

УДК 621.914

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-7-19-27

Д.Т. Сафаров, А.Г. Кондрашов, А.И. Фасхутдинов

ИСКЛЮЧЕНИЕ ЧРЕЗМЕРНОГО ПОДРЕЗА НОЖКИ ЗУБА КОСОЗУБЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС ПРОТУБЕРАНЦЕМ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ НА ОСНОВЕ ГРАФИЧЕСКИХ ОБКАТОВ

Выявлены условия возникновения чрезмерного подреза ножки зуба косозубых цилиндрических колес при выполнении графических обкатов инструментальной рейки.

Предотвращены ошибки в расчетах геометрических параметров протуберанца червячной фре-

зы. Графический обкат необходимо выполнять не менее чем на 1,5 шаге фрезы.

Ключевые слова: цилиндрическая передача, графический обкат, ножка, зуб, подрез, операция.

D.T. Safarov, A.G. Kondrashov, A.I. Faskhutdinov

TOOTH LEG EXCESSIVE UNDERCUT ELIMINATION IN HELICAL CYLINDRICAL GEARS WITH PROTUBERANCE OF HOBGING CUTTER BASED ON GRAPHIC RUN-IN

In the paper there are considered procedures for designing a transition curved tooth leg of helical cylindrical gears. A significant parameter of a transition curve is a diameter of boundary points. The boundary point diameter belongs to a bottom point of the involute profile of the teeth side surface of a gear ring. The boundary point position must be lower of the design end point of the involute profile defined by the designer of gearing. A diameter value depends upon a great number of production factors: a profile and wear of a grinding disk, setting up parameters, teeth machining modes of a gear ring, but it is impossible to ensure the specified values of the diameter of boundary points without a correct design solution in the course of the form choice of milling cutter protuberance. The solution on protuberance acceptable parameters of a gear-cutting tool is made by the designer of a cutter during graphic run-in fulfillment. In the paper there are revealed conditions under which arise mistakes in the course of graphic run-in fulfillment within the limits of one teeth pitch of a milling cutter. There are shown recommendations for the fulfillment ensuring the diameter dimension of boundary points of the transition

curve specified by the designer of gearing. The data on the design parameter impact of the hob protuberance upon the continuance of cutting edge interaction are shown. There are recommendations given to prevent undercut arising caused by the fulfillment of graphic two-dimensional run-ins of cylindrical helical gears.

The work purpose: the elimination of tooth leg excessive undercut in helical cylindrical gears with the protuberance of a worm milling cutter at the expense of the fulfillment of graphic run-in conditions.

The investigation methods: the graphical modeling of a run-in process.

The investigation results and novelty: there are defined conditions of arising an excessive undercut in the tooth leg of helical cylindrical gears during the fulfillment of graphic run-ins of a tool rack.

The conclusions: for mistake prevention in the calculations of the protuberance geometrical parameters of the helical milling cutter the graphic run-in must be carried out not less than on the 1.5 pitch of the milling cutter.

Key words: cylindrical gear, graphic run-in, leg, tooth, undercut, operation.

Введение

Косозубые цилиндрические зубчатые передачи часто применяются для преобразования механической энергии в механизмах трансмиссий современных автомобилей. В процессе проектирования зубчатых передач стремятся обеспечить различные показатели кинематические, плавности работы, запаса прочности. Важным показателем, влияющим на плавность работы передачи, является коэффициент торцевого перекрытия. Значение коэффициента

находится как отношение углов поворота колеса, на котором происходит касание боковых поверхностей зубьев колеса к угловому шагу зубьев зубчатого колеса. Для обеспечения расчетного значения этого показателя у зубчатой передачи необходимо для каждого зубчатого колеса, входящего в ее состав обеспечить заданную длину активного профиля зуба. Его длина зависит от действительной величины диаметрального размера окружности вершин

и граничной точки эвольвенты по дну впадины.

Диаметр окружности вершин формируется в токарных или шлифовальных переходах обработки наружной цилиндрической поверхности зубьев фрезы. С обеспечением диаметального размера окружности вершин проблем не возникает, поскольку управлять его величиной можно путем подналадок резца или шлифовального круга в радиальном направлении к оси зубчатого колеса.

Диаметральный размер граничных точек принадлежит нижней точке эвольвентного профиля и формируется в результате процесса обката производящего профиля фрезы и обрабатываемой заготовки зубчатого колеса. Положение граничной точки должно быть ниже расчетной конеч-

Теоретическая часть

В настоящее время многие авторы совершенствуют стандартные методики проектирования зуборезных инструментов, например, долбяков, выполняют оптимизацию элементов червячных фрез, достигают оптимальных геометрических параметров [1-6]. Решают более комплексные задачи проектирования трехмерных моделей червячных фрез, моделируют процессы зубофрезерования [7, 8].

