

ПРОБЛЕМЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Я. Гуанжун

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Конструкции многих механизмов предполагают передачу вращательного движения с одного вала на другой при условии, что оси этих валов пересекаются, в частности для данной цели используются конические зубчатые передачи. Рассмотрены требования, предъявляемые к коническим зубчатым колесам в соответствии с действующими стандартами. Показано, что обеспечение качества конических зубчатых колес — сложная комплексная задача, решение которой предполагает рассмотрение всех этапов технологического процесса изготовления зубчатых колес от получения исходной заготовки до сборки зубчатого зацепления. Приведены основные методы механической обработки конических зубчатых колес с круговыми и прямыми зубьями.

Ключевые слова

Коническое зубчатое колесо, зубчатое зацепление, нормирование точности, механическая обработка, зубонарезание, сборка

Поступила в редакцию 05.06.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Во многих устройствах, например в дифференциальном механизме шасси автомобиля (рис. 1), осуществление требуемых движений связано с необходимостью передачи вращения с одного вала на другой при условии, что оси этих валов пересекаются. Для этих целей используют конические зубчатые передачи.

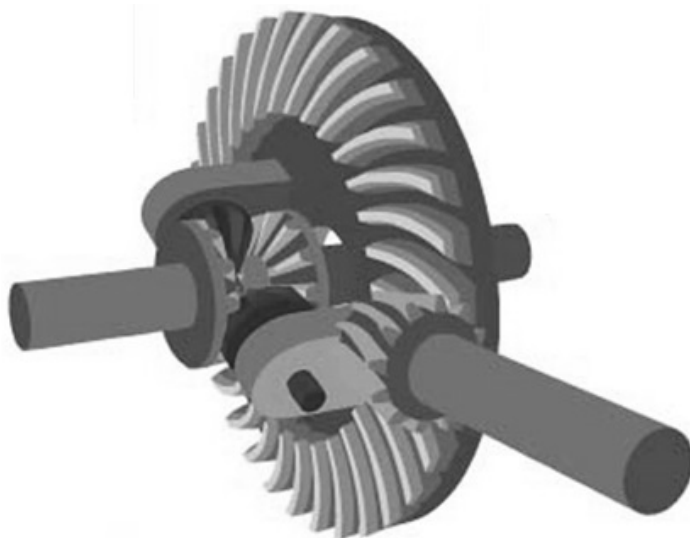


Рис. 1. Пример дифференциального механизма

Требования к точности конических зубчатых колес и передач нормируются в соответствии с ГОСТ 1758–81, который устанавливает 12 степеней их точности. Допуски и предельные отклонения параметров зубчатых колес и передач нормированы только для степеней точности с 4 по 12. Зубчатая передача (и зубчатое колесо) соответствующей степени точности характеризуется тремя видами нормы точности: кинематическая точность, плавность работы и норма контакта зубьев и значение бокового зазора. Нормы точности обозначают цифрами, а значение бокового зазора — латинской буквой. Например, обозначение точности зубчатого колеса 6–7–7 C расшифровывается следующим образом: первая цифра (6) — степень кинематической точности, вторая (7) — степень плавности работы, третья (7) — степень точности контакта зубьев, буква (C) характеризует гарантированный боковой зазор между зубьями в передаче. Допускается как назначение всех норм одной степени точности, так и комбинирование разных степеней точности. При этом нормы плавности могут быть не более чем на две выше или на одну степень ниже норм кинематической точности, а степени точности по нормам контакта зубьев не должны быть ниже степени точности по нормам плавности [1].

Нормы кинематической точности определяют допустимую погрешность угла поворота колеса за один его оборот и могут характеризоваться, например, кинематической погрешностью колеса.

Кинематическая погрешность колеса — разность между действительным и номинальным значениями угла поворота зубчатого колеса на его рабочей оси.

