

УДК 621.9.04
DOI: 10.12737/20135

**А.А. Черепакхин, к.т.н.,
А.Н. Хоров, инженер**
(Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ))
E-mail: a.xorov@gmail.com, tkm1410@yandex.ru

Анализ влияния погрешности направления зуба на точность бандажных (сборных) зубчатых колес

Рассмотрена погрешность направления зуба, возникающая под воздействием крутящего момента при сборке косо-зубого сборного зубчатого колеса с помощью болтового соединения и ее влияние на общую точность. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: зубчатое колесо; болтовое соединение; погрешность направления профиля.

**A.A. Cherepakhin, Can.Eng.,
A.N. Khorov, Engineer**
(Moscow State Mechanical Engineering University (MAMI))

Analysis of error influence in tooth direction upon combined cog- wheels accuracy

The solution of a problem in multi-range of cylindrical cog-wheels is in the use of banded wheels. One of the significant problems of banded wheels consists in decrease of their accuracy at assemblage. In the paper there is considered the influence of torque oscillation at threaded joint tightening upon a bend of a ring gear, and finally upon its accuracy.

In the paper it is shown that the application of mechanized (pneumatic) nut-runners results in: an increase of kinematic accuracy values and smoothness of operation of an assembled cog-wheel and lose of a ring gear not less than for one degree. In the paper the attention is drawn of manufacturers to the necessity of the application of more accurate automated nut-runners and to the certification of a ring gear not only after processing, but also after assembling.

Keywords: cog-wheel; bolted connection; profile direction error.

Зубчатые передачи широко применяют в машинах, устройствах, механизмах, приборах и т.д. В зависимости от области применения, основными эксплуатационными показателями являются высокая кинематическая точность, т.е. точная согласованность углов поворота ведущего и ведомого колес передачи (делительные механизмы металлорежущих станков), плавность работы, т.е. отсутствие циклических погрешностей, многократно повто-

ряющихся за оборот колеса (трансмиссии автомобилей).

Для высоконагруженных передач важное значение имеют нормы контакта зубьев, определяющие величину поверхности касания зубьев сопрягаемых колес. Качество и надежность зубчатых колес закладываются на стадии их нарезания. Возможная погрешность изготовления на этом этапе усугубляется в процессе высокотемпературной химико-термической обработки, поэтому точности на-

резания зубчатых колес необходимо уделять особое внимание.

В современной промышленности существует ряд проблем при изготовлении зубчатых колес. Основные из них:

1. При увеличении скорости обработки зубчатых венцов уменьшается их точность.
2. Высокая номенклатура зубчатых колес при относительно низкой номенклатуре зубчатых венцов.

Если первая проблема, в настоящее время, решается с помощью использования более современных материалов режущих инструментов и применения меньших диаметров фрез, которые позволяют увеличивать скорость обработки без существенной потери точности, то у второй, на данный момент, нет действенного решения.

Для уменьшения номенклатуры зубчатых колес предполагается изготавливать их сборными, аналогично бандажным колесам. На отдельно изготовленную ступицу надевается кольцо с заранее нарезанным зубчатым венцом. Таким образом, один и тот же зубчатый венец может становиться зубчатым колесом с разными по форме и размерам ступицами, и наоборот, одна и та же ступица может становиться зубчатым колесом с разным количеством зубьев и их модулем.

Основной задачей при создании сборного зубчатого колеса является создание ремонтно-пригодной конструкции, обеспечивающей хорошие эксплуатационные показатели.

Для сборных зубчатых колес также возможно появление погрешностей в результате сборки под воздействием нагрузки при затяжке болтового соединения. Как правило, контролируется зубчатый венец после нарезания зубьев, а колесо в сборе не подвергается контролю.

По ГОСТ 1643–81 «Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски» насчитывается более 20 параметров точности зубчатых передач, разделённых на четыре нормы точности: кинематической точности, плавности работы, контакта зубьев и бокового зазора.

Косозубые колеса, по сравнению с прямозубыми, работают более плавно и бесшумно благодаря тому, что каждый зуб колеса при вращении входит и выходит из зацепления не сразу по всей длине, а постепенно. Коэффициент осевого перекрытия у косозубых колес больше. Однако недостатком косозубых колес является то, что при их применении возникают осевые нагрузки, стремящиеся сдвинуть колесо вдоль оси вала. Влияние на качество

работы также оказывает погрешность направления зуба, относящаяся к нормам контакта зубьев.