Использование этих и других авторских методик [9] в производственных условиях требует предварительной проверки их приемлемости. Для этих целей, а также для проверки результатов базовой методики проектирования, действующей на предприятиях-производителях зубчатых колес конструкторскими службами используются графические обкаты профилей зубчатого инструмента. Обкат позволяет визуально оценить обеспечение заданных параметров обрабатываемого зубчатого колеса.

Из перечисленных ранее производственных факторов, влияющих на диаметр граничной точки, значимыми являются конструктивные параметры червячной фрезы. При неправильном выборе конструктивных параметров специальных червячных зуборезных фрез все последующие процессы зубообработки не смогут обеспечить положение эвольвентного профиля боковой поверхности зуба зубча-

той точки эвольвентного профиля, определяемой конструктором зубчатой передачи. Обеспечение заданных значений диаметра граничных точек является технологически более сложной задачей, поскольку результаты процесса обката зависят от большего количества факторов: выбранных конструктивных параметров червячной фрезы, и профиля шлифовального круга, параметров наладки.

Цель исследования – устранение несоответствий по диаметру граничных точек переходной кривой косозубых цилиндрических колес за счет геометрически точного выполнения двухмерных графических обкатов профилей зубьев червячных зуборезных фрез, исключающих избыточный подрез ножки зубьев.

того колеса и переходной кривой впадины зубчатого колеса.

Конечная (граничная по ГОСТ 16530-83) точка эвольвентного профиля формируется специально выполненным элементом червячной фрезы – протуберанцем. Это утолщение на вершине зуба червячной фрезы является режущей частью фрезы, формирующей профиль впадины зуба зубчатого колеса и как следствие этого положение граничной точки. От его формы и параметров зависит конечный диаметр граничной точки (рис. 1). Как видим, конструктор режущего инструмента может в широких пределах изменять форму протуберанца от прямолинейного до радиусного, влияя на форму впадины зубчатого колеса и положение граничной точки эвольвентного профиля.

Современные системы проектирования, такие как например *KISSsoft*, позволяют в зависимости от выбранной конструктором формы протуберанца рассчитать координаты положения граничной точки. Однако численные расчеты не наглядны, а встроенные инструменты проектирования не дают подсказок по оптимальной форме протуберанца. Поэтому для визуализации численных расчетов конструкторами режущего инструмента применяются методы графического обката профилей зубьев червячной фрезы.

Ранее, до широкого применения персональных компьютеров, в целях расчета параметров зуба червячной зуборезной фрезы применялись утвержденные методики, рассчитанные на «ручное» графическое и аналитическое проектирование. Затем эти же методики были автоматизированы наиболее квалифицированными ин-

женерами этих служб в виде вспомогательного программного продукта, самостоятельно по исходным данным, выполняющего графический обкат. Повысилась скорость и точность построений. В ходе длительного времени эта методика успешно применялась для проектирования червячных фрез.