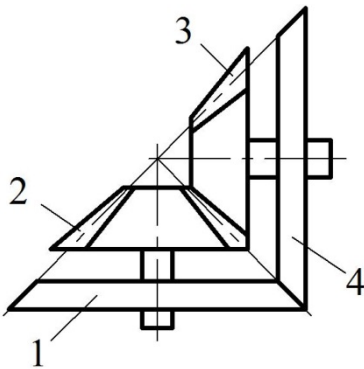


Рис. 2. Схема контроля кинематической погрешности конических зубчатых колес

Контроль кинематической погрешности выполняют на специальных приборах (рис. 2). Мгновенные передаточные отношения и перемещения ведомого зубчатого колеса 2, сопрягаемого с ведущим колесом 3, непрерывно сравниваются с передаточным отношением точных фрикционных конусов 1 и 4 или обкатного диска и конуса. Наибольшая алгебраическая разность отклонений действительных угловых положений колеса 4 относительно номинального положения за один оборот соответствует значению колебаний кинематической погрешности колеса F'_{ir} (рис. 3) и ограничивается допуском F'_i . Недостатком данной схемы контроля является необходимость иметь специальные точные

конусы или диски для каждого передаточного отношения контролируемых колес.

Нормы плавности работы ограничивают погрешность угла поворота колеса при повороте на один зуб (один угловой шаг). Одним из параметров, нормирующих плавность работы колеса, является местная кинематическая погрешность.

Местная кинематическая погрешность — наибольшая разность между соседними значениями кинематической погрешности.

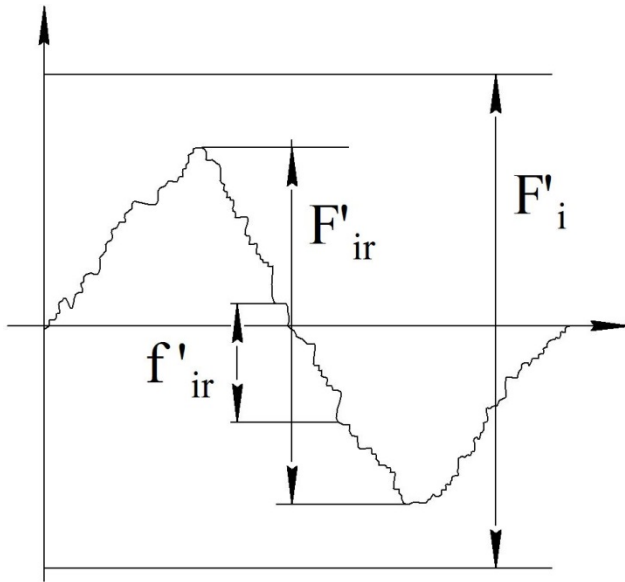


Рис. 3. Определение кинематической погрешности конических зубчатых колес

Колесо считается годным, если $f'_{ir} \leq f'_i$, где f'_i — допуск местной кинематической погрешности (см. рис. 3).

Нормы контакта ограничивают неполноту контакта сопряжения зубьев. Номинальный показатель нормы контакта — пятно контакта.

Пятно контакта можно определять непосредственно в собранной передаче, а также на контрольно-обкатных станках, специальных стендах или на межосимерах при зацеплении контролируемого колеса с измерительным и соблюдении номинального межосевого расстояния. Для контроля пятна контакта боковую поверхность меньшего или измерительного колеса покрывают слоем краски (свинцовый сурик, берлинская лазурь) толщиной не более 4..6 мкм и проводят обкатку колес при легком притормаживании. Размеры пятна контакта определяют в относительных единицах — процентах от длины и от высоты активной поверхности зуба. При оценке абсолютной длины пятна контакта из общей длины (в миллиметрах) вычитают разрывы пятна, если они превышают значение модуля зубчатого колеса.

Теоретически зубчатая передача двухпрофильная, т. е. касание осуществляется с двух сторон зуба, однако между нерабочими поверхностями зубьев в передаче должен быть зазор в несколько микрометров для компенсации погрешностей изготовления и монтажа, температурных деформаций и т. д.

Существует шесть видов сопряжений зубчатых колес в передаче, обозначаемых в порядке убывания гарантированного бокового зазора латинскими буквами.

Точность конических зубчатых колес обеспечивают выбором соответствующего метода нарезания колеса, зависящего, кроме требований к точности, от материала детали и вида заготовки. Кроме того, необходимо подобрать станок и режущий инструмент соответствующей точности.

Зубчатые колеса должны обладать высокой прочностью, поверхностной твердостью и износостойкостью, обеспечивающими надежную работу зубчатой передачи при наименьших ее габаритах и массе. Поэтому зубчатые колеса изготавливают преимущественно из углеродистых и легированных сталей с термической или химико-термической их обработкой [2, 3].

