

И. А. КИРИЧЕНКО, Н. Н. КУЗЬМЕНКО

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КВАЗИГЛОБОИДНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Рассматривается получение квазиглобоидных зубчатых колес с разными геометрическими параметрами, изготовленные цилиндрическими обкаточными инструментами с помощью новой схемы формообразования, когда передние грани режущей кромки не находятся в одной плоскости, в которой находится и ось вращения квазиглобоидной заготовки, что приводит к повышению точности изделия, повышению нагрузочной способности принципиально новой зубчатой передачи. Нарезание квазиглобоидных зубчатых колес производится на серийных зубофрезерных станках без применения специальных приспособлений, что снижает себестоимость их изготовления.

Ключевые слова: инструментальное колесо, квазиглобоидное зубчатое колесо, обработка, зубонарезание, зуботочение.

І. О. КИРИЧЕНКО, Н. М. КУЗЬМЕНКО

ВИГОТОВЛЕННЯ КВАЗИГЛОБОЇДНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Розглядається одержання квазиглобоїдних зубчастих коліс з різними геометричними параметрами, виготовлені циліндричними обкаточними інструментами за допомогою нової схеми формоутворення, коли передні грані ріжучої кромки не знаходяться в одній площині, в якій знаходиться і вісь обертання квазиглобоїдної заготовки, що призводить до підвищення точності виробу, підвищенню навантажувальної здатності принципово нової зубчастої передачі. Виготовлення зубчастих коліс проводиться на серійних зубофрезерних верстатах без застосування спеціальних пристосувань, що знижує собівартість їх виготовлення.

Ключові слова: інструментальне колесо, квазиглобоїдне зубчасте колесо, обробка, зубонарізування, зуботочіння.

I. A. KIRICHENKO, N. N. KUZMENKO

MANUFACTURE OF QUASIGLOBIDE GEAR WHEELS

Technology of making of quasiglobide gear-wheels is considered by the new chart of shaping, research of total spot is conducted contact that quasiglobide toothed worm-gear. Major geometric and kinematic parameters of produced globoid teeth wheels are as follows: relative sliding speed; total speed of contacting surfaces displacement; angle between vector of relative speed and direction of contact lines; transformed curvature of contacting surfaces; specific slides at the instrument tooth and teeth wheel being treated; the length of contact line. Analysis of these parameters allowed to increase precision of globoid teeth wheel due to perfection of their shape formation scheme. Estimation of precision of globoid teeth wheels treatment by the suggested method of shape formation has been investigated in comparison with existing shape formation schemes.

Keywords: tool wheel, quasi-globoid gear, machining, cutting, gearing.

Введение. Актуальность. Эффективность работы любой технической системы, в которой есть зубчатые колеса различных модификаций, в значительной мере, зависит от обеспеченности производства точным и высокопроизводительным режущим инструментом, проектирование которого основывается на теории формообразования поверхностей резанием.

Анализ последних исследований. В существующей теории формообразования поверхностей имеются сильные практические и теоретические разработки, которые легли в основу создания различных режущих инструментов, но, несмотря на это, теория формообразования поверхностей резанием разработана недостаточно. Анализ тенденций развития теории формообразования поверхностей показывает [2], что одним из эффективных путей, по которому идет практика, является освоение новых схем формообразования и создание на их основе прогрессивных режущих инструментов и получение с их помощью новых видов колес. В настоящее время все режущие инструменты затылуются, что приводит к искажению изделия при переточках инструментов. Зуборезный инструмент является очень сложным и дорогостоящим инструментом. Поэтому исследователи ставят перед собой задачу уменьшения себестоимости зуборезного инструмента.

Основная часть. Изготовление обкатного инструмента, а также процесс нарезания зубьев необходимо рассматривать как комплексное сочетание геометрических структур модулей различного вида, име-

ющих только им присущее математическое описание, функциональное назначение, предъявляемые специфические требования, связанные определенной последовательностью и взаимообуславливаемостью, а в комплексе отражающие качество и точность изготовления зубьев квазиглобоидных зубчатых колес.

Технологическая система нарезки зубьев квазиглобоидных зубчатых колес включает в себя: станок, инструмент, технологическую среду, квазиглобоидное зубчатое колесо, квазиглобоидный червяк, имеющие индивидуальные свойства (материал, припуск, геометрия, режимы нарезки). Эту систему можно регулировать изменением режимов обработки, а также метро-кинематических показателей станочного зацепления. Такое положение позволяет управлять точностью и качеством нарезки, регулировать стойкость обкатного инструмента с одновременным повышением производительности обработки и снижением ее себестоимости.