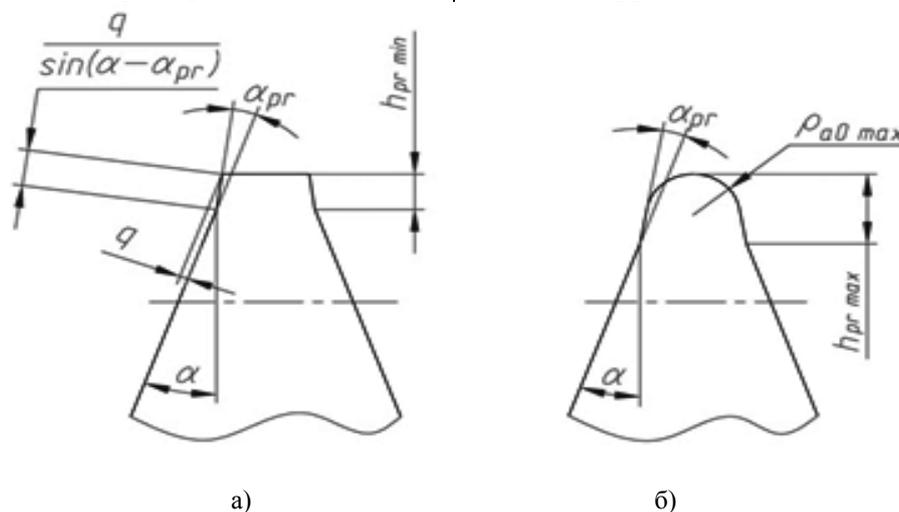


Рис. 1. Протуберанцы зуба червячной фрезы: а - прямолинейный; б - радиусный

При подготовке производства новых шестерен передач автомобиля для достижения максимальной прочности зубчатого колеса по ножке зуба, потребовалась оптимизация формы протуберанца в более широких границах. В результате после изготовления предсерийных партий шестерен, неожиданно выявились несоответствия диаметра граничных точек эвольвентного профиля их расчетным значениям. Причиной могли быть ошибки проектирования, ошибки при наладке, неточность изготовления инструмента.

Причем до этого такой вид несоответствий не проявлялся. В ходе поиска причин несоответствий размеров нижних граничных точек были проанализированы все основные конструкторские и технологические факторы.

Основным конструкторским фактором является правильность расчетов параметров протуберанца действующей методики графического обката. Для ее проверки необходима альтернативная методика расчета, в правильности и методике расчетов которой имеется полная уверенность. Распространенные системы автоматизации графического проектирования, например, Компас, *Unigraphics NX*, *Adem*, не предлагают готовых и проверенных решений вы-

полнения графического обката в виде инструментов, встроенных в свои программные продукты. Воспользоваться известными программными продуктами и другими программными продуктами, выполнения графических обкатов различных авторов, предназначенных для решения задач проектирования инструмента [10, 11] использовать невозможно, поскольку методика их работы авторами в полном объеме не раскрывается.

Поэтому для решения производственных задач было решено создать, собственную графическую программу обката. Она выполнена в виде программы, использующей оболочку и функции более универсальной системы проектирования – *Autocad*. Программа выполняет копирование и смещение инструментальных реек совместно с их вращением.

Анализ правильности выполнения указанных условий разработанной программы выявил, что применявшееся ранее графическое построение зубчатой рейки фрезы, как и при «ручном расчете» червячных зуборезных фрез, исходил из предположения, что формирование активного профиля эвольвенты происходит только в пределах одного шага.

В некоторых случаях одного шага не хватает для образования полного профиля (коэффициент перекрытия несколько больше 1), и возникнет недопрофилирование эвольвентного участка. В результате картина обката не выявляет подреза ножки зуба при заданных параметрах зубчатой рейки.

Графическая схема образования подреза ножки зуба, возникающая за пределами одного шага червячной фрезы, приве-

дена на рис. 2 а, б. Подрез ножки зуба проявляется в уменьшении длины активного эвольвентного профиля зуба и завышенном значении диаметра переходной кривой. Поэтому спроектированная методика обката, должна выполнять обкат на длине, значительно превышающей шаг зуба фрезы и учитывать любое возможное взаимодействие зубьев фрезы с припуском впадины зубчатого колеса.

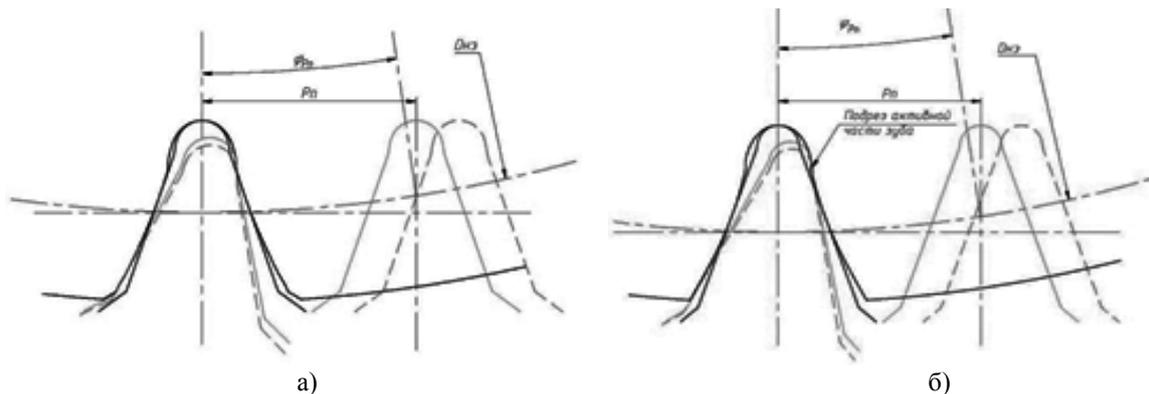


Рис. 2. Крайние положения зуба фрезы и эквивалентной шестерни:
а - при первичном варианте выполнения 2D графического обката;
б - схема образования подреза активной части зуба,
возникающего за пределами одного шага фрезы

Многократные графические обкаты созданной графической программой для одних и тех же параметров профиля зуба зубчатого колеса, но с изменяющимися параметрами протуберанца от $h_{pr \min}$ до $h_{pr \max}$ показали, что полное формирование активного профиля зубчатого колеса может происходить как в пределах одного шага фрезы, так и пределах следующего шага.

