

УДК 621.833

Р. М. Грубка, канд. техн. наук, доцент
Донецкий национальный технический университет, ДНР
Тел./Факс: +38 (071) 3114221; E-mail: grubka_roman@mail.ru

КОНСТРУКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

В статье представлены исследования конструктивных способов повышения эксплуатационных показателей цилиндрических зубчатых передач, на основании которых разработана классификация видов модификации элементов зубчатого венца. Классификация основана на конструктивных мероприятиях, способствующих обеспечению заданных условий контактирования зубьев. В соответствии с предложенной классификацией конструктивные способы делятся на модификацию боковой поверхности зубьев и модификацию других поверхностей зубчатого венца.

Ключевые слова: цилиндрическое зубчатая передача, зубчатый венец, боковая поверхность зубьев, классификация, модификация зубьев

R. M. Grubka

CONSTRUCTIVE WAYS TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF CYLINDRICAL GEARS

The article presents studies of constructive ways to improve the operational performance of cylindrical gears, on the basis of which a classification has been developed for the types of the ring gear modification elements. The classification is based on constructive measures that contribute to ensuring the specified contact conditions of the teeth. In accordance with the proposed classification, constructive methods are divided into the modification of the teeth lateral surface and the modification of other ring gear surfaces.

Keywords: spur gear, ring gear, side surface of teeth, classification, modification of teeth

1. Введение

Надежность, долговечность и нагрузочную способность зубчатых передач повышают применением современных конструкционных материалов и упрочнением рабочих поверхностей зубьев, обеспечением высокой точности изготовления и сборки элементов зубчатых передач и совершенствованием зубчатого зацепления, за счет изменения геометрии боковой поверхности зубьев [1]. Наиболее перспективным из трёх перечисленных направлений является совершенствование зубчатого зацепления, позволяющее с минимальными затратами из тех же материалов и при той же точности изготовить элементы зубчатых передач способные передавать большие нагрузки.

Наряду с получением высоких точностных характеристик деталей зубчатых передач большое значение имеет также достижение требуемых эксплуатационных параметров [2]. В результате неточного изготовления и сборки зубчатых колес, корпуса и его деталей, упругой деформации опор, прогиба зубьев под нагрузкой и деформации зубчатых колес при термообработке происходит накопление погрешностей [3, 4, 5], которые ухудшают характеристики зацепления и вызывают неправильное расположение пятна контакта на зубьях сопряженной пары. Наличие погрешностей изготовления и монтажа зубчатых венцов, а так же ряд эксплуатационных факторов, таких как деформации элементов зубчатых передач, накладывают ограничения на применение данных передач. Зубчатые передачи, взаимодействующие при наличии погрешностей и деформаций, имеют повышенный уровень шума. А неправильное расположение пятна контакта на зубьях силовых передач способствует концентрации нагрузки на кромках зубьев и приводит к преждевременной их поломке или повышенному износу.

Сложившиеся в настоящее время подходы к проектированию зубчатых передач обладают своими достоинствами и недостатками [6, 7]. Наиболее перспективным с

точки зрения обеспечения заданных функциональных свойств зубчатых колес и передач, которые эксплуатируются в условиях наличия погрешностей изготовления и монтажа зубчатых венцов, а также перемещений элементов зубчатых передач, вызванных деформациями под действием рабочей нагрузки, является конструкторско-технологический подход. Данный подход благодаря гибкому выбору вида исходного производящего контура позволяет расширить технологические возможности существующих или проектируемых производств.

Основываясь на конструкторско-технологическом подходе, разработан комплексный функционально-ориентированный подход повышения надежности, долговечности и нагрузочной способности цилиндрических зубчатых передач [7]. Данный подход позволяет осуществлять как сквозное, так и итерационное проектирование цилиндрических зубчатых колес с пространственной геометрией боковой поверхности зубьев, способных компенсировать все погрешности изготовления и монтажа элементов зубчатых передач, а также перемещения, вызванные деформациями элементов передач, возникающими в процессе эксплуатации под действием рабочей нагрузки. При этом профилирование боковой поверхности зубьев осуществляется кинематическим методом [8, 9], с учетом представленного в работе [10] расширения кинематического метода применительно к синтезу и исследованию пространственных зубчатых соединений на базе цилиндрических зубчатых колес.

Снижения влияния погрешностей и деформаций на эксплуатационные параметры цилиндрических передач достигается изменением, модификацией, боковой поверхности зубьев. Т.е. за счет введения профильной, продольной, пространственной модификаций или модификации физико-механических свойств боковой поверхности зубьев [11, 12, 13, 14, 15]. Поэтому исследование существующих конструктивных способов повышения несущей и компенсирующей способности цилиндрических зубчатых передач, а так же разработка новых подходов по совершенствованию конструкции передач за счет создания соединений зубьев с учетом всех составляющих погрешностей и деформаций, которые возникают в процессе изготовления и эксплуатации их элементов, является актуальной научной задачей.

