

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ  
И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR MECHANICAL  
AND PHYSICAL-TECHNICAL PROCESSING**

Научная статья

УДК 621.9.04

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-5-13

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ  
НАКАТНОГО ИНСТРУМЕНТА**

**Витренко Владимир Алексеевич\*, Ефимов Александр Александрович,  
Михайлова Александра Дмитриевна, Стоянов Александр Анатольевич**

Луганский государственный университет им. Владимира Даля

\*для корреспонденции: vitrenko.vl@gmail.com

**Информация о статье**

Поступила:

14 июня 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 ноября 2024 г.

Принята к публикации:

02 декабря 2024 г.

Опубликована:

05 декабря 2024 г.

**Ключевые слова:**

схема формообразования,  
накатной инструмент,  
профиль, зубчатое колесо,  
контактные линии,  
гиперболоидная поверхность.

**Аннотация.**

Совершенствование конструкций и схем формообразования зубообрабатывающего инструмента является одним из ключевых направлений, стоящих перед технологами и инструментальщиками, дающих возможность получать продукцию высокого качества с минимальной себестоимостью изготовления.

Огромное количество зубчатых колес выпускается на всех передовых предприятиях общего машиностроения. С целью повышения их долговечности и улучшения качества поверхности зубчатые колеса подвергаются различным методам поверхностно-пластического деформирования. Наиболее часто зубья колес накатываются в пространственном станочном зацеплении при помощи зубчатых накатников, получаемых в плоском станочном зацеплении. Такое положение приводит к дефектам накатываемого зуба, таким как волна пластически деформируемого металла, бегущая по поверхности обрабатываемого зуба, и искажение профиля зуба зубчатого колеса. Для устранения этих недостатков в работе предложена новая схема формообразования зубчатых накатников в пространственном станочном зацеплении согласно схеме формообразования третьего класса.

Разработанные зубонакатные инструменты обладают более высокой нагрузочной способностью по сравнению с обычными зубчатыми накатниками. Основная инструментальная поверхность такого инструмента является его производящей поверхностью, что позволяет получать высокое качество накатанных зубьев при одновременном исключении дефектов накатки. Этот инструмент обладает высокой производительностью по сравнению со стандартными накатниками из-за линейного характера касания зубьев, а также большого количества витков (заходов).

Изготовление гиперболоидных инструментальных поверхностей осуществляется на горизонтально-фрезерных станках с ЧПУ путем формообразования зубьев вдоль прямолинейной образующей изготавливаемого накатника. Полученные по предложенной схеме зубчатые накатники способны накатывать зубья зубчатых колес любой геометрии.

**Для цитирования:** Витренко В.А., Ефимов А.А., Михайлова А.Д., Стоянов А.А. Совершенствование схемы формообразования накатного инструмента // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 6 (166). С. 5-13. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-5-13, EDN: ZRWDTG

**Введение.** Данная статья выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на оказание государственных услуг (выполнение работ) по теме «Повышение производительности и точности упрочняющей обработки деталей подвижного состава за счет разработки принципиально новой геометрии накатного инструмента» (шифр «FREE-2023-0001»).

При накатке деталей общего машиностроения появляется множество погрешностей на накатанной поверхности [4, 6, 7]. Большинство таких погрешностей является следствием несовершенства накатного инструмента. Кроме того, на качество обработанной поверхности влияет правильность выбора технологических режимов накатки. Огромные проблемы возникают при накатке зубчатых колес, они выражаются в появлении волны пластически деформируемого металла, искажении профиля зуба и в невозможности качественной обработки одновременно боковой поверхности зуба и впадины между зубьями [4, 5]. Процесс накатки боковых поверхностей зубьев сопровождается интенсивным износом зубчатых накатников, что приводит к искажению накатанной поверхности. При накатке зубьев тяговых зубчатых колес подвижного состава при помощи стандартных технологий и инструментов дефекты накатки приводят к необходимости дальнейшей механической обработки их поверхности, что приводит к снижению эффекта от процесса накатки и увеличению себестоимости и трудоемкости изготовления таких деталей. Накатанные согласно традиционным технологиям зубья зубчатых колес требуют дальнейшей операции шлифования, трудоемкость которой составляет более трети от трудоемкости изготовления зубчатых колес.

При накатке зуба тягового зубчатого колеса при помощи зубонакатного инструмента по существующим в промышленности схемам накатки (оси накатного инструмента и накатываемого тягового зубчатого колеса параллельны) появляется погрешность, приводящая к искажению профиля зуба. С одной стороны накатываемого зуба образуется наплыв металла, а с другой стороны зуба – впадина. Это обусловлено тем, что скольжение на начальной окружности зуба равно нулю. По профилю зуба с одной стороны скольжение направлено от начальной окружности к головке и ножке зуба, а с другой стороны скольжение направлено от ножки и головки зуба к начальной окружности. Эти дефекты представлены на Рис. 1.