Погрешность направления зуба F_{br} – это расстояние по нормали между двумя ближайшими друг к другу номинальными делительными линиями зуба (штриховая линия на рис. 1), между которыми размещается действительная делительная линия зуба (сплошная линия на рис. 1), соответствующая рабочей ширине венцов b . Под действительной делительной длиной зуба понимается линия пересечения действительной боковой поверхности зуба зубчатого колеса делительным цилиндром, ось которого совпадает с рабочей осью. Направление зуба может быть проверено с помощью любого контрольного приспособления, в котором предусмотрена возможность перемещать измерительный узел параллельно оси центров или с помощью измерительных центров.

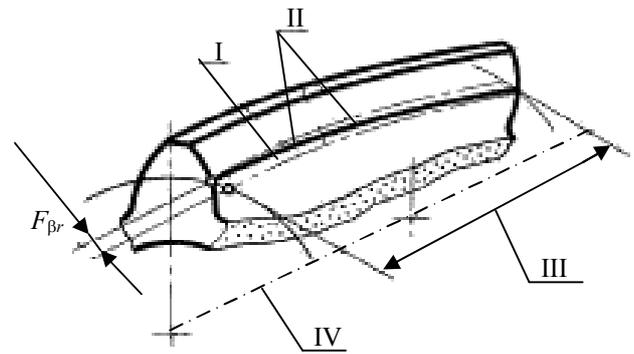


Рис. 1. Погрешность направления зуба:

I – действительная делительная линия зуба; II – номинальная делительная линия зуба; III – ширина зубчатого венца; IV – рабочая ось зубчатого колеса

Наряду с числовыми значениями погрешностей направления зубьев важна также аналитическая оценка графически записанной формы направления зуба: действительной делительной линии зуба и его угла и т.д. Наиболее полную информацию о характере и причинах возникновения погрешностей зубьев дает аналитический контроль. На сегодняшний день существует ряд специализированных высокоточных зубоизмерительных машин с ЧПУ, способных дать картину комплексного качества цилиндрических зубчатых колес по всем четырем нормам точности в графическом виде.

Для оценки погрешности направления зубьев косозубых сборных зубчатых колес с болтовым соединением под действием крутящего момента, был проведен ряд замеров на

зубоизмерительной машине Mahr GMX 400 (рис. 2).

Данная машина позволяет производить высокоточные измерения всех основных параметров зуба и зубчатого колеса, как с наружными, так и с внутренними зубьями. Оборудование оснащено специальным пакетом программного обеспечения для компенсации ошибки закрепления и выравнивания, а также высокоточным трехкулачковым патроном с диапазоном зажима от 110 до 220 мм. Для непосредственного измерения зубчатого колеса был использован щуп с концевым элементом диаметром 2 мм компании MAHR. Оценка результатов производится в соответствии с DIN 3962, ГОСТ 1643–81 или со свободным заданием допусков.



Рис. 2. Общий вид зубоизмерительной машины Mahr GMX 400

Результаты измерений представлены в виде протокола измерений, в котором отображены параметры точности зубчатого венца в графическом виде, что существенно упрощает анализ протоколов измерений. Идеальные параметры зуба и зубчатого колеса на таких протоколах выглядят как прямые линии.

Объектом исследования послужило косозубое зубчатое колесо задней передачи автомобиля ВАЗ-2108 (рис. 3) изготавливаемое по 7-му классу точности. При эксплуатации оно закрепляется с помощью болтового соединения на ступице. Для проведения измерения зубчатое колесо устанавливалось на специально изготовленной массивной оправке.

В промышленных масштабах сборка резьбовых соединений осуществляется с помощью одно- или многошпиндельных гайковертов. Погрешности осевых сил затяжки гайковертов могут колебаться в пределах 30...70 % от требуемого значения.

В производстве для скрепления узлов и деталей групповыми резьбовыми соединениями пытались применять многошпиндельные гайковерты. Существуют конструкции многошпиндельных гайковертов, которые работают от одного привода, но есть и такие гайковерты, у которых каждый шпиндель имеет автономный привод. Погрешности осевых сил затяжки этих гайковертов могут колебаться в пределах 12...20 % от требуемого значения. При проведении данного исследования, затяжка болтового соединения обеспечивалась реверсивным динамометрическим ключом компании Viking TOOLS с погрешностью крутящего момента ± 4 %.