На рис. 3 приведены примеры выполненных графических обкатов формообразования впадины зуба. На рис. 3а приведен обкат по ранее применявшейся методике проектирования; по сравнению с ним «удлиненный» графический обкат включает большее количество положений производящей рейки фрезы. На рис. 3в приведен обкат, совмещающий положения рейки по базовому и удлиненному обкатам.

На этом же рисунке и таблицах 1, 2 приведены измеренные в графическом редакторе значения диаметральных размеров граничных точек переходной кривой. Для проверки данных графического обката вы-

полнена численная проверка значений граничной точки в системе проектирования зубчатых колес *KISSsoft*.

Данные расчета и данные графического обката отличаются на величины не более 0,1 мм, что связано с погрешностями измерения параметров в графической системе. Для колеса 1 – $m = 5,85$ $z = 37$ $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 17,5^\circ$ эвольвентная часть профиля формируется практически в пределах одного шага (табл. 1, рис. 2а).

Для колеса 2 при внешне незначительном изменении исходных параметров – $m = 5,75$ $z = 34$ $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 20^\circ$ полное формирование эвольвентного профиля для большинства вариантов исполнения протуберанца, происходит за пределами одного шага фрезы (табл. 2, рис. 2а).

Как видим, комбинация исходных параметров зубчатого колеса 2, по сравнению с параметрами зубчатого колеса 1, привела к значительным отклонениям в значениях диаметра граничных точек. С уменьшением высоты протуберанца возрастает погрешность нахождения диамет-

рального размера граничных точек переходной кривой и составляет для минимального значения величину в 2,204 мм (табл. 2).

При этом в расчете зона соответствующих значений параметров протубе-

ранца, приведенных на рис. 5б рассчитанных по ранее действовавшей методике, превращается в зону ошибочных решений и возникновению подреза ножки зуба у обработанных деталей.

