для передач плоских (работающих на параллельных осях) или же пространственных (работающих на скрещивающихся осях), сам процесс нарезания во всех обычных кинематических схемах обкатки характеризуется параллельностью или скрещиванием осей нарезаемого колеса и инструмента [1–3]. При этом режущий инструмент (червячная фреза, долбяк, обкаточный резец и др.) подается вдоль прямолинейной образующей цилиндрической заготовки для колеса или инструмента. При этом производящие поверхности имеют линейный характер касания при параллельных осях и точечный (кроме обработки червячной фрезой) при скрещивающихся осях.

Основная часть. Рассмотрим технологию изготовления цилиндрического колеса цилиндро-гиперболической передачи. Развитие метода обкатки привело к тому, что нарезание колес и инструментов возможно и при отступлении от указанного выше условия, требующего обязательной подачи инструмента вдоль прямолинейной образующей цилиндрической заготовки как при параллельном расположении осей, так и скрещивании осей. В этом случае получают другие колеса и

инструменты, отличающиеся от колес и инструментов, полученных при движении инструмента вдоль образующей цилиндрической заготовки. При этом инструменты и колеса получают в пространственном станочном зацеплении режущим инструментом, передвигающимся вдоль прямой, скрещивающейся с осью вращения заготовки.

Для получения одинаковой высоты зуба заготовка из цилиндрической должна трансформироваться в гиперболическую, что пока не выполнено исследователями зубчатых передач и обкатных инструментов. При этом полученные на такой заготовке зубья при движении эвольвентного инструмента вдоль прямой, скрещивающейся с осью вращения гиперболической станочной заготовки. Дальнейшие исследования показали, что полученные гиперболические зубья касаются эвольвентных зубьев цилиндрических колес по линии. Поэтому при нарезании гиперболических инструментов по второму методу Оливье передняя грань на цилиндрическом инструментальном колесе может располагаться под любым углом, лишь бы режущая кромка имела точки по всей активной высоте зуба, участвующей в зацеплении. Изменение величины переднего угла на цилиндрическом инструментальном колесе не искажает боковые поверхности зубьев или витков искомого инструмента при условии не затылования и острой незаточки гиперболических заготовок.

При проектировании лезвийного инструмента, работающего по методу обкатки, основным вопросом является определение профиля режущих кромок инструмента и его затылование. При этом общим случаем обработки резанием зубьев на цилиндрических поверхностях методом обкатки является обработка на скрещивающихся осях. В этом случае воспроизводится пара цилиндрических зубчатых колес, из которых хотя бы одно обязательно являлось бы винтовым. Из рассматриваемой пары получают частные случаи передач вращения между осями цилиндрических зубчатых колес и все частные случаи нарезания их по методу обкатки.

В случае, когда пара цилиндрических зубчатых колес с винтовыми поверхностями смонтированы на

скрещивающихся осей, получают следующие способы обработки по методу обкатки:

1) обработка цилиндрических зубчатых колес с прямыми зубьями обкаточными резцами с винтовыми зубьями по методу зуботочения (пока не находит широкого применения на машиностроительных заводах);

2) шевингование прямозубых цилиндрических колес шеверами с винтовыми зубьями, а также шевер-рейками;

3) обработка цилиндрических прямозубых и косо-зубых колес эвольвентными червячными фрезами;

4) обработка цилиндрических прямозубых и косо-зубых колес абразивными хонами и червячными шлифовальными кругами.

Приведенные кинематические схемы обработки приводят к точечному характеру касания сопряженных поверхностей кроме обработки червячными фрезами.

В общем виде квазигиперболический обкатной инструмент можно представить как многозаходную червячную фрезу или обкатной резец, в каждом заходе которых имеется несколько зубьев, которые за один проход полностью профилируют впадину между зубьями или, точнее, участок ее, расположенный в окрестности контактной линии.