Вышеизложенное позволяет сформулировать положение для разработки новых способов формообразования инструмента для нарезки зубьев квазиглобоидных зубчатых колес, заключающиеся в следующем:

а) в системном подходе к разработке новых схем формообразования обкаточного инструмента для нарезающей и отделочной обработки зубьев, при котором обрабатывающая система рассматривается как единый комплекс: станок – изделие – инструмент;

б) в рациональном проектировании способа формообразования инструмента, способа зуботочения зубьев квазиглобоидных зубчатых колес, обеспечива-

ющих заданные конструктивные и технологические параметры, обрабатываемых изделий;

в) в создании инженерных методик выбора разнообразных методов формообразования инструмента и обрабатываемых зубчатых колес, исходя из задач, стоящих перед технологами и инструментальщиками в конкретных производственных условиях, когда

необходимо выбрать из большого числа возможных оптимальный вариант изготовления с выбором режимов обработки, позволяющих дать требуемую точность и качество обработки.

Все изложенное выше представлено в структурно-логической схеме.

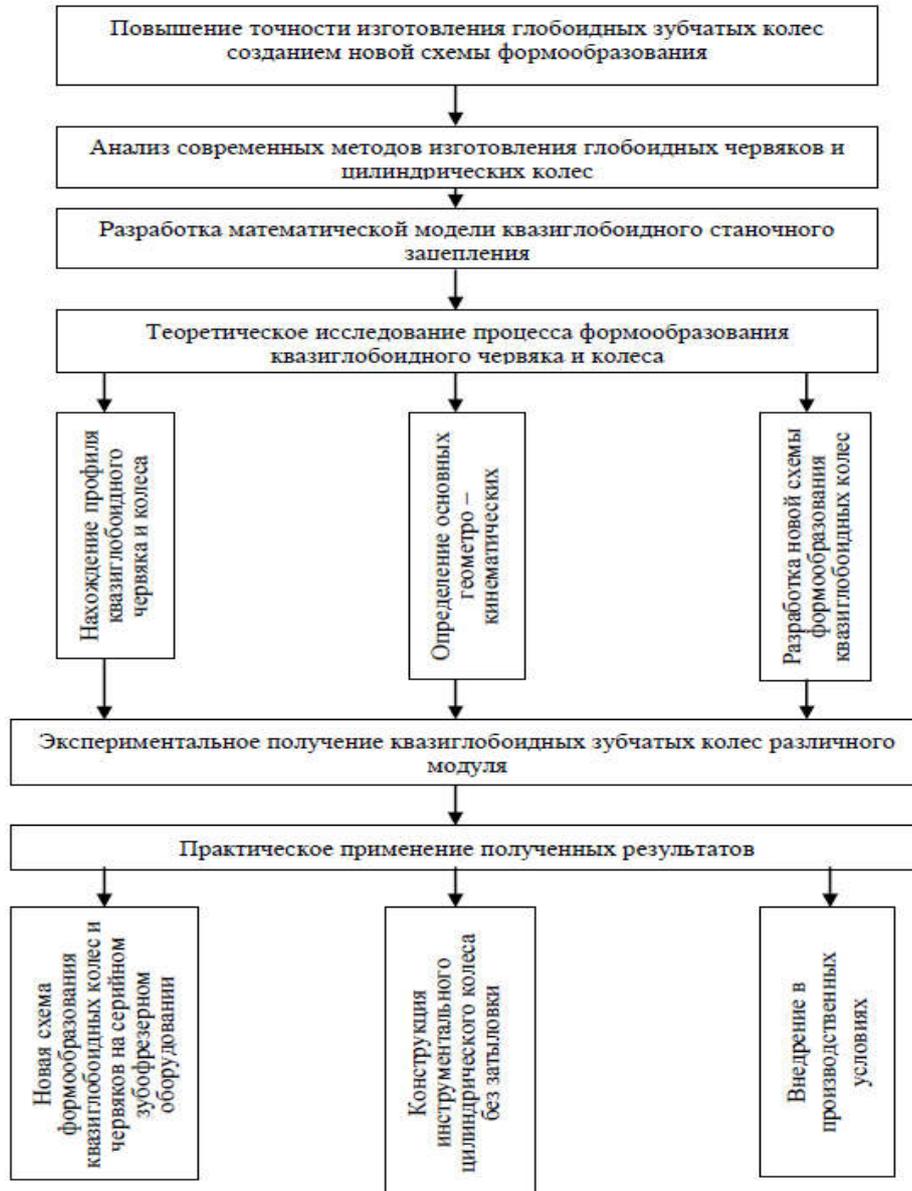


Рис. 1 – Структурно-логическая схема

Согласно этой схеме для повышения точности нарезания зубьев квазиглобоидных зубчатых колес и квазиглобоидных червяков в работе был проведен анализ недостатков существующих схем обработки зубьев. На основании вышеизложенного была предложена принципиально новая схема формообразования режущего инструмента. Для этого в теоретическом виде получен профиль режущего инструмента, как огибающая квазиглобоидного зубчатого колеса. Профиль огибающей обрабатываемого зубчатого колеса не может производить в полном объеме обкатку зубьев колес, поэтому для определения его работоспособности определены основные геометро-кинематические параметры обкатки зубьев.

Согласно структурно-логической схеме работы была разработана технология изготовления квазиглобоидного червяка и квазиглобоидного зубчатого колеса на серийном зубофрезерном оборудовании. При помощи цилиндрического инструментального колеса без затыловки в лабораторных и производственных условиях было произведено нарезание зубчатых колес с различным числом зубьев.