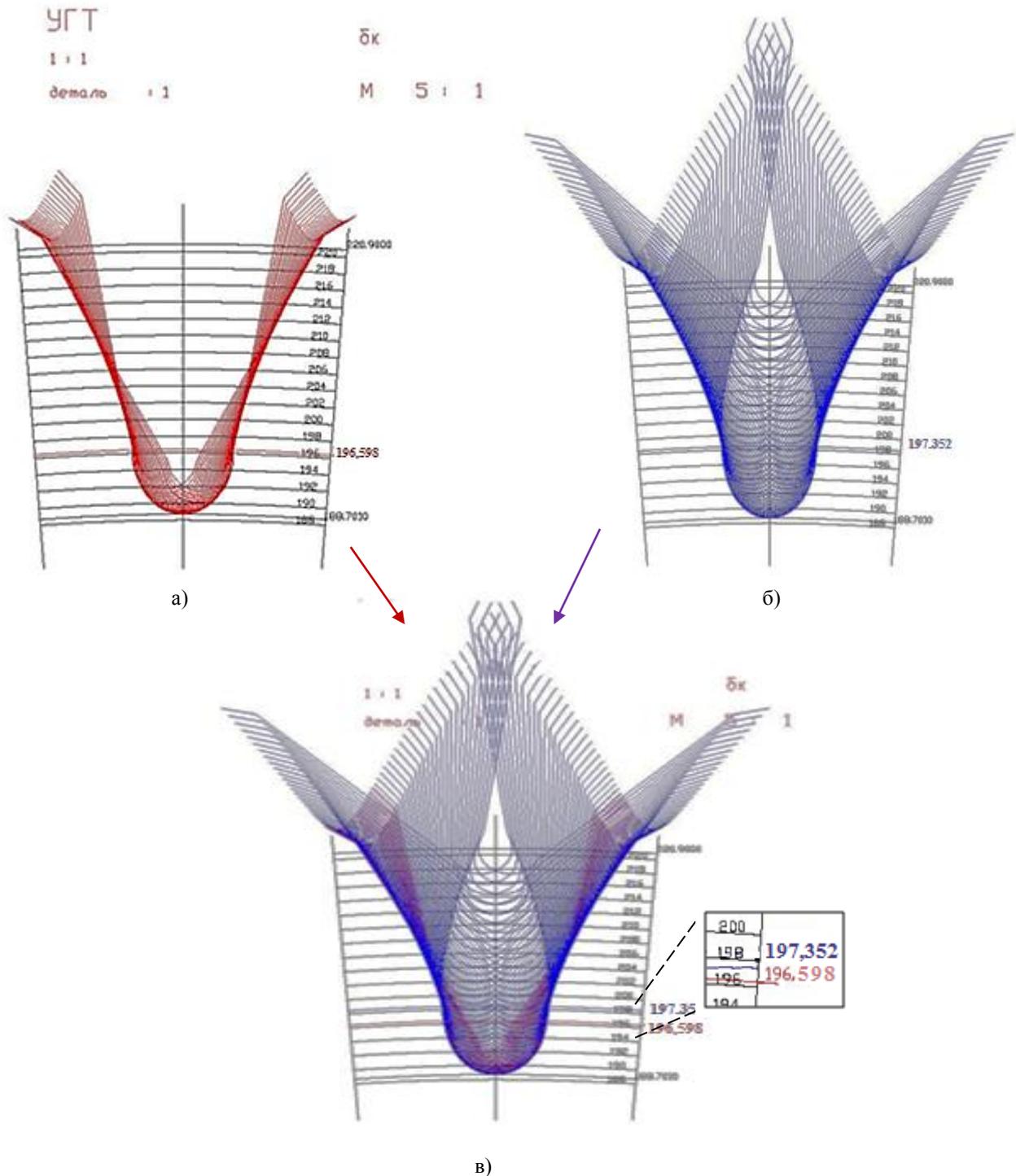


Рис. 3. Результаты графического обката зуба червячной фрезы при обработке впадины колеса 2 (форма протуберанца в виде непрерывной окружности): а - первоначальный обкат, выполняемый инженерами-конструкторами службы проектирования режущих инструментов; б - обкат удлиненный; в - совмещенный обкат

Таблица 1

Отклонения диаметрального размера граничной точки переходной кривой
для колеса 1 (шаг фрезы $Pt = 19,2702$, $Dl \leq 217,8$) мм

hpr , мм.	ρa_0 , мм.	L_{min} , мм.	L_{max} , мм.	L_{min}/Pt , мм.	L_{max}/Pt , мм.	Dl_{max} , мм.	Dl на 1 шаге, мм.	ΔDl , мм.
1,229	0,281	14,645	20,658	0,760	1,072	216,861	216,612	0,249
1,437	0,562	14,144	20,157	0,734	1,046	217,040	216,986	0,054
1,644	0,843	13,643	19,656	0,708	1,020	217,218	217,218	0,000
1,852	1,123	12,641	19,155	0,656	0,994	217,412	217,412	0,000
2,060	1,404	12,140	18,654	0,630	0,968	217,621	217,621	0,000
2,268	1,685	11,639	18,153	0,604	0,942	<i>217,831</i>	<i>217,831</i>	0,000
2,476	1,966	11,138	17,652	0,578	0,916	<i>218,042</i>	<i>218,042</i>	0,000
2,684	2,247	10,136	17,150	0,526	0,890	<i>218,256</i>	<i>218,256</i>	0,000

Таблица 2

Отклонения диаметрального размера граничной точки переходной кривой
для колеса 2 (шаг фрезы $Pt = 19,2235$ $Dl \leq 217,8$ мм.)

hpr , мм	ρa_0 , мм	L_{min} , мм	L_{max} , мм	L_{min}/Pt , мм	L_{max}/Pt , мм	Dl_{max} , мм	Dl на 1 шаге, мм	ΔDl , мм
1,207	0,251	20,358	24,856	1,059	1,293	<i>196,586</i>	194,382	2,204
1,393	0,502	19,858	24,606	1,033	1,280	<i>196,725</i>	194,601	2,124
1,578	0,753	19,358	24,106	1,007	1,254	<i>196,847</i>	194,813	2,034
1,764	1,004	18,608	23,606	0,968	1,228	<i>196,970</i>	195,331	1,639
1,950	1,256	18,109	23,107	0,942	1,202	<i>197,093</i>	195,786	1,307
2,136	1,507	17,609	22,857	0,916	1,189	<i>197,221</i>	196,203	1,018
2,322	1,758	17,109	22,357	0,890	1,163	<i>197,352</i>	<i>196,589</i>	0,762
2,508	2,009	16,359	21,857	0,851	1,137	<i>197,486</i>	<i>196,947</i>	0,539

Примечание: жирным шрифтом выделены приемлемые значения диаметров граничных точек, курсивом неприемлемые.

