

УДК 621.7.08

Е. И. Попова, кандидат технических наук, доцент  
Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПИРОИДНЫХ КОЛЕС ИЗ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПЛАСТИКОВ

*Исследуются величина и распределение погрешностей изготовления пластмассовых спироидных колес, полученных методом литья под давлением из различных марок полиамидов и полиацеталей.*

**Ключевые слова:** спироидные передачи, пластмассовые колеса, измерения, погрешности изготовления

Спироидные передачи так же, как гипоидные и червячные, относятся к передачам с перекрещивающимися осями. Привлекательно выглядит возможность использования достоинств этих передач для изготовления мелко модульных спироидных передач с пластмассовыми колесами. Большой коэффициент перекрытия в совокупности с податливостью зубьев пластмассовых колес дает возможность обеспечения повышенных рабочих нагрузок в сравнении с червячными и гипоидными передачами при тех же параметрах и габаритах.

Наиболее широко распространенный метод изготовления пластмассовых колес зубчатых передач – метод литья под давлением. Однако технические характеристики различных видов и марок конструкционных пластиков часто существенно отличаются друг от друга. Такие характеристики, как плотность, усадка, водопоглощение, а также режимы литья сильно влияют на погрешности изготовления, особенно в случае сложной формы отливаемых деталей (например, спироидного колеса). Современное измерительное оборудование и программное обеспечение позволяют достаточно хорошо определить погрешности изготовления и оценить точность с применением CAD-моделей [1].

Используемая CAD-модель спироидного пластмассового колеса строилась в программе SOLID WORK и передавалась на координатно-измерительную машину (КИМ Carl Zeiss (рис. 1)).



Рис. 1. КИМ Carl Zeiss Vista

Спироидные зубчатые колеса имеют сложные криволинейные геометрические поверхности, поэто-

му удобно пользоваться программным продуктом Holos NT ver. 2.4, преимущество которого в том, что в список его инструментов входит функция контроля кривых плоскостей и линий [2].

Для обеспечения качества измерений необходимо решить важную задачу по базированию измеряемой детали. Зубчатое колесо закрепляется в 3-кулачковом патроне, установленном на столе координатно-измерительной машины (рис. 1). Чтобы определить положение измеряемой детали, в системе координат машины производится «выравнивание» для черновой подгонки, а затем осуществляется и точная «3D-подгонка». Касаясь колеса в нескольких точках и записывая их в CAD-модель, осуществляют тем самым базирование измеряемой детали. Базирование происходит по методу Гаусса, когда определяется средний, наилучшим образом подогнанный элемент. На рис. 2 приведен пример использования метода Гаусса.

Если точность базирования детали недостаточная, операцию «базирование» можно повторить.

Если результаты базирования удовлетворяют заданной точности – электронная модель максимально совпадает с реальной деталью, можно проводить измерения. Для получения необходимой, достоверной и достаточной информации было принято решение измерять не все, но несколько линий зуба, расположенных равномерно по измеряемому колесу (рис. 3). Для определения погрешностей проводятся два сечения параллельно торцевой поверхности вершины зуба. Измерения проводятся для четырех пар зубьев.

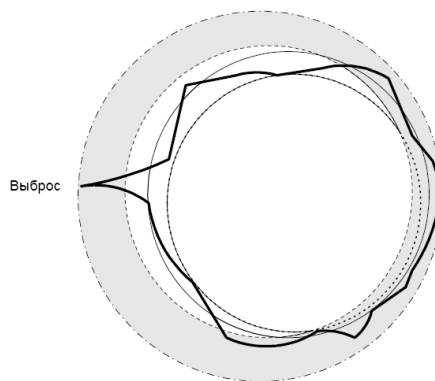
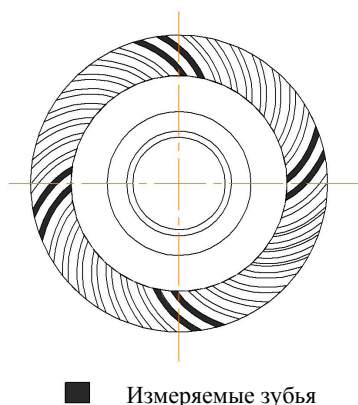


Рис. 2. Действительный и приближенный контур детали:  
— — действительный контур; — — подгонка по Гауссу



■ Измеряемые зубья

Рис. 3. Пример расположения измеряемых зубьев

После обработки результаты измерений выдаются на экране, наиболее подробные данные распечатываются в протоколе измерений (рис. 4). Протокол содержит исходные координаты, действительные координаты, несовпадение по каждой координате и суммарные погрешности (отклонения).