При выборе окончательного метода отделки зубчатого колеса необходимо учитывать теплостойкость материала: чем она ниже, тем более сталь склонна к образованию шлифовальных прижогов и трещин. Следовательно, абразивные отделочные методы не рекомендуется применять для материалов с низкой температурой отпуска (менее 200 °С). К таким сталям относят, например, стали 15Х, 20Х, 12ХНЗА, 15ХФ, 12ХН2, 20ХНЗА, 20ХН, 25ХГМ и др. Следует отметить, что легирование сталей хромом повышает их склонность к трещинообразованию, что также усложняет зубошлифование.

Метод получения заготовок конических зубчатых колес в большой степени влияет на служебные свойства последних, технологию их изготовления и расход металла. Так, при изготовлении малонагруженных зубчатых колес диаметром до 50...60 мм их заготовки рационально отрезать от калиброванного прутка; при больших размерах изготовление заготовок из прутка становится неэкономичным из-за увеличения стоимости механической обработки. В этом случае образование формы зубчатого колеса проводится горячей механической обработкой — штамповкой или свободной ковкой. Температурный интервал штамповки заготовок и степень обжатия материала обуславливают определенные эксплуатационные качества будущего изделия. Если изначально сформирована некачественная структура, то, как бы ни были обработаны зубья, они будут иметь низкие физико-механические свойства, следовательно, малую долговечность и надежность [3].

Принципиально все методы нарезания конических колес можно свести к двум технологическим методам: обкатке и копированию [4].

Метод копирования применяется при нарезании неточных передач, так как точность изготовления колеса зависит от точности инструмента, имеющего фасонный профиль.

При нарезании по методу обкатки сопряженные поверхности зубьев получаются в результате зацепления нарезаемого зубчатого колеса с производящим колесом, роль которого выполняют режущие кромки инструмента. Далее рассмотрены конструктивные схемы нарезания зубчатых колес методом обкатки. Выбор конструктивной схемы зависит от типа конического колеса.

Конические зубчатые колеса с прямыми зубьями (теоретические линии зубьев на развертке делительного конуса прямые, проходящие через его вершину) обрабатывают на зубострогальных станках (рис. 4). Заготовка находится в зацеплении с двумя зубострогальными резцами, выполняющими роль производящего колеса и образующих впадину между зубьями.

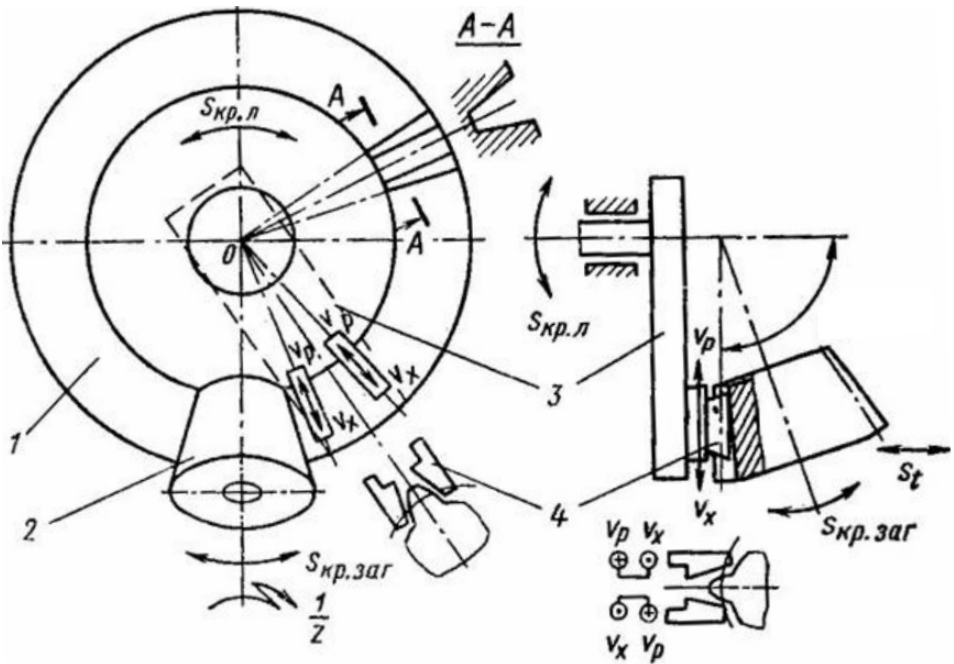


Рис. 4. Схема нарезания конического колеса с прямым зубом на зубострогальном станке:
 1 — производящее колесо; 2 — нарезаемое колесо; 3 — люлька; 4 — зубострогальный резец