Цель работы: исследование конструктивных способов повышения эксплуатационных показателей цилиндрических зубчатых передач, путем модификации элементов зубчатого венца.

2. Основное содержание и результаты работы

Модификации подлежит как боковая поверхности зубьев, так и другие поверхности зубчатого венца – торцы зубьев, поверхности вершин и впадин зубьев. Разрабатываем классификацию видов модификаций элементов зубчатого венца цилиндрических колес рис. 1.

Модификации подвергается часть боковой поверхности зуба или вся боковая поверхность. Модифицированной может быть одна или обе поверхности зубьев рис. 2. При модификации двух боковых поверхностей зубьев, они могут иметь как одинаковую модификацию по форме, расположению и размеру, так и разную модификацию [16, 17, 18]. В зависимости от места расположения модифицированного участка на боковой поверхности зуба различают модификацию головки, ножки и активной боковой поверхности зуба [16, 17, 18], или сочетания двух модифицированных участков.

Модификация боковой поверхности зуба может быть выполнена у одного из торцов, у двух торцов, в средней части боковой поверхности рис. 2., рис. 3. и рис. 4.

Модифицированные участки боковой поверхности зубьев могут иметь произвольную форму, располагаться автономно, касаться или пересекаться рис. 5.

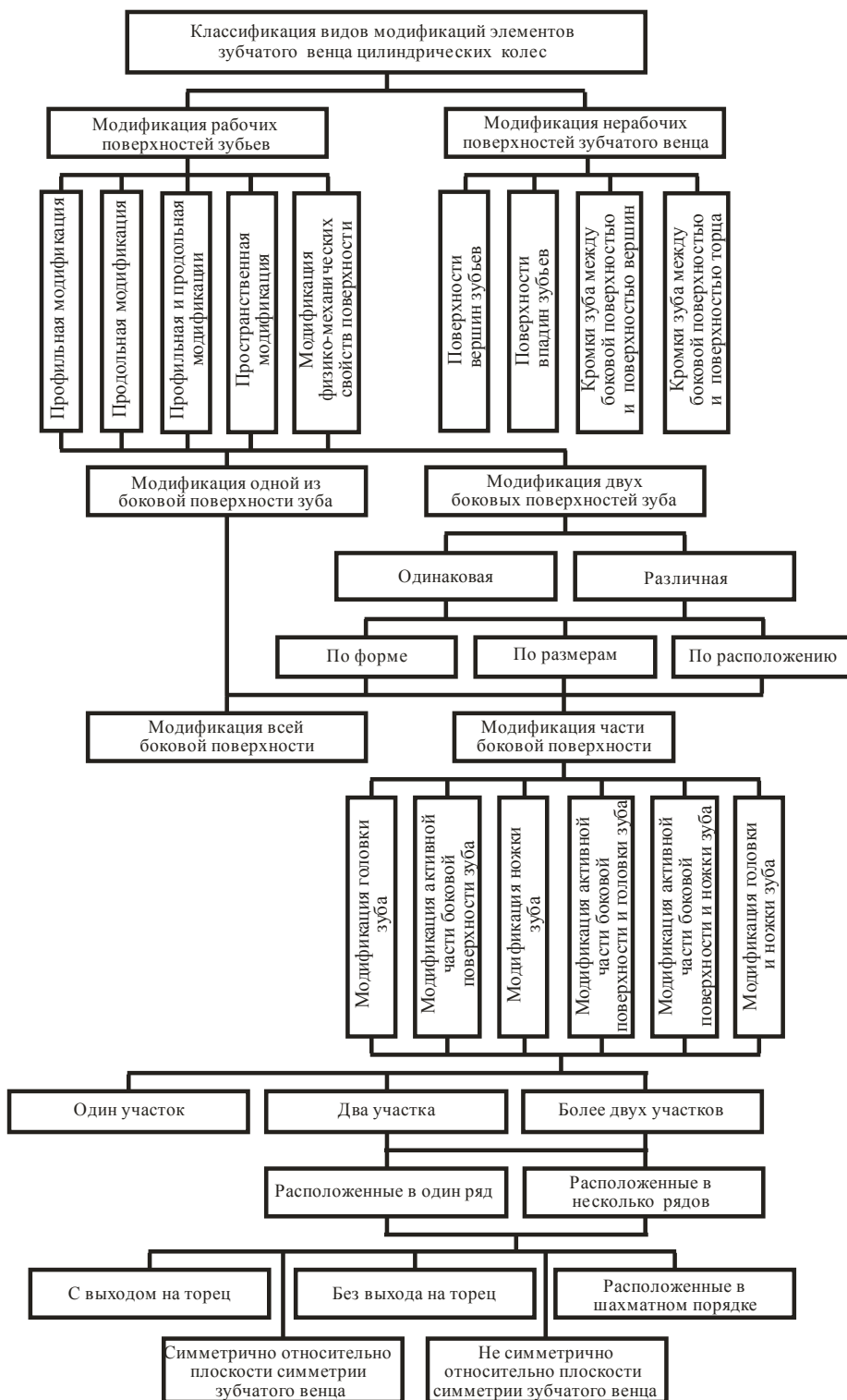


Рисунок 1. Классификация видов модификаций элементов зубчатого венца цилиндрических колес

торцевые поверхности и кромки элементов зубчатого венца рис. 8.

Возможны комбинации различных видов расположения, формы и размеров модифицированных участков. Например на рис. 4 показана одновременная модификация боковой поверхности зуба у головки и у ножки.

Модифицированных участков боковой поверхности зуба может быть один, два и более двух. При этом модифицированная поверхность может выходить на торец зубчатого венца или не выходить рис. 6.

Модифицированные участки на боковой поверхности зубьев могут быть расположены на зубьях симметрично относительно плоскости симметрии зубчатого венца рис. 2. б, не симметрично рис. 2. а, в шахматном порядке (рис. 7) [16, 17, 18].

Модификации так же подвергаются поверхности вершин и впадин зубьев, а также



а) б) в) г)

Рисунок 2. Модификация: а – всей боковой поверхности; б – части боковой поверхности вблизи торцов; в - в средней части боковой поверхности; г – на обеих боковых поверхностях



а) б) в) г) д) е)

Рисунок 3. Модификация ножки зуба: а – треугольной формы; б – прямоугольной формы; в – два участка треугольной формы без выхода на торец; г – два участка треугольной формы с выходом на торец; д – два участка прямоугольной формы с выходом на торец; е – более двух участков



а) б) в) г)

Рисунок 4. Одновременная модификация головки и ножки зуба: а - один модифицированный участок у ножки и головки; б - два модифицированных участка у ножки и головки с выходом на торец; в - два модифицированных участка у ножки и головки без выхода на торец; г - три модифицированных участка у ножки и головки



а) б) в) г)

Рисунок 5. Модификация головки зуба: а – треугольной формы с пересечением участков; б – треугольной формы без пересечения участков; в – прямоугольной и треугольной формы; г – с участками в виде трапеции;