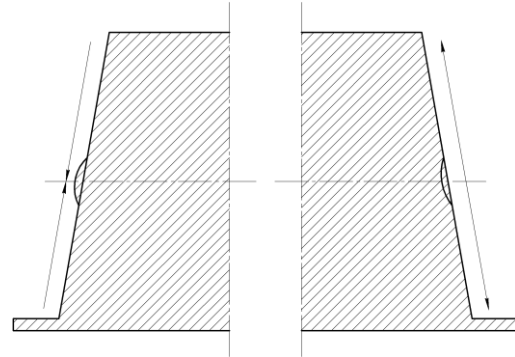


Рис. 1. Дефекты, возникающие при накатке зуба  
Fig. 1. Defects that occur during tooth rolling

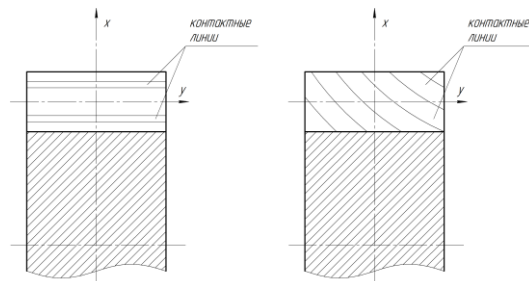
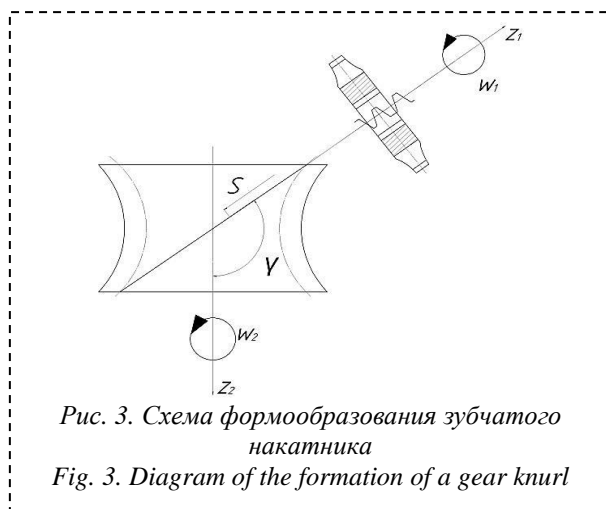


Рис. 2. Контактные линии на накатываемом зубе  
Fig. 2. Contact lines on a rolling tooth

Кроме того, контактные линии на накатываемом зубе располагаются параллельно осям накатника и накатываемого зубчатого колеса и совпадают по направлению со скоростью скольжения. Такое положение приводит к неравномерной накатке зуба и к образованию волны пластически деформируемого металла. Для получения благоприятных условий накатки необходимо, чтобы контактные линии располагались под углом к скорости скольжения. В этом случае необходимо получать зубчатый накатник как огибающую накатываемого зубчатого колеса. Форма линии контакта на поверхности накатываемого зуба зубчатого колеса зависит от межосевого расстояния  $a_w$  в рассматриваемом зацеплении инструмента и заготовки, а также от угла их скрещивания. Проведя анализ зацепления инструмента и заготовки, можно отметить, что контактные линии располагаются под различным углом наклона к поверхности накатываемого зуба. Расположение контактных линий на накатываемом зубе представлено на Рис. 2.

Если в процессе формообразования накатной зубчатый инструмент и накатываемое зубчатое колесо расположить на скрещивающихся осях,

то процесс накатки будет проходить без описанных выше дефектов. Кроме того, в этом случае можно повысить производительность накатки зубьев, так как в этом случае зубчатый накатник будет работать как многозаходная зуборезная фреза. В процессе исследования необходимо определить профиль зубчатого накатника как огибающую накатываемого зубчатого колеса. Если изготавливать накатник на зубофрезерном станке, как огибающую конкретного зубчатого колеса (определенное число зубьев), то такой накатник будет накатывать зубчатые колеса с этим же числом зубьев. Такие схемы формообразования не сложно реализовать в промышленности.



Если изготавливать такие накатники на серийных зубофрезерных станках при помощи зуборезных долбяков или резцов летучек, можно получить два вида зубчатых накатников [6, 7]. Если получать такие накатники при помощи долбяков определенного типоразмера при помощи радиального врезания, то получим накатник, базирующийся на теле вида однополостного гиперолоида. Если при нарезании зубонакатного инструмента кроме радиальной подачи использовать и осевую подачу, то получим накатники, базирующиеся на квазигиперолоидных заготовках. В первом случае зубчатый накатник будет иметь небольшую ширину, во втором случае можно получить накатник значительной ширины, но оба эти инструмента смогут накатывать цилиндрические зубчатые колеса, параметры которых равны параметрам инструмента, при помощи которого получен такой накатник (число зубьев).