Конические колеса с круговыми зубьями (теоретические линии зубьев на развертке делительного конуса являются дугами окружностей) нарезают резцовыми головками, у которых резцы расположены по окружности, на зуборезных станках специальной конструкции (рис. 5). Заготовка 2 в процессе обработки находится в зацеплении с плоским коническим колесом 4 с круговыми зубьями 3, которое воспроизводит воображаемое производящее колесо 1. Резцовая головка закреплена на шпинделе люльки 5. Вращение заготовки вокруг своей оси и резцовой головки вокруг оси люльки является движением обкатки.

Контроль зубчатых колес, как было показано выше, является трудоемкой и сложной задачей, требующей специальных устройств. Для неотчетливых передач часто обходятся только контролем пятна контакта и шума в зацеплении.

Зацепление считается удовлетворительным только при определенных значениях и расположении зоны касания как по длине зуба (продольное касание), так и по его высоте (профильное касание), а также определенном характере шума при обкатке. В продольном направлении зона касания должна составлять приблизительно 0,5...0,75 длины зуба, по профилю — 0,6 высоты и располагаться симметрично относительно образующей начального конуса (ближе к узкому концу) [4, 5].

При испытании на шум на обкатном станке с эталонной шестерней или в паре под нагрузкой, создаваемой при нажатии на ручной тормоз, допускается только слабый однотонный шум, напоминающий жужжание и по силе зависящий от класса точности шестерен.

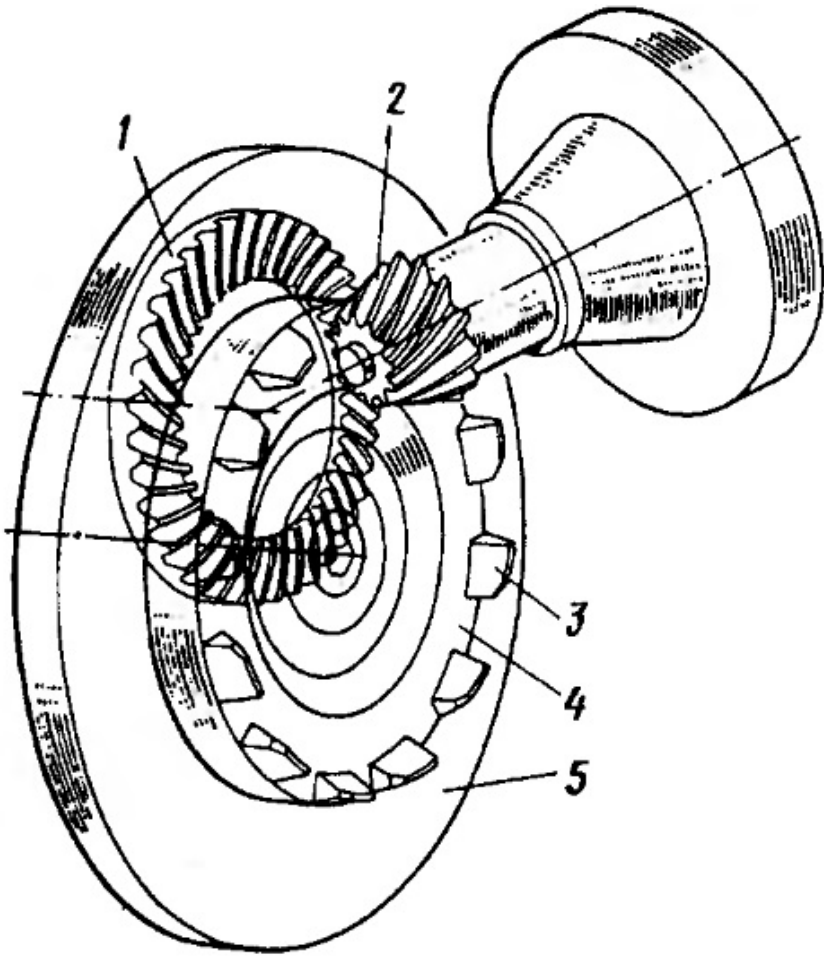


Рис. 5. Схема нарезания конического колеса с круговыми зубьями

Расположение зоны касания и характер шума при обкатке характеризуют следующие факторы зацепления зубчатых передач:

- точность зацепления;
- чистота отделки боковых поверхностей;
- величина рабочих участков зоны касания.