Нарезанные зубчатые колеса были исследованы на точностные свойства и соответствие техническим требованиям, представленным к ним, что позволило внедрить полученные результаты в производственные объединения Луганской области.

Станочное зацепление цилиндрического производящего колеса с квазиглобоидным колесом (червяком) характеризуется следующими тремя основными параметрами: углом скрещивания осей инструмента и изделия γ ; межосевым расстоянием a_w в горловом сечении; передаточным числом u . Схема получения квазиглобоидной заготовки представлена на рис. 2.

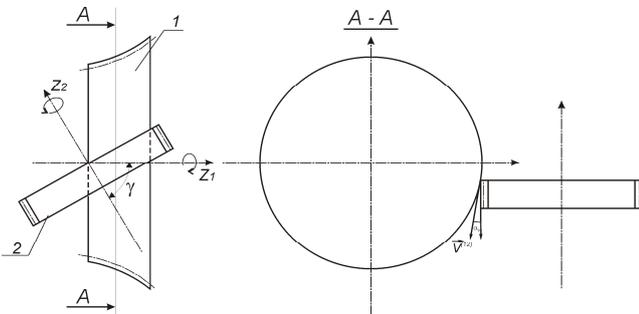


Рис. 2 – Схема формообразования квазиглобоидной заготовки

При изготовлении квазиглобоидной заготовки круговая режущая кромка описывает цилиндрическую производящую поверхность.

Вращение заготовки 1 и круглого резца 2 кинематически увязываются в зависимости от диаметров d_1 и d_2 (в горловом сечении) и угла наклона β по следующей зависимости:

$$u_{21} = \frac{d_2}{d_1 \cos \beta}.$$

После получения квазиглобоидной заготовки производят нарезку зубьев методом обкатки при помощи цилиндрических обкаточных инструментов (рис. 3). Главным движением резания является относительная скорость скольжения $\vec{V}^{(12)}$ передних режущих граней цилиндрического обкаточного инструмента 2 о поверхности зубцов на квазиглобоидной заготовке 1. Относительное скольжение получается за счет скрещивания осей квазиглобоидной заготовки и цилиндрического обкаточного инструмента [1, 3, 6, 12]. Чем больше угол наклона зуба β , тем больше скорость $\vec{V}^{(12)}$ и лучше условия резания.

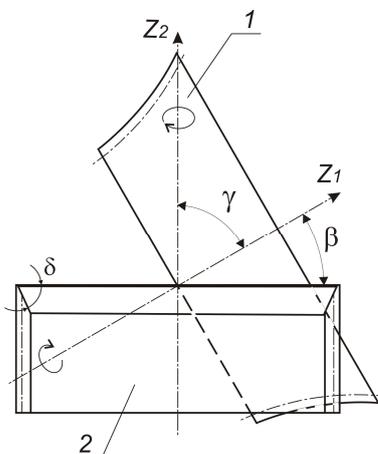


Рис. 3 – Схема изготовления квазиглобоидного колеса

Вращения цилиндрического инструментального колеса и заготовки происходят по направлению часовой стрелки и согласуются при помощи гитары деления путем подбора сменных шестерен по формуле:

$$\frac{a \cdot c}{b \cdot d} = \frac{m \cdot z_2}{z_1},$$

где a, c, b, d – расчетные зубчатые колеса гитары деления; m – характеристика зубофрезерного станка; z_1 – число зубьев квазиглобоидного нарезаемого червяка (колеса);

z_2 – число зубьев прямозубого или косозубого обкаточного резца.