В данном исследовании разработаем зубонакатной инструмент, способный накатывать зубчатые колеса с любым числом зубьев. Такой инструмент должен иметь линейный характер касания зубьев с зубчатым колесом бесконечно большого диаметра, т. е. с зубчатой рейкой. В этом случае производящий исходный контур в своем относительном

движении должен описывать зубчатую рейку. В настоящее время нет таких зубофрезерных станков, а тем более зуборезного инструмента.

При изготовлении зубонакатного инструмента в пространственном станочном зацеплении (оси заготовки и инструмента скрещиваются) движение формообразования должно быть направлено вдоль прямолинейной образующей изготавливаемого накатного инструмента. Наличие в производственной сфере различных станков с ЧПУ позволяет в настоящее время решать проблемы с изготовлением инструмента, которые ранее не удавалось решить.

В данном исследовании эту проблема была решена на горизонтально-фрезерном станке с ЧПУ. Схема формообразования накатника заключается в движении дискового инструмента (дисковая модульная фреза или шлифовальный круг), описывающего в своем относительном движении зуборезную рейку, что позволяет получить зубчатый накатник, профиль которого ранее не был изучен [8, 9]. Схема изготовления такого накатника представлена на Рис. 3.

Возникает задача определения профиля зуба полученного зубчатого накатника как огибающей накатываемого цилиндрического зубчатого колеса. Можно рассматривать инструментальную поверхность как огибающую накатываемого цилиндрического зубчатого колеса в двухпараметрическом огибании. Параметры изготовления такой поверхности – это движение обкатки дискового инструмента (согласованное вращение изготавливаемой заготовки и профиля, описываемого дисковым инструментом), а также подача дискового инструмента вдоль прямолинейной образующей изготавливаемого накатника. Зная в аналитическом виде уравнение поверхности накатываемого зубчатого колеса (в данном случае это зубчатая рейка), можно при помощи несложных преобразований описать поверхность искомого зубчатого накатника. В первом приближении можно представить зубчатую рейку как прямолинейную образующую, которая при скрещенных осях зацепляется с однополостным гиперолоидом, представляющим собой искомый гиперолоидный накатник.

Определим профиль зуба искомого гиперолоидного накатника в аналитическом виде. Для этого рассчитаем координаты  $x_2$ ,  $y_2$  в подвижной системе координат, связанной с поверхностью зуба гиперолоидного накатника. Для этого определим огибающую двухпараметрического семейства поверхностей (вращение заготовки и инструмента и подача инструмента) [10].

В системе координат  $x_1$ ,  $y_1$ ,  $z_1$ , связанной с накатываемым зубчатым колесом, известен

радиус-вектор точки контакта инструмента и заготовки в следующем виде:

$$\vec{r}_1 = \vec{r}_1(v, \psi) = (x_1(v) - r)\vec{i} + y_1(v)\vec{j} + z_1(\psi)\vec{k} \quad (1)$$

здесь:  $x_1(v)$  и  $y_1(v)$  – необходимое число раз дифференцируемые по параметру  $v$  функции;

$r = const$  – радиус окружности;

$\psi$  – текущая координата по оси  $Z_1$ .

Переход от системы координат  $x_1, y_1, z_1$ , связанной с цилиндрическим зубчатым колесом, к системе координат  $x_2, y_2, z_2$ , связанной с накатником, осуществим при помощи следующего выражения:

$$r_2 = M_{2p}M_{p0}M_{01}r_1, \quad r_2 = M_{21}r_1, \quad (2)$$

здесь:  $M_{21}$  – матрица перехода от системы заготовки к системе инструмента.

Для непрерывного зацепления зубьев накатного инструмента с зубьями накатываемого зубчатого колеса должно выполняться уравнение непрерывности станочного зацепления, имеющее следующий вид:

$$\vec{V}^{(12)}N = 0 \quad (3)$$

После ввода исходных данных в уравнение (3) и несложных преобразований это уравнение можно записать в следующем виде:

$$f_1(v, \phi_1, \psi) = (u_{21} \cos \gamma - 1)[y_1 y_1' + x_1'(x_1 - r)] + z_1 u_{21} \sin \gamma (y_1' \cos \phi_1 + x_1' \sin \phi_1) - Au_{21} \cos \gamma (y_1' \sin \phi_1 - x_1' \cos \phi_1) = 0. \quad (4)$$