Станочное зацепление цилиндрического производящего колеса с квазигиперболическим колесом (червяком), обкатным инструментом характеризуется тремя основными параметрами: углом скрещивания осей инструмента и изделия, межосевым расстоянием a_w и передаточным числом $u = z_1/z_2$, где z_1 – число зубьев цилиндрического обкаточного резца; z_2 – число зубьев на нарезаемом квазигиперболическом колесе и обкатном инструменте.

Зуботочение квазигиперболических колес и обкатных инструментов можно осуществить по аналогии с зуботочением цилиндрических колес на зубофрезерных станках моделей 5K32, 5K328, шлицевых валов – на шлицефрезерных станках моделей МШ-300 и МШ-301Т. Обработку квазигиперболических колес и обкатных инструментов можно осуществить на модернизированных серийных зубофрезерных станках, а также зубофрезерных станках, имеющих малую характеристику порядка $k = 4 \dots 6$. К таким станкам, например, относятся "Modul", "Pfauter".

Так как при нарезании квазигиперболических колес и обкатных инструментов обычно вращение шпинделя происходит со скоростью в пределах 50-160 об/мин, то скорость вращения стола в этом случае примерно на один порядок выше, чем при зубофрезеровании. Поэтому в станках для зуботочения, по примеру со станками для "скайбинг-процесса", червяк привода стола необходимо выполнять трехзаходным и больше.

Прежде чем нарезать зубья на квазигиперболическом колесе и инструменте необходимо иметь квазигиперболическую заготовку. Такие заготовки в настоящее время получают на токарных станках по копиям. Такой способ получения гиперболических заготовок малопроизводителен и самое главное неточен.

При изготовлении квазигиперболической заготовки 1 дисковым резцом (рис. 1) круговая режущая кромка описывает цилиндрическую производящую поверхность. Передний угол γ резца 2 зависит от материала, из которого изготовлена квазигиперболическая заготовка 1 и материала резца 2 и их твердостей.

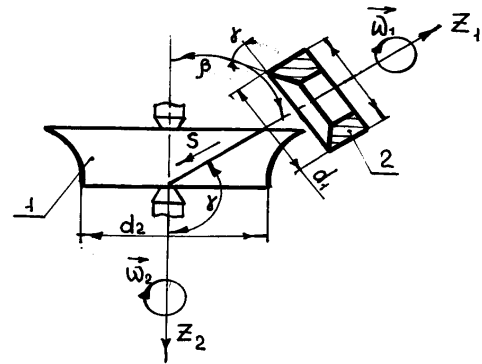


Рис. 1 – Изготовление квазигиперболической заготовки

Квазигиперболическая заготовка 1 (рис. 1) может шлифоваться, если вместо резца 2 поставить шлифовальный круг и задать необходимые режимы резания.

После получения квазигиперболической заготовки производят нарезку зубьев методом обкатки при помощи цилиндрических обкаточных инструментов 2 (рис. 2).

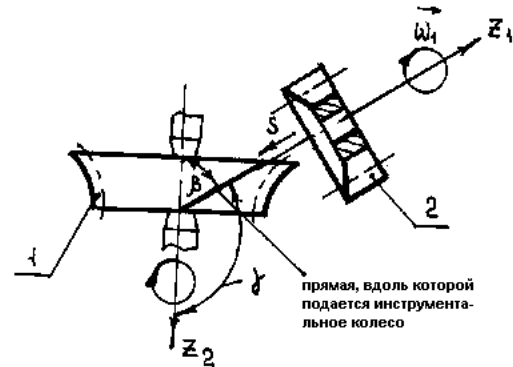


Рис. 2 – Изготовление квазигиперболического колеса

Главным движением резания является относительная скорость скольжения $\vec{V}^{(12)}$ передних режущих граней цилиндрического обкаточного инструмента 2 о поверхности зубцов 1 на квазигиперболической заготовке. Вышеуказанное относительное скольжение получается за счет скрещивания осей цилиндрического обкаточного инструмента 2 и квазигиперболической заготовки 1 (рис. 2). Чем больше угол β , тем больше скорость $\vec{V}^{(12)}$, тем лучше условия резания. Подача S в мм/об осуществляется вдоль прямой, скрещивающейся с осью вращения однополостного квазигиперболического (вдоль оси инструмента 2) назначается в зависимости от режимов резания. При этом вращательное и поступательное движение цилиндрического обкаточного инструмента 2 не зависят друг от друга и поэтому являются двумя независимыми параметрами.