Базовой поверхностью для установки глубины резания является наружная поверхность горлового сечения заготовки. После включения станка, заготовку и обкаточный резец сближают до их соприкосновения. Затем производят постепенное сближение обкаточного резца и квазиглобоидной заготовки на требуемую глубину резания и производят нарезку искомого зубчатого колеса.

Нарезание зубьев квазиглобоидных зубчатых колес проводится на серийных зубофрезерных станках Pfafter и Modul [4, 9] (характеристики станков – 6 и 8) при помощи спроектированного прямозубого или косозубого обкаточного резца.

Определим геометрические параметры нарезаемых квазиглобоидных зубчатых колес со следующими параметрами: $z_2 = 20$; $m = 1,5$; $\beta = 60^\circ$. В качестве режущего инструмента возьмем прямозубый обкаточный резец с $z_1 = 68$; $m_n = 1,5$.

Высота нарезаемого зуба:

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

Торцовый модуль квазиглобоидного зубчатого колеса:

$$m_t = \frac{m_n}{\cos 60^\circ} = \frac{1,5}{0,5} = 3 \text{ мм.}$$

Диаметр делительной окружности квазиглобоидного зубчатого колеса в горловом сечении:

$$d_d = m_t \cdot z_2 = 3 \cdot 20 = 60 \text{ мм.}$$

Наружный диаметр квазиглобоидного зубчатого колеса в горловом сечении:

$$d_a = d_d + 2m_n = 60 + 2 \cdot 1,5 = 63,00 \text{ мм.}$$

Внутренний диаметр квазиглобоидного зубчатого колеса в горловом сечении:

$$d_f = d_d - 2,5m = 60 - 2,5 \cdot 1,5 = 56,25 \text{ мм.}$$

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

$$u_{г.д.} = \frac{k \cdot z_2}{z_1} = \frac{6 \cdot 20}{68} = 1,76,$$

где $k = 6$ – характеристика зубофрезерного станка.

На качественные параметры поверхности зуба винтового зубчатого колеса в значительной степени влияют основные геометро-кинематические параметры процесса их изготовления.

Наибольшую степень влияния на шероховатость получаемых зубьев оказывают относительная скорость скольжения, угол между вектором относительной скорости скольжения и направлением контактных линий, а также суммарная скорость перемещения контактирующих зубьев.

Шероховатость поверхности определялась на двойном микроскопе МИС-11. За критерий шероховатости принималось среднеарифметическое отклонение профиля поверхности R_a , которое оценивалось по десяти измерениям участка зуба.

Квазиглобoidный червяк нарезается не долбяком, а цилиндрическим прямозубым долбяком не имеющим задних углов α_b на вершинах зубьев, которые присутствуют у долбяка. У прямозубого инструментального колеса нет расчетного бокового заднего угла α_b который есть у долбяка. Это стало возможным благодаря тому, что цилиндрическое инструментальное колесо не затылуется, кроме того, винтовые боковые поверхности переходят в прямолинейные образующие, что повышает точность инструмента. Такое положение приводит к выводу, что цилиндрическое инструментальное колесо сконструировано по геометрии исходного сечения, которое есть у долбяка.



Рис. 4 – Квазиглобoidные колеса с различным количеством зубьев

Выводы. Интерес зуборезчиков, исследователей, конструкторов, технологов к зубчатым инструментам и передачам на скрепляющихся осях не случаен: он объясняется стремлением повысить нагрузочную способность рассматриваемых передач.

Очень важной задачей, которую удалось реализовать на практике, является получение квазиглобoidных зубчатых колес с разными геометрическими параметрами на серийных зубофрезерных станках без применения дополнительных приспособлений, что позволило снизить себестоимость их изготовления и повысить нагрузочную способность в зубчатых зацеплениях за счет усовершенствования схемы их формообразования.