Полученное уравнение вместе с уравнениями  $x_2, y_2, z_2$  представляет собой поверхность зубьев гиперболоидного инструмента:

$$\begin{aligned} x_2 &= (x_1 - r)(\cos \phi_1 \cos \phi_2 + \cos \gamma \sin \phi_1 \sin \phi_2) + \\ &+ y_1(-\sin \phi_1 \cos \phi_2 + \cos \gamma \cos \phi_1 \sin \phi_2) + \\ &+ z_1 \sin \gamma \sin \phi_2 + A \cos \phi_2; \\ y_2 &= (x_1 - r)(\cos \phi_1 \sin \phi_2 - \cos \gamma \sin \phi_1 \cos \phi_2) + \\ &+ y_1(-\sin \phi_1 \sin \phi_2 - \cos \gamma \cos \phi_1 \cos \phi_2) - \\ &- z_1 \sin \gamma \cos \phi_2 + A \sin \phi_2; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} z_2 &= (x_1 - r) \sin \gamma \sin \phi_1 + y_1 \sin \gamma \cos \phi_1 - z_1 \cos \gamma; \\ f_1(v, \phi_1, \psi) &= (u_{21} \cos \gamma - 1)[y_1 y_1' + x_1'(x_1 - r)] + \\ &+ z_1 u_{21} \sin \gamma (y_1' \cos \phi_1 + x_1' \sin \phi_1) - \\ &- Au_{21} \cos \gamma (y_1' \sin \phi_1 - x_1' \cos \phi_1) = 0. \end{aligned}$$

Для решения представленной системы уравнений выразим  $z_1$  из четвертого выражения системы (5), подставим его в третье уравнение этой же системы, получим следующее выражение:

$$f_1(v, \phi_1, \psi) = (u_{21} \cos \gamma - 1)[y_1 y_1' + x_1'(x_1 - r)] + z_1 u_{21} \sin \gamma (y_1' \cos \phi_1 + x_1' \sin \phi_1) - Au_{21} \cos \gamma (y_1' \sin \phi_1 - x_1' \cos \phi_1) = 0. \quad (6)$$

Далее, задавая значения  $z_2$  (от 0 до 20 с выбранным шагом = 1 мм) и варьируя значением угла развертки эвольвенты (от 0 до 45° с шагом 1°), из (6) находим угол поворота  $\phi_1$  накатываемого зубчатого колеса, при котором происходит зацепление заготовки с

гиперболоидным накатником. Подставляя найденные углы поворота  $\phi_1$  в первые два уравнения системы (5), находим координаты  $x_2, y_2$  искомого гиперболоидного инструмента. Необходимо отметить, что координаты  $x_2, y_2$  получены в зависимости от  $z_2$ . Имея координаты  $x_2, y_2$ , находим радиус накатного инструмента в произвольном сечении по следующей зависимости:

$$r_2 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2}.$$

Контактные линии на зубе накатываемого цилиндрического зубчатого колеса определяются путем решения выражения (6) относительно переменного параметра  $\psi$ :

$$\psi = \{(u_{21} \cos \gamma - 1)[y_1 y_1' + x_1'(x_1 - r)] - Au_{21} \cos \gamma (y_1' \sin \phi_1 - x_1' \cos \phi_1)\} / u_{21} \sin \gamma (x_1' \sin \phi_1 - y_1' \cos \phi_1). \quad (7)$$

Совокупность уравнений (1) и (7) при заданном значении угла поворота заготовки  $\phi_1$  будет определять контактные линии на зубьях цилиндрического обрабатываемого колеса. Варьируя значения  $\phi_1$ , можно найти множество контактных линий на зубе накатываемого

