УДК 621.833.1

А. А. Ткачев, кандидат технических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет

ВАРИАНТЫ ОПТИМИЗАЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

Рассматриваются некоторые подходы к оптимизационному проектированию эвольвентных цилиндрических передач (ЭЦП). Показано, что на основе органичного сочетания разработанной нами концепции динамичного блокирующего контура с известными методами, например методом обобщающих параметров и концепцией прямого проектирования передач, может быть предложен комбинированный подход к автоматизированному проектированию ЭЦП, обладающий новыми возможностями. Некоторые из этих возможностей рассмотрены на предлагаемом примере.

Ключевые слова: эвольвентная цилиндрическая передача, автоматизированное проектирование, блокирующий контур, метод обобщающих параметров

Введение

В материале «Прогнозное проектирование эвольвентных цилиндрических передач», представленном в данном издании, рассматриваются некоторые возможности, появляющиеся при автоматизированном проектировании зубчатых передач с применением блокирующих контуров.

Проведенные исследования и анализ практики применения системы «Контур» при проектировании реальных передач позволяют утверждать, что фактически метод блокирующих контуров и развитая на его основе концепция динамичного блокирующего контура (ДБК), также вкратце описанная в данном материале, дают возможность реализовать оптимизационный подход к проектированию эвольвентных цилиндрических передач, причем оптимизируются не только параметры проектируемой передачи, но и сама процедура их определения, другими словами – процесс автоматизированного проектирования передачи [1, 2].

В данной статье будут рассмотрены альтернативные подходы к проектированию передач рассматриваемого класса.

1. Метод обобщающих параметров и концепция прямого проектирования передач (Direct Gear Design)

Один из наиболее широко известных подходов к оптимизации проектирования зубчатых передач основан на методе обобщающих параметров, предложенном и развитом проф. Э. Б. Вулгаковым и его последователями [3, 4]. За основу при проектировании передачи здесь берется математическая модель эвольвентного профиля зуба, и передача проектируется исходя из обеспечения качественных показателей зацепления, соответствующих проектному заданию, абстрагируясь на первом этапе от исходного производящего контура и его параметров. Только после того, как необходимые параметры передачи найдены и встает вопрос о ее изготовлении, определяются параметры производящего контура, параметры переходной кривой зуба и окончательные значения качественных показателей передачи, а также исполнительные размеры как само́й передачи, так и ее элементов – шестерни и коле-

© Ткачев А. А., 2011

са. На основе такого подхода разработана концепция «Direct Gear Design (DGD)» [5], получившая признание и нашедшая практическое применение.

Понятно, что при этом весьма вероятно получение производящего контура, следовательно, и режущего инструмента для изготовления зубчатых колес с «нестандартными» параметрами (например, углом профиля $\alpha \neq 20°$ и/или коэффициентом высоты головки зуба $h_a^* \neq 1$), что повлечет за собой дополнительные затраты на его изготовление. Поэтому сам автор метода обобщающих параметров оговаривается, что «зубчатые передачи в обобщающих параметрах следует применять, когда исчерпаны возможности улучшения их качественных показателей традиционными методами проектирования» [6]. С другой стороны, сравнительный анализ процедур проектирования, основанных на концепциях ДБК и DGD, показывает, что между ними нет принципиальных противоречий. Более того, стремление к совершенствованию передач и методов их проектирования приводит к естественной мысли о рациональном сочетании обоих подходов, которое может дать разработчикам передач эффективный инструментарий для оптимизации параметров проектируемых передач и создания передач нового поколения с улучшенными характеристиками.

2. Комбинированный подход к оптимизационному проектированию эвольвентных цилиндрических передач

Каждый из рассмотренных выше подходов имеет свои особенности и достоинства. Действительно, в концепциях обобщающих параметров и DGD нет ограничений, связывающих конструктора параметрами исходного контура. Все параметры, определяющие геометрию зуба, являются варьируемыми, и их расчет выполняется из соображений достижения необходимого качества передачи. При этом само понятие коэффициента смещения не используется. Напротив, в концепции ДБК понятия производящего контура и, в особенности, коэффициента смещения являются базовыми и находятся в центре процедуры проектирования. Однако конструктор может произвольным образом менять параметры производящего контура, пользуясь диалоговыми возможностями системы «Контур» и целенаправленно выбирать значения x_1 и x_2, преследуя ту же цель, что и в концепции DGD: максимально улучшить показатели передачи.

Именно такой комбинированный подход заложен в рамках новой концепции, названной нами «усовершенствованным методом проектирования передач» (Advanced Gear Design) [7], которая сохраняет достоинства концепции DGD, заключающиеся в возможности управления параметрами геометрии зуба, и использует предпочтительные возможности прогнозирования показателей передачи на ранней стадии ее проектирования, заложенные в концепции ДБК.