Подача S (в зависимости от станка) может задаваться квазигиперболической заготовке параллельно прямой, которая скрещивается с осью вращения однополостного квазигиперболического.

Этот способ нарезания квазигиперболических зубьев может быть реализован, на зубофрезерных станках с протяжным суппортом или без него [2, 3].

На рис. 3 показана фотография квазигиперболического колеса с геометрическими параметрами $z_2 = 40$; $m = 1,5$ мм; $\beta = 60^\circ$, изготовленного при помощи цилиндрического колеса с параметрами $z_1 = 50$; $m = 1,5$ мм; $\beta = 0^\circ$.



Рис. 3 – Квазигіперболоїдне колесо
с $z_2 = 40$; $m = 1,5$ мм; $\beta = 60^\circ$

Вывод. Создана экспериментальная и математическая модель гиперболоидной зубчатой передачи второго рода, зубчатые колеса которой имеют сопряженные поверхности зубьев с линейным контактом, получаемым производящим колесом для одного из них, совпадающим с главной поверхностью зубьев парного зубчатого колеса. Конструктивно модель состоит из цилиндрического прямозубого колеса с эвольвентным профилем и квазигиперболоидного колеса с неэвольвентным профилем. При этом гиперболоидное колесо конструируется, отступая от горлового сечения в правую или левую сторону на величину, зависящую от геометрических параметров сопряженных колес.

Список литературы

1. Дусев И. И. Новый метод исследования в теории зубчатых зацеплений // Теория передач в машинах. – М.: Наука, 1971. – С. 115–122.
2. Кириченко И. А. Гиперболоидная зубчатая передача, полученная цилиндрической производящей поверхностью: Зб. наукових праць. – Краматорськ: Вид-цтво ДДМА, вип. 11, 2001. – С. 129–133.

3. Кириченко И. А., Витренко В. А., Витренко А. В. Зубчатые передачи на скрещивающихся валах // Международный сборник научных трудов "Прогрессивные технологии и системы машиностроения". – Донецк: ДГТУ, 2002. – Вып. 19. – С. 83–88.
4. Патент № 1.980.237, кл. 74-427, автор Nikola Trobojevich.
5. Патент США № 1.972.544, кл. 90-4.
6. Патент 1819196. В. А. Витренко. Способ изготовления гиперболоидных зубчатых колес.
7. Litvin, F. L. Gear Geometry and Applied Theory. – Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994. – 724 p.
8. Litvin, F. L. Development of Gear Technology and Theory of Gearing. NASA RP-1406, 1998. – 113 p.
9. Pekrun: Hohleistungs-Globoidschnecken-Getriebe / Maschinenfabrik Pekrun Getriebebau GMBH / s.n., 1983. Katalog G 303. – 34 p. (ФРГ).
10. Olivier T. Theorie geometrical des engrnages. – Paris, 1842. – 111 p.

References (transliterated)