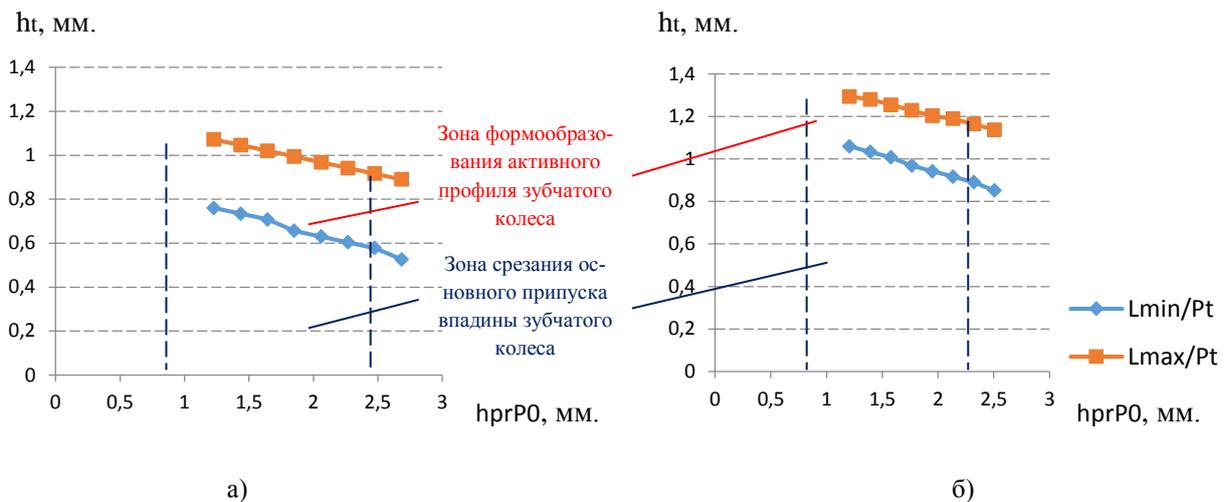


Рис. 4. Графики контактного взаимодействия зуба фрезы с активным профилем зубчатого колеса, приведенные к ее торцевому шагу: а - колесо 1 ($m = 5,85$ $z = 37$ $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 17,5^\circ$); б - колесо 2 ($m = 5,75$ $z = 34$ $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 20^\circ$)

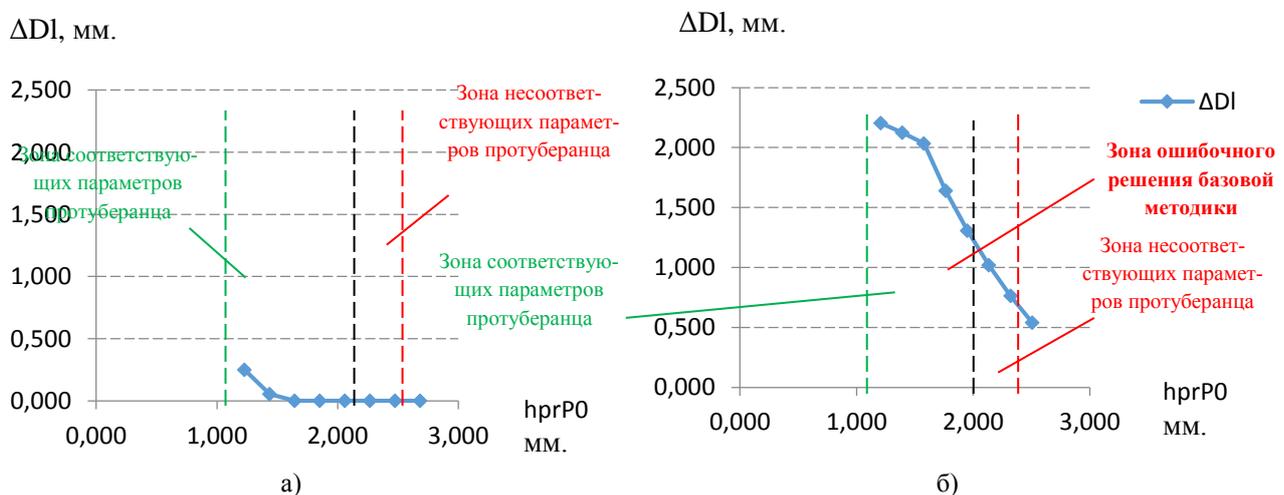


Рис. 5. Графики взаимодействия зуба фрезы с активным профилем зубчатого колеса: а - колесо 1 $m = 5,85$ $z = 37$ $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 17,5^\circ$; б - колесо 2 $m = 5,75$ $z = 34$ $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 20^\circ$