Рис. 3. Общий вид колеса зубчатого ВАЗ 2108 (2108-232060-30)

Исследование точностных параметров зубчатого колеса проводилось в несколько этапов. Сначала были сделаны замеры параметров точности на незакрепленном колесе (рис. 4), для получения фактических погрешности направления зубьев.

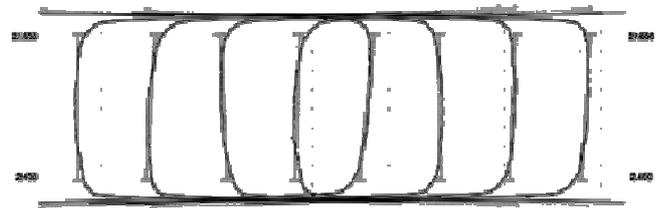


Рис. 4. Направление профиля зуба незатянутого колеса

Была измерена партия одинаковых зубчатых колес и для каждого из них получены протоколы измерений. Для последующего экспериментального исследования в нагруженном состоянии на оправке было выбрано

колесо, погрешность изготовления которого наименьшая из всех измеренных.

Следующим этапом эксперимента было установка зубчатого колеса на оправку и закрепление его с помощью болтов. При затягивании болтов момент затяжки динамометрического ключа регулировался на заданную величину, имитируя произвольную погрешность затяжки $\pm 20\%$ от номинального значения по ОСТ. Затяжка болтов осуществлялась по схеме «крест-накрест». Для осуществления измерений, оправка с закрепленным на ней колесом, устанавливалась на зубоизмерительной машине в высокоточный кулачковый патрон. В результате были получены фактические значения погрешности направления зуба после сборки.

Затем было осуществлено измерение параметров точности зубчатого колеса при неравномерной затяжке болтового соединения. В данном состоянии одна часть болтов была намеренно затянута на 20 % больше номинального крутящего момента, а вторая часть на 20 % меньше. В результате были получены протоколы измерений (рис. 5, а, б), показывающие, что погрешность направления зубьев колеса в ненагруженном и нагруженном состоянии различается.

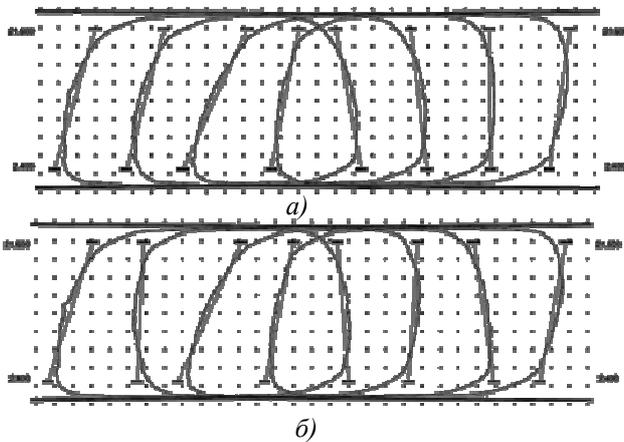


Рис. 5. Результаты измерения погрешности направления зуба:

а – при равномерной затяжке; б – при неравномерной затяжке

При равномерной и неравномерной затяжке зубья также имеют различное направление. По результатам измерений был составлен график, показывающий зависимость численного значения погрешности направления зуба от приложенной нагрузки (рис. 6).

Таким образом, исследование показывает, что при воздействии на сборное зубчатое ко-

лесо увеличивается значение погрешности направления зуба. По ГОСТ 1643–81 для 7-го класса точности значение допуска на погрешность направления зуба для рассматриваемого колеса находится в пределах 0...11 мкм.



Рис. 6. Значение погрешности направления зуба в зависимости от нагрузки

Анализ полученного графика зависимости погрешности направления зуба от нагрузки показывает, что значение допуска на погрешность направления зуба сборного зубчатого колеса в нагруженном состоянии превышает 11 мкм, что приводит к потере одного класса точности. Данный фактор, может оказать существенное влияние на параметры работы косозубой зубчатой передачи, такие как шумность, долговечность, плавность работы и т.д.