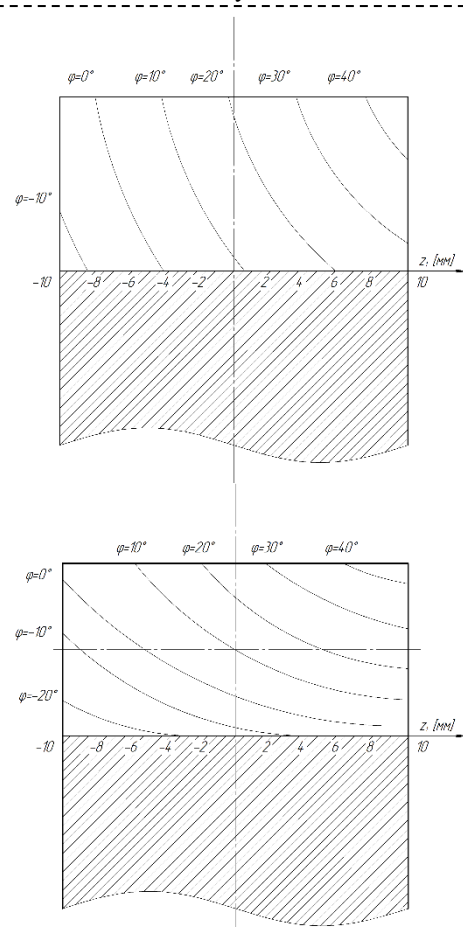


Рис. 4. Схема расположения контактных линий на накатанном зубе

Fig. 4. Layout of contact lines on a knurled tooth





Рис. 5. Многозаходный зубчатый накатник  
Fig. 5. Multi-start gear knurl



Рис. 6. Накатанные зубчатые колеса  
Fig. 6. Knurled gears

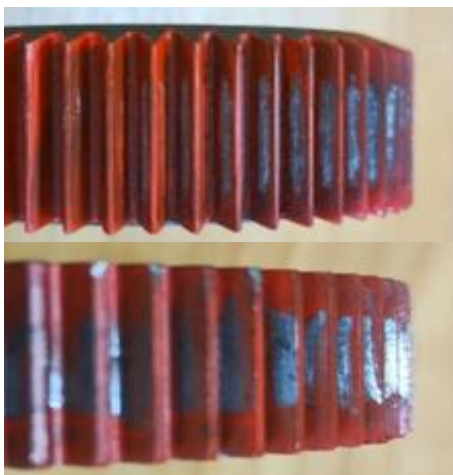


Рис. 7. Мгновенное пятно контакта при обкатке инструмента и заготовки  
Fig. 7. Instant contact patch when running in tool and workpiece

зубчатого колеса [11, 12].

Схема расположения контактных линий на зубьях накатанного зубчатого колеса представлена на Рис. 4. Расположение контактных линий меняется в зависимости от величин угла наклона осей инструмента и заготовки, а также от количества накатанных зубьев. С увеличением числа накатанных зубьев расположение контактных линий становится более пологим, а их длина увеличивается (Рис. 4б). Необходимо отметить, что контактные линии располагаются под углом к поверхности зуба, что благоприятно для накатки, следовательно, исключаются погрешности, появляющиеся при традиционных технологиях накатки зубьев.

При переводе поверхности (1) из подвижной системы координат  $x_1y_1z_1$  в неподвижную  $xуz$  получим поверхность, описываемую спроектированным накатным инструментом:

$$\begin{cases} x = (x_1 - r) \cos \phi_1 - y_1 \sin \phi_1; \\ y = (x_1 - r) \sin \phi_1 + y_1 \cos \phi_1; \\ z = \{(u_{21} \cos \gamma - 1)[y_1 y_1' + x_1'(x_1 - r)] - \\ - Au_{21} \cos \gamma (y_1' \sin \phi_1 - \\ - x_1' \cos \phi_1)\} / u_{21} \sin \gamma (x_1' \sin \phi_1 - y_1' \cos \phi_1) \end{cases} \quad (8)$$

Используя выражения (8) при конкретном значении угла поворота  $\phi_1$ , можно определить контактные линии на зубе накатываемого прямоугольного цилиндрического зубчатого колеса.

При анализе выражений, полученных в работе, был найден профиль и геометрические размеры искомого зубчатого накатного инструмента [13, 14, 15]. Общий вид этого инструмента представлен на Рис. 5.

Для накатки зубьев цилиндрических зубчатых колес был выбран разработанный гиперболоидный накатник с числом витков  $z=17$ , диаметр делительной окружности в центральном сечении составляет  $d_d=72$  мм. При помощи этого накатника накатывались зубчатые колеса с числом зубьев  $z_1=76$  и  $z_2=37$ . Эти колеса представлены на Рис. 6.

С использованием приведенных выше зависимостей для определения контактных линий на поверхности накатанного зуба были построены контактные линии на зубьях накатанных зубчатых колес с различным числом зубьев [16, 17, 18]. Эти зубчатые колеса накатывались при помощи изготовленного накатника. На Рис. 7 показано расположение и величина мгновенного пятна контакта на зубчатых колесах с числом зубьев  $z_1=76$  и  $z_2=37$ .

В процессе проведенного эксперимента была определена величина мгновенного пятна контакта, которая составила не менее 40% от площади контактирующего зуба. Необходимо отметить, что величина пятна контакта приблизительно одинаковая для зубчатых пар с различными передаточными отношениями [19,

20]. Вышеприведенное говорит о том, что разработанная в работе схема формообразования винтовых зубчатых колес позволяет нарезать винтовые зубчатые колеса различной геометрии. Все эти винтовые зубчатые колеса в процессе формообразования, в своем относительном движении зацеплялись с воображаемой зуборезной рейкой. Такое положение объясняет линейный характер пятна контакта между зубьями при любом передаточном отношении.