Выводы

Конструкторским службам машиностроительных предприятий, самостоятельно проектирующим специализированный зуборезный инструмент следует предварительно тестировать вспомогательные программы проектирования режущих инструментов. В части проектирования протуберанца зуба червячной фрезы для проверки правильности графического обката такими параметрами являются минимальные значения высоты протуберанца $h_{pr\ min}$, с минимальными значениями радиуса скругления $r_{pr\ min}$, поскольку при этих параметрах риск подреза ножки зуба выше, чем при

более скругленной его форме. Для предотвращения ошибок в расчете выполнять графический обкат следует не менее чем на 1,5 шага фрезы.

Для повышения результативности выявления технологических и конструкторских факторов отклонений изготовленных зубчатых колес, а также адекватности полученных данных процесс проектирования следует выполнять межфункциональной командой, состоящей из научных сотрудников, инженеров-конструкторов и технологов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремнев, А. И. Анализ и синтез методологии проектирования инструмента с исходной инструментальной поверхностью / А. И. Ремнев, О. Г. Кретьова, Н. И. Мячикова, С. В. Швец, М. С. Воронцова // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2016. – Т. 21. – №1. – С. 316-324.
2. Балков, В. П. Современные технологические подходы при изготовлении цилиндрических зубчатых колес в условиях мелкосерийного производства и особенности расчета и проектирования зуборезного инструмента / В. П. Балков, Л. И. Каменецкий, А. С. Кирютин, Е. А. Негинский, О. С. Отт, Д. Н. Пищулин // Металлообработка. – 2015. № 2 (88). – С. 2-6.
3. Hrytsay, I. Improved method of gear hobbing computer aided simulation / I. Hrytsay, V. Stupnytskyu, V. Topchii // Archive of Mechanical Engineering. – 2019. – Vol. 66. – No 4. – pp. 475-494.
4. Савельев, С. В. Выбор оптимальных методов численного проектирования зуборезного долбяка, предназначенного для нарезания эвольвентных колес наружного зацепления / С. В. Савельев, Д. И. Волков // Современные материалы, техника и технологи. – 2017. – №7 (15). – С. 80-86.
5. Ничков, А. В. Оптимизация конструктивных элементов червячной модульной фрезы при заданных параметрах нарезаемого зубчатого колеса / А. В. Ничков // Автоматизация. Современные технологии. – 2016. – № 11. – С. 7-9.
6. Фефилов, Н. Д. Расчет кинематических и статистических углов сборных червячных фрез / Н. Д. Фефилов, С. Л. Рахметов, Е. С. Янов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – №4. – С. 178-185.
7. Рябов, Е. А. Создание модели червячной зуборезной фрезы с использованием эквивалентной зубчатой рейки // Е. А. Рябов, С. Ю. Юрасов, А. Г. Кондрашов / Вестник Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова. – 2017. – Т. 20. – №2. – С. 82-84.
8. Han, J. Analytical study on tooth profile of non-circular gear based on hobbing process simulation / J. Han, D. Li, L. Xia, X. Tian // ASME 2019 14th International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC. – 2019. – Vol. 2. – 155261.
9. Вулгаков, Э. Б. Теория эвольвентных зубчатых передач / Э. Б. Вулгаков. – Машиностроение, 1995. – 320 с.
10. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2016620243 База данных для автоматизированного проектирования червячных зуборезных фрез и моделирования зубофрезерных операций / Петров А.И., Резников С.С., Токарев В.В., Акопян М.Г., Кузнецова О.В., опубли. 17.02.2016. Заявка № 2015621721 от 31.12.2015.
11. Михайлов, М. И. Моделирование процесса обработки поверхности зубчатого колеса червячной фрезой / М. И. Михайлов, В. Д. Богацкий // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2013. – №2. – С. 31-39.
1. Remnyov, A.I. Analysis and synthesis of methodology of designing tool with initial tool surface / A.I. Remnyov, O.G. Kretova, N.I. Myachikova, S.V. Shvets, M.S. Vorontsova // *Bulletin of Tambov University. Series: Natural and Engineering Sciences*. – 2016. – Vol. 21. – No. 1. – pp. 316-324.
2. Balkov, V.P. Current technological approaches at manufacturing cylindrical gears under conditions of small-batch production and peculiarities of computation and design of gear cutting tool / V.P. Balkov, L.I. Kamenetsky, A.S. Kiryutin, E.A. Neginisky, O.S. Ott, D.N. Pishchulin // *Metal Processing*. – 2015. No. 2(88). – pp. 2-6.
3. Hrytsay, I. Improved method of gear hobbing computer aided simulation / I. Hrytsay, V. Stupnytskyu, V. Topchii // *Archive of Mechanical Engineering*. – 2019. – Vol. 66. – No 4. – pp. 475-494.
4. Saveliyev, S.V. Choice of optimum methods for numerical design of gear-shaping cutter intended for cutting involute gears of external toothing / S.V. Saveliyev, D.I. Volkov // *Modern Materials, Engineering and Technologies*. – 2017. – No.7 (15). – pp. 80-86.
5. Nichkov, A.V. Design element optimization of hobbing gear-milling cutter at specified parameters of gear cut / A.V. Nichkov // *Automation. Modern Technologies*. – 2016. – No.11. – pp. 7-9.
6. Feofilov, N.D. Calculation of kinematic and statistical angles of prefabricated hobs / N.D. Feofilov, S.L. Rakhmetov, E.S. Yanov // *Proceedings of Tula State University. Engineering Sciences*. – 2016. – No. 4. – pp. 178-185.
7. Ryabov, E.A. Model creation of worm gear-milling cutter using equivalent rack bar // E.A. Ryabov, S.Yu. Yurasov, A.G. Kondrashov / *Bulletin of Kalashnikov State Technical University of Izhevsk*. – 2017. – Vol.20. – No.2. – pp. 82-84.
8. Han, J. Analytical study on tooth profile of non-circular gear based on hobbing process simulation / J. Han, D. Li, L. Xia, X. Tian // ASME 2019 14th International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC. – 2019. – Vol. 2. – 155261.
9. Vulgakov, E.B. *Theory of Involute Gearings* / E.B. Vulgakov. Mechanical Engineering, 1995. – pp. 320.
10. Certificate on database logging RU 2016620243 Database for automated designing worm gear-milling cutters and gear-milling operations / Petrov A.I., Reznikov S.S., Tokarev V.V., Akopyan M.G., Kuznetsov O.V., published: 17.02.2016. Application No. 2015621721 of 31.12.2015.
11. Mikhailov, M.I. Modeling of gear surface machining with hobbing cutter / M.I. Mikhailov, V.D. Bogatsky // *Bulletin of Sukhoy State Technical University of Gomel*. – 2013. – No.2. – pp. 31-39.