1. Dusev I. I. Novyj metod issledovanija v teorii zubchatyh zaceplenij [A new method of investigation in the theory of gearing]. *Teorija peredach v mashinah* [Theory of Transmission in Machines]. Moscow, Nauka Publ., 1971, pp. 115–122.
2. Kirichenko I. A. Giperboloidnaja zubchataja peredacha, poluchennaja cilindricheskoj proizvodjashhej poverhnost'ju [Hyperboloid gear transmission obtained producing cylindrical surface]. *Zbirnyk naukovykh prac'* [SC. scientific works]. Cramatorsk, DDMA Publ., vol. 11, 2001, pp. 129–133.
3. Kirichenko I.A., Vitrenko V. A., Vitrenko A. V. Zubchatye peredachi na skreshhivajushhijhsja valah [Gears on the shafts of mating]. *Mezhhdunarodnyj sbornik nauchnyh trudov "Progressivnye tehnologii i sistemy mashinostroenija"* [International collection of scientific papers of "Progressive technologies and systems engineering industry"]. Donetsk, DSTU Publ., 2002, no. 19, pp. 83–88.
4. Patent no. 1.980.237, class 74-427, author Nikola Trobojevich.
5. Patent of the USA no 1.972.544, class 90-4.
6. Patent 1819196. V. A. Vitrenko. *Sposob izgotovlenija giperboloidnyh zubchatyh koles* [Method of making of hyperboloidal gear-wheels].
7. Litvin, F. L. *Gear Geometry and Applied Theory*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994, 724 p.
8. Litvin, F. L. *Development of Gear Technology and Theory of Gearing*. NASA RP-1406, 1998, 113 p.
9. Pekrun: Hohleistungs-Globoidschnecken-Getriebe. *Maschinenfabrik Pekrun Getriebebau GMBH / s.n.*, 1983. Katalog G 303, 34 p.
10. Olivier T. *Theorie geometrical des engrnages*. Paris, 1842, 111 p.

Надійшла (received) 05.03.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Експериментальні дослідження та технологія виготовлення гіперболоїдних передач / І. О. Кириченко, Н. М. Кузьменко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ", 2017. – № 25 (1247). – С. 90–93. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0791.

Експериментальные исследования и технология изготовления гиперболоидных передач / И. А. Кириченко, Н. Н. Кузьменко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ", 2017. – № 25 (1247). – С. 90–93. – Библиогр.: 10 назв. – ISSN 2079-0791.

Experimental research and technology manufacture of gears / I. A. Kirichenko, N. N. Kuzmenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problem of mechanical drive. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017. – No. 25 (1247). – P. 90–93. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-0791.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кириченко Ірина Олексіївна – доктор технічних наук, професор, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, професор кафедри електричної інженерії, м. Северодонецьк; тел. (095) 461-97-67; e-mail: i_kir@ukr.net.

Кириченко Ірина Алексеевна – доктор технических наук, профессор, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, профессор кафедры электрической инженерии, г. Северодонецк; тел. (095) 461-97-67; e-mail: i_kir@ukr.net.

Kirichenko Irina Alekseevna – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Professor at the Department of electrical engineering, Severodoneck; tel. (095) 461-97-67; e-mail: i_kir@ukr.net.

Кузьменко Наталія Миколаївна – кандидат технічних наук, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, доцент кафедри електричної інженерії, м. Северодонецьк; тел. (050) 862-03-75, e-mail: n_kuzm@ukr.net.

Кузьменко Наталья Николаевна – кандидат технических наук, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, доцент кафедры электрической инженерии, г. Северодонецк; тел. (050) 862-03-75; e-mail: n_kuzm@ukr.net.

Kuzmenko Nataliya Nikolaevna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Associate Professor at the Department of electrical engineering, Severodoneck; tel. (050) 862-03-75; e-mail: n_kuzm@ukr.net.

Кашура Олександр Леонідович – кандидат технічних наук, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, доцент кафедри електричної інженерії, м. Северодонецьк; тел. (097) 366-17-73; e-mail: kashuraal@ukr.net.

Kashura Aleksandr Leonidovich – кандидат технических наук, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, доцент кафедры электрической инженерии, г. Северодонецк; тел. (097) 366-17-73, e-mail: kashuraal@ukr.net.

Kashura Oleksandr Leonidovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Associate Professor at the Department of electrical engineering, Severodoneck; tel. (097) 366-17-73, e-mail: kashuraal@ukr.net.