Измерительному контролю подвергались опытные образцы пластмассовых спироидных колес из следующих марок ПА610, ПА-610+5 % графита, ПА6-210-КС, ПА6-210/311 и полиацеталей Kerital F25-03 и F25-03N [3, 4].

| HOLOS - протокол измерения                                      |          |              |         |         |        |         |            |  |
|-----------------------------------------------------------------|----------|--------------|---------|---------|--------|---------|------------|--|
| Имя детали                                                      | :        | 45.01.000 S5 |         |         |        |         |            |  |
| Деталь-И                                                        | :        |              |         |         |        |         |            |  |
| Заказ-И                                                         | :        |              |         |         |        |         |            |  |
| Поставщик/Заказчик:                                             | :        |              |         |         |        |         |            |  |
| Оператор                                                        | :        |              |         |         |        |         |            |  |
| Примечание                                                      | :        |              |         |         |        |         |            |  |
| Дата                                                            | :        | 23.04.2013   |         |         |        |         |            |  |
| =====                                                           |          |              |         |         |        |         |            |  |
| верхний допуск                                                  | :        | 0.1000 mm    |         |         |        |         |            |  |
| нижний допуск                                                   | :        | -0.1000 mm   |         |         |        |         |            |  |
| =====                                                           |          |              |         |         |        |         |            |  |
| Тчк.                                                            | X-дей    | Y- де        | Z- де   | Fx      | Fy     | Fz      | Расстояние |  |
|                                                                 | X-зад    | Y- зад       | Z- зад  |         |        |         |            |  |
| =====                                                           |          |              |         |         |        |         |            |  |
| Измерение поверхность M 45.01.000 S5 006 002.act                |          |              |         |         |        |         |            |  |
| 1                                                               | -17.8519 | -20.1011     | -0.9115 | 0.1777  | 0.0278 | 0.0945  | 0.2032     |  |
|                                                                 | -18.0296 | -20.1289     | -1.0061 |         |        |         |            |  |
| 2                                                               | -18.0607 | -18.8273     | -0.9469 | 0.1256  | 0.0116 | 0.0663  | 0.1425     |  |
|                                                                 | -18.1864 | -18.8389     | -1.0132 |         |        |         |            |  |
| 3                                                               | -18.1633 | -17.9754     | -0.9670 | 0.0841  | 0.0040 | 0.0442  | 0.0951     |  |
|                                                                 | -18.2474 | -17.9794     | -1.0112 |         |        |         |            |  |
| 4                                                               | -18.2578 | -16.4078     | -1.0138 | -0.0027 | 0.0001 | -0.0014 | -0.0030    |  |
|                                                                 | -18.2551 | -16.4079     | -1.0124 |         |        |         |            |  |
| 5                                                               | -18.2387 | -15.2951     | -1.0450 | -0.0614 | 0.0063 | -0.0324 | -0.0696    |  |
|                                                                 | -18.1773 | -15.3014     | -1.0126 |         |        |         |            |  |
| 6                                                               | -18.0780 | -13.9547     | -1.0668 | -0.0957 | 0.0182 | -0.0510 | -0.1100    |  |
|                                                                 | -17.9823 | -13.9728     | -1.0158 |         |        |         |            |  |
| -----                                                           |          |              |         |         |        |         |            |  |
| Стандартное отклонение= 0.1208 min(6) = -0.1100 max(1) = 0.2032 |          |              |         |         |        |         |            |  |

Рис. 4. Пример протокола измерений

Для большей наглядности представим график, на котором отображены обобщенные средние зависимости отклонений колес для всех вышеперечисленных марок из полиацеталей и колес из полиамидов (рис. 5).

Исходя из данных графика, можно сделать следующие выводы: у колес из полиамидов и у колес из полиацеталей марки Kerital имеется утонение зуба по правой стороне и утолщение его по левой. Графики отклонений для обоих материалов имеют схожие направления по левой стороне и различные по пра-

вой стороне. Для колес из полиамида максимальное отклонение по левой стороне достигает до +0,3 на радиусе 27 мм, когда по правой максимальное отклонение достигает до -0,15 на радиусе 22,5 мм [3]. Для колес из полиацеталей максимальное отклонение по левой стороне достигает 0,2 мм на радиусе 26 мм, а по правой стороне максимальное отклонение -0,1 на радиусе 25 мм [4].

Графики средних отклонений продольной линии зуба как колес из полиамидов, так и колес из полиацеталей имеют зависимость, близкую к линейной. Величина отклонений увеличивается по мере приближения к наружному радиусу зубчатого венца.

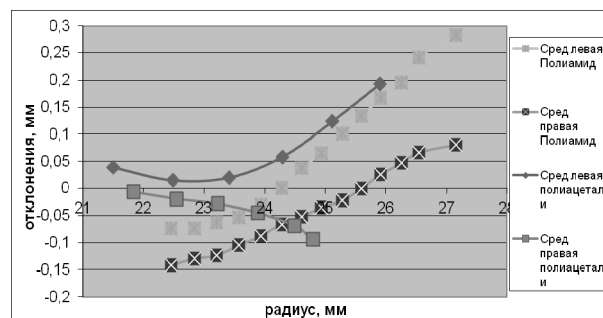


Рис. 5. Сравнение средних значений погрешностей колес из полиамидов и полиацеталей [3, 4]

Представленные результаты измерений позволяют говорить об аналогичных величине и распределении погрешностей для пластмассовых спироидных колес из полиамидов и полиацеталей Kerital. В большей степени это касается левой стороны зубьев. Для правой стороны зубьев погрешности изготовления колес из полиацеталей имеют обратную зависимость в отличие от колес из полиамидов: чем ближе к центру колеса, тем меньше погрешности. Это объясняется различными техническими характеристиками для различных видов и марок конструкционных пластиков. Они сильно отличаются друг от друга. Результаты измерений подтверждают, что плотность, усадка, водопоглощение, режимы переработки значительно влияют на погрешности изготовления, особенно в случае сложной формы отливаемых деталей (например, спироидного колеса). Поэтому, не имея достаточной информации о величине и распределении погрешностей, сложно подобрать описывающую их адекватную модель, позволяющую еще на этапе проектирования предсказывать эти погрешности, а также управлять ими, обеспечивая качество изготовления деталей и изделий со сложной пространственной формой.