Ссылка для цитирования:

Сафаров, Д.Т. Исключение чрезмерного подреза ножки зуба косозубых цилиндрических колес протуберанцем червячной фрезы на основе графических обкатов / Д.Т. Сафаров, А.Г. Кондрашов, А.И. Фасхутдинов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 7. – С. 19 - 27. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-7-19-27.

Статья поступила в редакцию 03.04.21.

Рецензент: д.т.н., профессор, зав. отделом ИМАШ РАН

Албагачиев А.Ю.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 21.06.21.

Сведения об авторах:

Сафаров Дамир Тамасович, к.т.н., доцент кафедры «Материалов, технологий и качества» Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета, e-mail: Safarov-dt@mail.ru.

Кондрашов Алексей Геннадьевич, к.т.н., доцент кафедры «Конструкторско-технологической подготовки машиностроительных производств» Набережночелнинского института (филиала) Казанского

(Приволжского) федерального университета, e-mail: Kondrahov@mail.ru.

Фасхутдинов Айрат Ибрагимович, к.т.н., доцент кафедры «Конструкторско-технологической подготовки машиностроительных производств» Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета, тел.: 8(8552)58-97-49.

Safarov Damir Tamasovich, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Materials, Technologies and Quality", Naberezhny-Chelny Institute (Branch) of Kazan (Privolzhsky) Federal University, e-mail: Safarov-dt@mail.ru.

Kondrashov Alexey Gennadievich, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Design-Technological Pre-production of Engineering Production", Naberezhny-

Chelny Institute (Branch) of Kazan (Privolzhsky) Federal University, e-mail: Kondrahov@mail.ru.

Faskhutdinov Airat Ibragimovich, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "Design-Technological Pre-production of Engineering Production", Naberezhny-Chelny Institute (Branch) of Kazan (Privolzhsky) Federal University, Phone: 8(8552) 58-97-49.