УДК 621.833

В. И. КОРОТКИН

АЛГОРИТМ ПРОГРАММЫ РАСЧЁТА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ НОВИКОВА С ИСХОДНЫМ КОНТУРОМ ПО ГОСТ 15023-76 ПРИ РЕАЛЬНОМ МНОГОПАРНОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ

Розроблено алгоритм і на його основі програма NOVGOST–17 розрахунку зубчастих передач Новікова з вихідним контуром по ГОСТ 15023-76 при реальному багатопарному зацепленні. В алгоритм і програму закладені результати, що включають визначення згинальних і ефективних контактних напружень, податливості зубів при будь-якому положенні контактної площадки по ширині зубчастого вінця з урахуванням впливу торців зниженою жорсткості. Наведено приклад розрахунку за розробленою програмою. Запропонований порядок розрахунку зубчастих передач Новікова за програмою може з успіхом бути використаний в інженерній практиці.

Ключові слова: зубчаста передача Новікова, багатопарні зацеплення, контактне напруження, згинальної напруга, алгоритм, програма, розрахунок.

Разработаны алгоритм и на его основе программа NOVGOST–17 расчёта зубчатых передач Новикова с исходным контуром по ГОСТ 15023-76 при реальном многопарном зацеплении. В алгоритм и программу заложены результаты, включающие определение изгибных и эффективных контактных напряжений, податливости зубьев при любом положении контактной площадки по ширине зубчатого венца с учётом влияния торцов пониженной жёсткости. Приведен пример расчёта по разработанной программе. Предложенный порядок расчёта зубчатых передач Новикова по программе может с успехом быть использован в инженерной практике.

Ключевые слова: зубчатая передача Новикова, многопарное зацепление, контактное напряжение, изгибное напряжение, алгоритм, программа, расчёт.

The algorithm is developed and based on this program NOVGOST–17 calculation of Novikov gearing with the basic rack profile GOST 15023-76 at real multipoint engagement. The algorithm and program contain the results, including determination of bending and effective contact stresses, compliance of teeth for any position of contact pattern in width of gear rim taking into account the influence of gear faces with reduced rigidity. An example of calculation according to the developed program is given. The proposed procedure for calculating Novikov gearing according to the program can be successfully used in engineering practice.

Keywords: Novikov gearing, multipair engagement, contact stress, bending stress, computational program, calculation.

Введение. Прежде всего отметим, что под реальной многопарностью подразумевается зацепление при учёте как технологических погрешностей изготовления и сборки зубчатой пары, так и жесткостных характеристик взаимодействующих зубьев. В этом случае передаваемая нагрузка и вызванные ею контактные и изгибные напряжения распределяются неравномерно по площадкам контакта, какие-либо фазы зацепления оказываются наиболее напряжёнными, определяющими нагрузочную способность зубчатой передачи, и задача заключается в определении таких фаз и их напряжённости. В настоящей статье дана последовательность расчёта с помощью разработанной вычислительной программы NOVGOST–17 контактной и изгибной напряжённости зубьев в различных фазах реального многопарного зацепления Новикова с выявлением наиболее напряжённых (т.н. критериальных) зон, определяющих в конечном итоге нагрузочную способность всей зубчатой передачи.

Данное исследование базируется на результатах выполненной масштабной подготовительной работы по

математическому моделированию контактных [1], изгибных [2] напряжений и жесткостных характеристик [3] зубьев передач Новикова в различных положениях контактных площадок по ширине зубчатого венца с учётом влияния торцов зубьев. Эти результаты в данной статье применены к передачам Новикова с широко распространённым исходным контуром по ГОСТ 15023–76.

Основные результаты. Исходными данными при расчёте являются: α_k – угол профиля зуба исходного контура в номинальной точке контакта; l_k^* – величина дуги активного участка головки зуба исходного контура, измеренная по хорде (здесь и далее звёздочка означает отнесение параметра к модулю); m (мм) – нормальный модуль; z_1, z_2 – числа зубьев колёс пары; x_1, x_2 – коэффициенты смещений реек при нарезании зубчатых колёс; b_w (мм) – рабочая ширина венца зубчатой пары; β – угол наклона линии зуба рейки; подводимый вращающий момент на ведомом колесе T_{Σ} (Н·м); твёрдость материала поверхностей зубьев HB_1, HB_2 ; степени точности по нормам плавности