## Библиографические ссылки

1. Попова Е. И., Селифанов Д. В. Сравнение погрешностей изготовления пластмассовых спироидных колес из разных конструкционных пластиков с использованием современного измерительного оборудования и программного обеспечения // Международный симпозиум «Теория и практика зубчатых передач – 2014», 21–23 янв. 2014, Ижевск, Россия.
2. Руководство пользователя Holos NT ver. 2.4.

3. Попова Е. И. Разработка инструментов и технологии формообразования металлополимерных колес спиральных передач : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. – Ижевск, 2004. – 166 с.

4. Селифанов Д. В. Исследование и сравнение точности металлополимерных спиральных колес из полиамидов и полиацеталей : дис. ... магистра : 151900.68. – Ижевск, 2013. – 86 с.

\* \* \*

E. I. Popova, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### Study on the errors of skew-axes of wheels of various structural PLA sticks

*The article investigates manufacturing errors value and distribution of spiroid plastic wheels produced by injection molding of different types of polyamide and polyacetal.*

**Keywords:** spiroid transmission, plastic wheels, measurements, manufacturing errors

Получено: 25.04.14

УДК 658.562.012.7

М. А. Разживина, аспирант;

Б. А. Якимович, доктор технических наук, профессор, ректор;

А. И. Коршунов, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе  
Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

### ОТ ИДЕЙ ТЕЙЛОРА ДО СТАНДАРТОВ ИСО 9000: ТРАДИЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Одним из важнейших критериев, определяющих конкурентоспособность предприятия, является качество выпускаемой им продукции. Подходы к обеспечению качества с течением времени претерпевали изменения и совершенствовались. Более эффективными и прогрессивными в развитии методологии управления качеством оказались европейские страны и США. Отечественные предприятия активно перенимают накопленный опыт, но не могли еще достичь аналогичного эффекта.*

**Ключевые слова:** стандарты управления качеством продукции, методы управления качеством, контроль качества, история развития систем качества

Движущей силой развития промышленности в условиях рыночной экономики является стремление предприятий повысить конкурентоспособность и качество выпускаемой продукции как обязательное условие обеспечения ее сильных позиций на рынке. Конкурентоспособность предприятия среди всего прочего зависит от конкурентоспособности его продукции. Что подразумевает под собой приемлемую с точки зрения рыночной конъюнктуры цену продукта, его эргономичность, эстетичность, технические характеристики, необходимое качество и прочие характеристики. Качество продукции, в свою очередь, зависит от качества процессов жизненного цикла, включающих в себя проектирование, подготовку к производству, производство и эксплуатацию, а также утилизацию.

Одним из ведущих направлений исследований в области организации и управления производством в настоящее время является изучение принципов и методов обеспечения и управления качеством.

В начале 1900-х гг. Фредерик Уинслоу Тейлор (Frederick Winslow Taylor) первым обратил пристальное внимание на необходимость учета влияния отклонений производственного процесса и оценил важность их контроля и устранения [8]. Главная проблема качества воспринималась и разрабатывалась специалистами преимущественно как инженерно-техническая проблема контроля и управления параметрами продукции и процессов производства.

В 1920–1950-е гг. развитие получили статистические методы контроля качества – SQS [9]. Появились контрольные карты, обосновывались выборочные методы контроля качества продукции и регулирования техпроцессов. В 1950-е гг. была выдвинута концепция тотального контроля качества – Total Quality Control (TQC). Ее автором был американский специалист Арманд В. Фейгенбаум (Armand W. Feigenbaum). Поскольку на качество влияет множество факторов, то идея этого подхода заключается в выделении основных из них, наиболее значимых. Кроме того, необходимо также учитывать взаимосвязь факторов, чтобы, воздействуя на один из них, предвидеть изменение других. Система TQC развивалась в Японии с акцентом на применение статистических методов и вовлечение персонала в работу кружков качества [7].

Началом системного подхода к управлению качеством продукции в нашей стране считают разработку и внедрение в 1955 г. на Саратовском авиационном заводе системы бездефектного изготовления продукции (БИП), ориентированной на сдачу продукции ОТК и заказчикам с первого предъявления [11]. Главной особенностью и новизной системы БИП было то, что она позволяла проводить количественную оценку качества труда каждого исполнителя, а также коллективов и подразделений, и на этой основе осуществлять моральное и материальное стимулирование [2]. В развитие системы БИП была разра-