а) б) в) г)

Рисунок 6. По количеству модифицированных участков на боковой поверхности зуба: а – один участок; б – два участка; в – более двух участков без выхода на торец; г – более двух участков с выходом на торец

Образующая поверхности вершин может быть описана прямой линией, окружностью и любой другой кривой второго порядка.

Модифицированные участки могут быть расположены в один ряд рис. 6 г и рис. 3 е или в несколько рядов рис. 9.

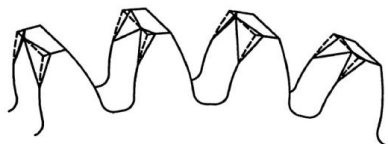


Рисунок 7. Расположение модифицированных участков в шахматном порядке



Рисунок 8. Модификация торца зубчатого венца



Рисунок 9. Расположение модифицированных участков в несколько рядов

Модификации также могут подвергаться торцовые поверхности с целью изменения жесткости элементов зубчатого венца. А также модификации может подвергаться как боковая поверхность зубьев, так и торец зубчатого венца.

3. Выводы

Выполнены исследования конструктивных способов повышения эксплуатационных показателей цилиндрических зубчатых передач, на основании которых разработана классификация видов модификации элементов зубчатого венца. В классификацию вошли конструктивные мероприятия, способствующие обеспечению заданных условий контактирования зубьев. В соответствии с предложенной классификацией конструктивные способы делятся на модификацию боковой поверхности зубьев и модификацию других поверхностей зубчатого венца. Представленные подходы могут быть использованы при выборе и принятии конструктивных решений, способствующих повышению нагрузочной и компенсирующей способности цилиндрических передач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабичев, Д. Т. Основы концепции синтеза рабочих поверхностей зубьев цилиндрических передач, обладающих заданной контактной прочностью [Текст] / Д.Т. Бабичев, М. Г. Сторчак, Д. А. Бабичев // Современное машиностроение. Наука и образование, 2012. – № 2. – С. 150 - 160.
2. Генкин, М. Д. Повышение надежности тяжело-нагруженных зубчатых передач [Текст] / М. Д. Генкин, М. А. Рыжов, Н. М. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
3. Грубка, Р. М. Суммарные перемещения элементов цилиндрических передач внешнего зацепления, вызванные наличием погрешностей изготовления, монтажа и деформациями в процессе эксплуатации [Текст] / Р. М. Грубка, И. А. Петряева, А. Н. Михайлов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – Вып. 1 (60). – С. 19 - 24.
4. Грубка, Р. М. Определение суммарных погрешностей, возникающих в процессе эксплуатации зубчатых муфт [Текст] / Р. М. Грубка, А. Н. Михайлов, И. А. Петряева // Комплексные проблемы техносферной безопасности: материалы Междунар. науч.-практ. конф. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, 26-28 октября 2017 г. – Ч. V. – С. 181- 185.
5. Грубка, Р. М. Обобщенные зависимости для пространственного соединения цилиндрических зубчатых колес, учитывающие наличие погрешностей и деформаций элементов передач [Текст] / Р. М. Грубка // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. — Донецк: ДонНТУ, 2018. – Вып. 3(62). – С. 10 - 18.