#### Выводы

1. Разработана математическая модель формообразования накатного инструмента, имеющая непрерывное станочное касание с накатываемым зубчатым колесом.

2. Определена теоретическая инструментальная поверхность, описанная дисковым инструментом на однополостном гиперboloиде.

3. Найдена схема формообразования инструментальной поверхности дисковыми фрезами на горизонтально-фрезерных станках с ЧПУ.

4. Определены конструктивные параметры и геометрические размеры зубчатых накатников.

5. Изготовлены гиперboloидные производящие поверхности накатного инструмента.

6. Экспериментально подтверждена способность полученных накатников накатывать зубчатые колеса с различным числом зубьев.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калашников С. Н., Калашников А. С., Коган Г. И. [и др.] Производство зубчатых колес: Справочник. Под ред. Б. А. Тайца. [3-е изд.]. М. : Машиностроение, 1990. 464 с.
2. Родин П. Р. Основы проектирования режущих инструментов: Учебник. Киев : Высшая школа, 1990. 424 с.
3. Сахаров Г. Н. Обкаточные инструменты. М. : Машиностроение, 1983. 232 с.
4. Сулов А. Г. Технология машиностроения. Учебник. М. : Издательство «Кнорус», 2020. 336с.
5. Лебедев В. А. [и др.] Современные технологии формообразования. М. : Инфра-М, 2019. 320с.
6. Патент № 1819196 СССР, МПК В23F 17/00 (2006.01). Способ изготовления гиперboloидных зубчатых колес: № 1819196: заявл. 25.02.1991: опубл. 30.05.1993 / Витренко А. Н., Витренко В. А. Луганский машиностроительный институт. 3 с.
7. Патент № 965645 СССР, МПК В 23 F 1/06. Способ изготовления гиперboloидных зубчатых колес и устройство для его осуществления: № 965645: заявл. 03.09.80: опубл. 15.10.82 / В. М. Печенкин; заявитель Казанский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт им. А. Н. Туполева. 4 с.
8. Михайлова А. Д. Разработка новой схемы

формообразования гиперboloидных производящих инструментальных поверхностей: специальность 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Луганск, 2023. 142 с.

9. Ефимов А. А. Повышение эффективности изготовления многозаходных винтовых зубчатых колес за счет совершенствования схем формообразования: специальность 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Луганск, 2023. 132 с.

10. Литвин Ф. Л. Теория зубчатых зацеплений. М. : Наука, 1968. 584 с.

11. Витренко В. А. [и др.] Накатка элементов ходовой части подвижного состава в пространственном станочном зацеплении // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля [Научн. журнал]. 2023. № 11(77). С. 125–129.

12. Витренко В. А. [и др.] Инструмент и особенности накатки зубьев тяговых зубчатых колес подвижного состава // Вестник Луганского государственного университета имени 2023. № 12(78). С. 117–121.

13. Витренко В.А., Ефимов, А. А. Михайлова А. Д. Производящая поверхность гиперboloидного зубообкатного инструмента // Вестник современных технологий: сб. науч. тр. Севастоп. гос. ун-т. Севастополь : СевГУ, 2021. Вып. 3(23). С. 41–46.

14. Dr. Cristian Dietz and Walter Graf. Making gear grinding transparent. Gear technology, may 2022, pp. 30–32.

15. Nikolaos Tapoglou. Investigation of gear surface topography and deviations in gear skiving through advanced CAD modeling-based simulation. Gear technology, July 2022, pp. 50–55.

16. Лашнев С. И., Борисов Л. Н. Геометрическая модель формирования поверхностей режущими инструментами // СТИН: станки, инструмент: научно-технический журнал, 1995. № 1. С. 22–26.

17. Витренко В. А. [и др.] Создание новых схем формообразования зубчатых винтовых поверхностей. Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXX международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-17 сентября 2023 г. Донецк : ДонНТУ, 2023. С. 73–76. ISSN 2079-2670.

18. Витренко В. А., Ефимов, А. А., Михайлова А. Д., Воронцов И. Б. Формообразование гиперboloидных поверхностей при помощи дисковых и концевых фрез // Материалы Пятой международной научно-технической конференции (18–21 октября 2022 г.) «Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития». Отв. за вып. О. А.

Белов. Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2022. С. 81–84.

19. ISO/TC 60/SC 2/WG 6, 2018, «Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 22: Calculation of micropitting load capacity», ISO/TS

6336-22.