Рассмотрим возможности комбинированного метода Advanced Gear Design для следующих принципиальных вариантов задания исходных требований к передаче:

1) передача должна быть реверсивной и обеспечивать равные условия нагружения при работе левыми и правыми боковыми поверхностями зубьев; это требование естественным образом определяет симметричность зубьев колес;

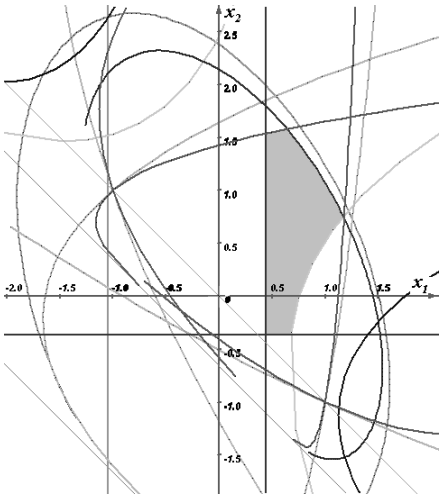
2) передача передает вращение (и нагрузку) в одну сторону, следовательно, нагруженной является одна из боковых поверхностей зубьев; в этом случае возможно любое изменение формы зуба (в том числе его асимметрия), обеспечивающее лучшее качество передачи при заданных условиях.

В первом варианте, для передачи с симметричным зубом, процесс проектирования более традиционен. При использовании концепции DGD профилирование бо-

ковых поверхностей и вершин зубьев базируется на задании трех основных параметров: диаметров основной окружности $d_{b1,2}$, чисел зубьев $z_{1,2}$ и диаметров окружности вершин $d_{a1,2}$ шестерни и колеса, а профилирование переходных кривых и впадин – с помощью специальной процедуры, описанной в [8]. Если же за основу взять концепцию ДБК, то при задании чисел зубьев $z_{1,2}$, модуля m, параметров исходного контура и угла наклона зуба β (для косозубой передачи) можно построить блокирующий контур и с его помощью выбрать коэффициенты смещения x_1 и x_2, что позволяет рассчитать всю геометрию передачи. Процесс проектирования при этом приобретает значительную гибкость и реализуется с большей производительностью и наглядностью.

Во втором варианте, при асимметричных зубьях, для концепции DGD существенно то, что у каждой стороны зуба будет свой диаметр основной окружности d_b; остальные параметры (число зубьев z и диаметр окружности вершин d_a) будут совпадать. Поэтому расчет параметров передачи нужно вести с учетом этого обстоятельства. Что же касается концепции ДБК, то процесс выбора параметров аналогичен предыдущему с той лишь разницей, что каждая сторона зуба будет иметь свой блокирующий контур. При этом коэффициент смещения может быть как одинаковым для обеих сторон зуба (если формообразование этих сторон осуществляется одним инструментом), так и выбираться отдельно для каждой стороны (если они образуются отдельно и различными инструментами). В первом из этих случаев выбор может осуществляться с помощью «совмещенного» блокирующего контура (см. рисунок), получаемого наложением БК левой стороны зуба на БК правой стороны, во втором случае – с помощью двух раздельных БК.

Проектирование по методу Advanced Gear Design осуществляется в автоматизированном режиме, т. е. с помощью компьютера. При этом, подобно объединению методов проектирования, могут быть интегрированы и реализующие их программные системы, каждая из которых становится модулем (подсистемой) интегрированной CAD-системы.



Совмещенный блокирующий контур: затенена область допустимых значений коэффициентов смещения, общая для двух БК (z_1 = 15; z_2 = 37; α_1 = 15°; α_2 = 30°; h_a^* =1; β = 15°)

Заключение

В данной работе изложен новый подход к процессу проектирования эвольвентных цилиндрических передач, сконцентрировавший в себе преимущества двух новых методов, возникших сравнительно недавно и в настоящее время интенсивно развивающихся: метода динамичных блокирующих контуров (ДБК) и метода прямого проектирования передач (Direct Gear Design – DGD). Предложенный комбинированный метод, названный усовершенствованным методом проектирования передач (Advanced Gear Design – AGD), органически соединяет в себе достоинства обоих указанных методов. Практическое применение нового метода позволяет: 1) по-новому организовать процесс автоматизированного проектирования эвольвентных цилиндрических передач, существенно обогатив его содержание и результаты; 2) создавать на его основе передачи нового поколения, которые имеют значительно лучшие характеристики и могут служить компонентами новых механизмов и машин.

Библиографические ссылки

1. *Гольдфарб В. И., Ткачев А. А.* Проектирование эвольвентных цилиндрических передач. Новый подход. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2004 – 95 с.
2. *Tkachev A., Goldfarb V.* The Concept of Optimal Design for Spur and Helical Gears // Proceedings of the 3-rd International Conference «Power Transmissions ‘09». – Chalkidiki, Greece, 2009. – P. 59–62.
3. *Вулгаков Э. Б.* Теория эвольвентных зубчатых передач. – М. : Машиностроение, 1995 – 320 с.
4. *Kapelevich A. L., Kleiss R. E.* Direct Gear Design for Spur and Helical Involute Gears, Gear Technology, September/October 2002. – P. 29–35.
5. Там же.
6. *Вулгаков Э. Б.* Теория эвольвентных зубчатых передач. – С. 5.
7. Goldfarb V. I., Kapelevich A. L., Tkachev A. A.. An Advanced Approach to Optimal Gear Design, Gear Solutions, August 2008.
8. Там же.

***

A. A. Tkachev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

Some Variants of Computerized Design of Involute Spur and Helical Gears

Some approaches to optimal design of involute spur and helical gears (ISHG) are considered. It is shown that a combined approach to the computerized design of ISHG, having some new possibilities, can be proposed on the base of the combination of the proposed “dynamic blocking contour” conception with known methods, e.g., the method of generalized parameters and the concept of direct gear design. Some of these possibilities are considered with the proposed example.

Key words: involute spur and helical gear, computerized design, blocking contour, method of generalized parameters

Получено: 15.11.11