6. Петровский, А. Н. К задаче оптимизации параметров эвольвентного зацепления [Текст] / А. Н. Петровский // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2011. – №2(87). – С.75 - 87.
7. Грубка, Р. М. Повышение надежности, долговечности и нагрузочной способности цилиндрических зубчатых передач на базе комплексного функционально-ориентированного конструкторско-технологического подхода [Текст] / Р. М. Грубка // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – Вып. 2 (61). – С. 15 - 22.
8. Радзевич, С. П. Кратко о кинематическом методе и об истории уравнения контакта в форме $nV=0$ [Текст] / С. П. Радзевич // Теория Механизмов и Машин. –2010. – №1. Том 8. – С. 42-51.
9. Литвиняк, Я. М. Доповнення до кінематичного способу синтезу профілю зубців площинного зубчастого зачеплення [Текст] / Я. М. Литвиняк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2014. – № 786. – С. 93-98.
10. Грубка, Р. М. Развитие кинематического метода синтеза профиля зубьев применительно к пространственному зубчатому соединению цилиндрических зубчатых колес [Текст] / Р. М. Грубка // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. - Алчевск: Донбас. гос. техн. ун-т, 2018. – Вып. 54. – С. 127 – 132.
11. Рязанцева, И. Л. О профильной модификации тяжело нагруженных зубчатых колес [Текст] / И. Л. Рязанцева // Омский научный вестник, 2000. – №2(100). – С. 73 – 76.
12. Сухоруков, Ю. Н. Модификация эвольвентных зубчатых колёс: Справочник [Текст] / Ю. Н. Сухоруков. – К.: Техника, 1992. – 197 с.
13. Лагутин, С. А. Сочетание продольной и профильной модификации зубьев в цилиндрических передачах [Текст] / С. А. Лагутин // Конверсия в машиностроении. – 2001. – № 2. – С. 68 – 72.
14. Михайлов, А. Н. Основы синтеза геометрии внутренних пространственных зацеплений с равным числом внутренних и наружных зубьев [Текст] / А. Н. Михайлов, С. А. Рыбина, Д. В. Перов, Т. Оливер // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2000. – Вып. 10. – С. 149-161.
15. Грубка, Р. М. Синтез пространственных геометрий зубьев цилиндрических колес, работающих при наличии погрешностей и деформаций элементов передач [Текст] / Р. М. Грубка, И. А. Петряева, А. Н. Михайлов, А. А. Бочаров // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2018. – Вып. 4 (63). – С. 17 - 27.
16. US 8,201,471 B2 United States Patent, МПК7 F16H 55/00. Gears and gearing apparatus / Kenji Ohmi, KaWaguchi (JP); Yasutaka KaWakami, KaWaguchi (JP); Assignee Enplas Corporation, KaWaguchi-shi (JP). – № 12/567,672; Filed Sep. 25, 2009; Pub. Date Jun. 19, 2012. – 30 с.: ил.
17. US 2007/0137355 A1 United States Patent, МПК7 F16H 55/00, F16H 55/17. Gears and gearing apparatus / Kenji Ohmi, KaWaguchi (JP); Yasutaka Kawakami, KaWaguchi (JP); Assignee Enplas Corporation, KaWaguchi-shi (JP) – № 11/528,651; Filed Sep. 28, 2006; Pub. Date Jun. 21, 2007. – 32 с.: ил.
18. US 2010/0011895 A1 United States Patent, МПК7 F16H 55/08. Gears and gearing apparatus / Kenji Ohmi, KaWaguchi (JP); Yasutaka Kawakami, KaWaguchi (JP); Assignee Enplas Corporation, KaWaguchi-shi (JP) – № 12/567'672; Filed Sep. 25, 2009; Pub. Date Jan. 21, 2010. - 31 с.: ил.

Поступила в редколлегию 19.02.2019 г.