20. Olson R., Michaud M., Keller J. «Case Study of ISO/TS 6336-22 Micropitting Calculation». AGMA Fall Technical Meeting. 2020. Paper 20FTM07.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Витренко Владимир Алексеевич**, Луганский государственный университет им. Владимира Даля (291034, Российская Федерация, ЛНР, г. Луганск, кв. Молодежный, 20А), доктор техн. наук, профессор, e-mail: vitrenko.vl@gmail.com

**Ефимов Александр Александрович**, Луганский государственный университет им. Владимира Даля 291034, Российская Федерация, ЛНР, г. Луганск, кв. Молодежный, 20А), старший преподаватель, e-mail: san-yo-k@mail.ru

**Михайлова Александра Дмитриевна**, Луганский государственный университет им. Владимира Даля 291034, Российская Федерация, ЛНР, г. Луганск, кв. Молодежный, 20А), старший преподаватель, e-mail: lexi\_mix94@mail.ru

**Стоянов Александр Анатольевич**, Луганский государственный университет им. Владимира Даля 291034, Российская Федерация, ЛНР, г. Луганск, кв. Молодежный, 20А), доктор техн. наук, профессор, e-mail: sovetmts@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Витренко В. А. – постановка исследовательской задачи; концептуализация исследования; выводы.

Ефимов А. А. – обзор соответствующей литературы; написание текста, сбор и анализ данных.

Михайлова А. Д. – обзор соответствующей литературы; написание текста, сбор и анализ данных.

Стоянов А. А. – постановка исследовательской задачи; концептуализация исследования; выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

### PERFECTION OF ROLLING TOOL FORMATION SCHEME

Vladimir A. Vitrenko \*,  
Alexandr A. Efimov,  
Alexandra D. Mikhailova,  
Alexandr A. Stoyanov

Lugansk Vladimir Dal State University

\*for correspondence: vitrenko.vl@gmail.com



#### Article info

Received:

14 June 2024

Accepted for publication:

22 November 2024

Accepted:

02 December 2024

#### Abstract.

Perfection of design and schemes of gear-treating tools formation is one of the major trends facing production engineers and tool manufacturers which allows to obtain high-quality products at minimum production cost.

Great number of gearwheels is produced by all leading enterprises of general machine-building. Gearwheels are subjected to different methods of surface-plastic deformation in order to increase their durability and improve their surface quality. More frequently teeth of wheels are rolled in a space machine-tools engagement using gear rollers obtained in a flat machine-tool engagement. Such state leads to defects in tooth being rolled such as wave of plastic deformed metal running along the surface of the tooth being treated and distortion of a gear wheel tooth profile. To eliminate these drawbacks a new formation scheme of gear rollers in a space machine-tool engagement

Published:  
05 December 2024

**Keywords:** scheme of shape formation, rolling tool, profile, gear wheel, contact lines, hyperbola surface.

according to the third class shape formation scheme has been offered. Developed teeth-rolling tools have higher loading ability in comparison with normal teeth rollers. Basic instrument surface of such tool is its surface of formation which allows to obtain high quality of rolled teeth at simultaneous elimination of rolling defects. This tool has high productivity in comparison with normal rollers due to linear character of teeth contact as well as a great number of turns (passes). Production of hyperbola tools surfaces is performed at NC horizontal milling machines by means of shape formation of teeth along rectilinear generation of a roller being produced. Tooth rollers obtained in accordance with the offered scheme can roll gear teeth of any geometry of a wheel.

**For citation:** Vitrenko V.A., Efimov A.A., Mikhailova A.A., Stoyanov A.A. Perfection of rolling tool formation scheme. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 6(166):5-13. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-5-13, EDN: ZRWDTG