Список литературы

1. Кириченко И. А. *Создание гиперболюидных передач с линейным контактом зубьев на базе специальных режущих инструментов*. Луганск, 2004. 350 с.
2. Родин П. Р. *Основы формообразования поверхностей резанием*. Київ, Вища школа, 1990. 192 с.
3. Кузьменко Н. Н. *Повышение точности изготовления глобoidных зубчатых колес созданием новой схемы формообразования*. Краматорск, 2012. 150 с.
4. Кириченко И. О., Вітренко В. О., Кузьменко Н. М. *Глобoidна передача*. Пат. 55453 F16 H1/16. 2010.
5. Журавлев В. Л. *Технология изготовления глобoidных передач*. Москва, Машиностроение, 1998. 350 с.
6. Кириченко И. А., Кузьменко Н. Н. Экспериментальные исследования и технология изготовления гиперболюидных передач. *Вестник НТУ "ХПИ"*. Харьков, 2017, № 25, с. 89–93
7. Litvin F. L. *Development of Gear Technology and Theory of Gearing*. NASA RP-1406, 1998. 113 p.
8. Патент США № 1.972.544, кл. 90-4.
9. Кузьменко Н. Н. Экспериментальные исследования по изготовлению квазиглобoidных зубчатых колес. *Вестник НТУ "ХПИ"*. Харьков, 2015, № 34, с. 75–79.
10. Pekrun. *Hohleistungs. Globoidschnecken-Getriebe*. Maschinenfabrik Pekrun Getriebebau GmbH s.n., 2015. Katalog G 303. 34 s. (ФРГ).
11. Olivier T. *Theorie geometrical des engrènements*, Paris, 2014. 111 p.
12. Кириченко И. А., Кузьменко Н. Н., Кириченко С. Г. Технология изготовления квазиглобoidных зубчатых колес. *Вестник ВНУ им. В. Даля*. Луганск, 2013, №4 (193), с. 86–89.

References (transliterated)

1. Kirichenko I. A. *Sozдание giperboloidnyh peredach s lineynym kontaktom zub'ev na baze special'nyh rezhu-shhih instrumentov* [Creation of hyperboloid gears with linear contact of teeth based on special cutting tools]. Lugansk, 2004. 350 p.
2. Rodin P. R. *Osnovy formoobrazovaniya poverhnoyey rezaniem* [Bases forming cutting surfaces]. Київ, Vishha shkola Publ., 1990. 192 p.
3. Kuzmenko N. N. *Povyshenie tochnosti izgotovleniya globoidnyh zubchatykh koles sozdaniem novoy shemy formoobrazovaniya* [Increase the accuracy of making globoid gears by creating a new pattern of shaping]. Kramatorsk, 2012. 150 p.
4. Kirichenko I. O., Vitrenko V. O., Kuzmenko N. M. *Globoidna peredacha* [Globoid gear]. Pat. 55453 F16 N1/16. 2010.
5. Zhuravlev V. L. *Tehnologiya izgotovleniya globoidnyh peredach* [Manufacturing technology of globoid gears]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1998. 350 p.
6. Kirichenko I. A., Kuzmenko N. N. *Jeksperimental'nye issledovaniya i tehnologiya izgotovleniya giperboloidnyh peredach* [Experimental research and technology manufacture of hyperboloid gears]. *Vestnik NTU "KhPI"* [Bulletin of the NTU "KhPI"]. Kharkov, 2017, no. 25, pp. 89–93.
7. Litvin F. L. *Development of Gear Technology and Theory of Gearing*. NASA RP 1406. 1998. 113 p.
8. Patent SShA No. 1.972.544, kl. 90-4.
9. Kuzmenko N. N. *Jeksperimental'nye issledovaniya po izgotovleniyu kvazigloboidnyh zubchatykh koles* [Experimental studies on the production of quasi-globoid gears]. *Vestnik NTU "KhPI"* [Bulletin of the NTU "KhPI"]. Kharkov, 2015, no. 34, pp. 75–79.
10. Pekrun. *Hohleistungs. Globoidschnecken-Getriebe*. Maschinenfabrik Pekrun Getriebebau GmbH s.n., 2015. Katalog G 303. 34 p. (FRG).
11. Olivier T. *Theorie geometrical des engrènements*. Paris, 2014. 111 p.
12. Kirichenko I. A., Kuzmenko N. N., Kirichenko S. G. *Tehnologiya izgotovleniya kvazigloboidnyh zubchatykh koles* [Technology of manufacturing quasi-globoid gears]. *Vestnik VNU im. V. Dal' VNU*. Lugansk, 2013, no. 4 (193), pp. 86–89.

Поступила (received) 07.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кириченко Ірина Олексіївна (Кириченко Ирина Алексеевна, Kirichenko Irina) – доктор технічних наук (Dr. habil. of Eng. S.), професор, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, професор кафедри електричної інженерії; м. Северодонецьк, Україна; e-mail: i_kir@ukr.net

Кузьменко Наталія Миколаївна (Кузьменко Наталья Николаевна, Kuzmenko Natal'ja) – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, доцент кафедри електричної інженерії; м. Северодонецьк, Україна; e-mail: n_kuzm@ukr.net