Во избежание ухудшения параметров работы зубчатых передач в таких случаях необходимо учитывать эти факторы на этапе обработки зубчатого венца, а также уделить внимание необходимости контроля и финишной обработки сборного зубчатого колеса после сборки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марков А.Л. Измерение зубчатых колес (допуски, методы и средства контроля). Л: Машиностроение, 1977. 250 с.
2. ГОСТ 1643–81. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. Государственный стандарт СССР.
3. Виноградов В.М., Черепяхин А.А. Зависимость точности изготовления цилиндрических зубчатых передач от точности изготовления их основных деталей и сборки // Известия МГТУ «МАМИ». № 1(19). 2014. Т. 2. С. 157–163.
4. О причинах снижения точности бандажных (сборных) зубчатых колес / А.Н. Хоров, А.А. Черепяхин // Матер. междунар. науч.-практ. конф. «Управление качеством», Университет машиностроения. 2013, С. 65–71.

5. Клепиков В.В., Черепакхин А.А. Влияние метода формообразования зубьев на форму припуска под зубоотделочные операции и их точность // Научные технологии в машиностроении. 2016. №3(57). С. 35–39.

6. Современные методы обработки зубчатых колес / А.С. Калашников, Ю.А. Моргунов, П.А. Калашников. М.: Изд-во Спектр, 2012. 239 с.

REFERENCES

1. Markov A.L. *Cog-wheel Measuring (Tolerances, Methods and means of Control)*. L: Mechanical Engineering, 1977. pp. 250.

2. SARS 1643–81. *Cylindrical Gearings. Tolerances. State Standard of the USSR*.

3. Vinogradov V.M., Cherepakhin A.A. Dependence of cylindrical cog-wheels upon accuracy of their basic parts and

asseblage // *Proceedings of MSTU “MAMI”*. № 1(19). 2014. Vol. 2. pp. 157–163.

4. On reasons of accuracy decrease in banded cog-wheels / A.N. Khorov, A.A. Cherepakhin // *Proceedings of the Inter. Scientific – Pract. Conf. “Quality Management” Mechanical Engineering University*. 2013, pp. 65–71.

5. Klepikov V.V., Cherepakhin A.A. Influence of teeth shaping upon allowance form for tooth finishing and teeth accuracy // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. 2016. №3(57). pp. 35–39.

6. *Modern Methods of Cog-Wheel Machining* / A.S. Kalashnikov, Yu.A. Morgunov, P.A. Kalashnikov. M.: Publishing House Spectrum, 2012. pp. 239.

Рецензент д.т.н. В.В. Клепиков

УДК 621.9.015
DOI: 10.12737/20137

А.Л. Плотников, д.т.н.,
А.С. Сергеев, к.т.н.,
Ж.С. Тихонова, магистрант
(Волгоградский государственный технический университет
Россия, 400005, Волгоград, пр. им. Ленина, 28)
E-mail: plotnikov.alexander1939@yandex.ru

Особенности использования сигнала ЭДС резания в условиях автоматизированного станочного производства

Представлен комплексный подход к оценке влияния геометрических параметров режущего инструмента и технологических факторов производства на величину сигнала термоЭДС естественной термопары «инструмент – деталь». Экспериментально установлено влияние состояния износостойкого покрытия на сигнал термоЭДС.

Ключевые слова: термоЭДС; режущий инструмент; стойкость; фаска износа; режимы резания.

A.L. Plotnikov, D.Eng.,
A.S. Sergeyev, Can.Eng.,
J.S. Tikhonova, Undergraduate
(Volgograd State Technical University 28, Lenin Avenue, Volgograd, 400005, Russia)

Peculiarities in use of cutting- electromotive force signal under conditions of computer-aided machine manufacturing

In the paper there is considered a problem of properties heterogeneity in a terminal pair under conditions of computer-aided manufacturing. It is emphasized that this circumstance results in decrease of stability and quality of machining on the whole. The existence of tolerances for the content of chemical elements in steel is caused by a complexity in control of metallurgical processes.

It is offered to use a parameter of thermo-electromotive force of a terminal pair “tool-blank” obtained in strictly definite modes of a calibrating cut for the further definition and optimization of cutting modes for machining. Drawbacks and possible variants for their solution at the realization of a method to measure cutting-electromotive force under production conditions are emphasized. A complex approach to the assessment of the influence of cutter geometrical parameters and technological factors of production upon the value of a thermo-electromotive force signal of a natural thermocouple “tool-part” is presented. It is established experimentally the influence of the antiwear coating state upon a thermo-electromotive force signal.

Keywords: thermo-electromotive force; cutter; durability; wear flat face; cutting modes.