#### REFERENCES

1. Kalashnikov S.N. [et al.] Gear wheel production: Reference book. Edited by B.A. Taitz. [3-ed edition.]. M.: Machine-building; 1990. 464 p.
2. Rodin P.R. Fundamentals of cutting tools design: Textbook. Kiev: High School; 1990. 424 p.
3. Sakharov G.N. Rolling tools. M.: Machine-building; 1983. 232 p.
4. Suslov A.G. Production Engineering. Textbook. M.: Publishing House Knorus; 2020. 336p.
5. Lebedev V.A. [et al.] Modern technologies of shape formation. M.: Infra-M; 2019. 320p.
6. Patenet № 1819196 USSR, MPK B23F 17/00 (2006.01). Process of hyperbola gear wheels production: № 1819196: claimed. 25.02.1991: published. 30.05.1993 / Vitrenko A.N., Vitrenko V.A., Lugansk Machine-Building Institute. 3 p.
7. Patent № 965645 USSR, MPK B 23 F 1/06. Process of hyperbola gear wheels production and equipment for its realization: № 965645: claimed 03.09.80: published 15.10.82 / V.M. Pechenkin; claimant Kazan Order of the Red Banner of Labour Aviation Institute named after A.N. Tupolev. 4 p.
8. Mikhailova A.D. Development of new scheme of shape formation of hyperbola producing of tool surfaces: specialty 2.5.5 "Production Engineering and Equipment of Mechanical and Physical-Technical Treatment": thesis for a candidate of science degree (Engineering). Lugansk, 2023. 142 p.
9. Efimov A.A. Increase of effectiveness of multi-passing helical gear wheels production due to perfection of shape formation schemes: specialty 2.5.5 "Production Engineering and Equipment of Mechanical and Physical-Technical Treatment": thesis for a candidate of science degree (Engineering). Lugansk, 2023. 132 p.
10. Litvin F.L. Theory of teeth engagements. M.: Science (Nauka); 1968. 584 p.
11. Vitrenko V.A. [et al.] Rolling of rolling stock movement unit elements in a space machine-tolls engagement. *Vestnik Lugansk Vladimir Dal State University [Science Journal]*. 2023; 11(77):125–129.
12. Vitrenko V.A. [et al.] Tools and peculiarities of rolling stock running gear-wheels rolling. *Vestnik Lugansk Vladimir Dal State University [Science Journal]*. 2023; 12(78):117–121.
13. Vitrenko V.A., Efimov A.A., Mikhailova A.D. Producing surface of hyperbola tooth rolling tools. *Vestnik of modern technologies: collection of scientific works Sevastopol State University*. 2021; 3(23):41–46.
14. Dr. Cristian Dietz and Walter Graf. Making gear grinding transparent. *Gear technology*, may 2022, pp. 30–32.
15. Nikolaos Tapoglou. Investigation of gear surface topography and deviations in gear skiving through advanced CAD modeling-based simulation. *Gear technology*, July 2022, pp. 50–55.
16. Lashnev S.I., Borisov L.N. Geometrical model of surface formation usingcutting tools. *STIN: machine-tools, instrument: science and technical journal*. 1995; 1:22–26.
17. Vitrenko V.A. [et al.] Creation of new schemes of helical gear surfaces shape formation. Machine-building and technosphere of XXI century. *Collection of works of XXX international scientific and technical conference in Sevastopol September 11-17, 2023*. Donetsk: DonNTU; 2023. Pp. 73–76. ISSN 2079-2670.
18. Vitrenko V.A., Efimov A.A., Mikhailova A.D., Voronzov I.B. Shape formation of hyperbola surfaces using disc and end mills. *Materials of the Fifth international scientific and technical conference (October 18–21, 2022) "Technical operation of water transport: problems and ways of development"*. Responsible for edition O.A. Belov. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatSTU; 2022. Pp. 81–84.
19. ISO/TC 60/SC 2/WG 6, 2018. "Calculation of load capacity of spur and helical gears – Part 22: Calculation of micropitting load capacity". ISO/TS 6336-22.
20. Olson R., Michaud M., Keller J. "Case Study of ISO/TS 6336-22 Micropitting Calculation". AGMA Fall Technical Meeting. 2020. Paper 20FTM07.

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.



*About the authors:*

**Vladimir A. Vitrenko**, Lugansk Vladimir Dal State University (291034, The Russian Federation, LPR, city of Lugansk, Molodjzhny block, 20A), Doctor of Science (Engineering), Professor, e-mail: vitrenko.vl@gmail.com

**Alexandr A. Efimov**, Lugansk Vladimir Dal State University (291034, The Russian Federation, LPR, city of Lugansk, Molodjzhny block, 20A), Candidate of Science (Engineering), senior lecturer, e-mail: san-yok@mail.ru

**Alexandra D. Mikhailova**, Lugansk Vladimir Dal State University (291034, The Russian Federation, LPR, city of Lugansk, Molodjzhny block, 20A), Candidate of Science (Engineering), senior lecturer, e-mail: lexi\_mix94@mail.ru

**Alexandr A. Stoyanov**, Lugansk Vladimir Dal State University (291034, The Russian Federation, LPR, city of Lugansk, Molodjzhny block, 20A), Candidate of Science (Engineering), associate professor, e-mail: sovetmts@yandex.ru

*Contribution of the authors:*

Vladimir A. Vitrenko – research problem statement; conceptualization of research; drawing the conclusions.

Alexandr A. Efimov – relevant literature review; text writing, data collection and data analysis.

Alexandra D. Mikhailova – relevant literature review; text writing, data collection and data analysis.

Alexandr A. Stoyanov – research problem statement; conceptualization of research; drawing the conclusions.

*All authors have read and approved the final manuscript.*