Исправление неправильно расположенной зоны касания можно выполнять как путем наладки станков, так и с помощью регулировки самого зацепления.

Выводы. 1. Нормирование требований к точности конических зубчатых колес в общем случае предполагает задание большого числа трудноконтролируемых параметров, однако контроль ответственных передач часто ограничивают определением пятна контакта и характера шума в зацеплении.

2. Обеспечение требований качества конических зубчатых колес не может ограничиваться только механической обработкой деталей, оно должно включать в себя метод получения исходных заготовок, термическую обработку и сборку зубчатого зацепления.

3. Проектирование технологических процессов изготовления конических зубчатых колес необходимо выполнять с учетом влияния явлений технологического наследования, проявляющихся начиная с получения исходной заготовки и действующих вплоть до окончательной сборки зубчатого зацепления.

Литература

- [1] Антонюк В.Е., Кане М.М., Старжинский В.Е., Сусин А.А. *Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач*. Минск, Технопринт, 2003, 766 с.
- [2] Калашников А.А., Моргунов Ю.А., Калашников П.А. Закалка цилиндрических и конических зубчатых колес с использованием газа под высоким давлением. *Справочник. Инженерный журнал с приложением*, 2014, № 9(210), с. 13–19.
- [3] Пегашкин В.Ф. *Обработка зубчатых колес*. Нижний Тагил, НТИ УрФУ, 2016, 132 с.
- [4] Калашников А.С. *Технология изготовления зубчатых колес*. Москва, Машиностроение, 2004, 479 с.
- [5] Калашников А.С., Моргунов Ю.А., Калашников П.А. Снижение трудоемкости сборки конических и гипоидных зубчатых передач. *Вестник машиностроения*, 2014, № 10, с. 63–65.

Ян Гуанжун — магистрант кафедры «Технологии машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — А.В. Зайцев, доцент кафедры «Технологии машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

PROBLEMS ENCOUNTERED IN BEVEL GEAR MANUFACTURING
Ya. Guangrong**Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation****Abstract**

Many mechanism designs involve transmitting rotation from one shaft to another when the axes of the two shafts intersect; bevel gear transmissions are particularly suitable for this. We consider the requirements listed in current standards for bevel gears. We show that ensuring bevel gear quality is a complex and involved problem, solving which means taking all the manufacturing process stages into account, from producing the rough workpiece to assembling the gears. We outline the main machining methods used for spiral and straight bevel gears.

Keywords

Bevel gear, gear, precision rating, machining, gear cutting, assembly

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

References

- [1] Antonyuk V.E., Kane M.M., Starzhinskiy V.E., Susin A.A. Tekhnologiya proizvodstva i metody obespecheniya kachestva zubchatykh koles i peredach [Production technology and methods of providing gear and gear pair quality]. Minsk, Tekhnoprint publ., 2003, 766 p.
- [2] Kalashnikov A.A., Morgunov Yu.A., Kalashnikov P.A. The hardening of cylindrical and bevel gears by using the gas of high pressure. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal s prilozheniem* [Handbook. An Engineering Journal], 2014, no. 9(210), pp. 13–19.
- [3] Pegashkin V.F. Obrabotka zubchatykh koles [Treatment of gears]. Nizhniy Tagil, NTI UrFU publ., 2016, 132 p.
- [4] Kalashnikov A.S. Tekhnologiya izgotovleniya zubchatykh koles [Gears manufacturing technology]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2004, 479 p.
- [5] Kalashnikov A.S., Morgunov Yu.A., Kalashnikov P.A. Decrease of labor content in u assembly of bevel and hypoid gears. *Vestnik Mashinostroeniya*, 2014, no. 10, pp. 63–65.

Yang Guangrong — Master's degree student, Department of Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — A.V. Zaytsev, Assoc. Professor, Department of Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.