

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛАНЕТАРНОГО РОЛИКОВИНТОВОГО МЕХАНИЗМА

¹Мамаев И.М., ¹Степенькин А.В., ¹Круглов А.В., ¹Морозов В.В.

¹ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ), Владимир, e-mail: vano_33reg@mail.ru

Повышения точности изготовления деталей и изделий является одной из важнейших задач машиностроения. На примере планетарного роликовинтового механизма проведены исследования влияния метода изготовления зубчатых венцов на качественные параметры, такие как кинематическая точность механизма и радиальное биение штока. Сравнению подверглись две партии планетарных роликовинтовых механизмов, зубчатые венцы которых были изготовлены двумя разными способами. В первой партии, зубчатые венцы изготовлены традиционным методом с помощью зубообрабатывающего оборудования, использующего лезвийный инструмент. Во второй партии, зубчатые венцы изготовлены с помощью электроэрозионного оборудования. Проведены стендовые испытания планетарных роликовинтовых механизмов. Полученные данные показали, что планетарные роликовинтовые механизмы, зубчатые венцы которых изготовлены с использованием электроэрозионного оборудования, имеют меньшую кинематическую погрешность и значительно меньшее радиальное биение штока, тем самым, данный метод изготовления имеет хорошую перспективу для использования, особенно в условиях единичного и опытного производства.

Ключевые слова: роликовинтовой механизм, лезвийная обработка, электроэрозионная обработка, кинематическая точность, радиальное биение штока.

COMPARISON OF METHODS FOR PRODUCING RING GEARS AND THEIR IMPACT ON THE QUALITATIVE PARAMETERS OF THE PLANETARY ROLLER SCREW

¹Mamaev I.M., ¹Stepenkin A.V., ¹Kruglov A.V., ¹Morozov V.V.

¹Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, e-mail: vano_33reg@mail.ru

Improve the accuracy of the manufacture of parts and products is one of the most important tasks of engineering. On the example of the Planetary Roller Screw investigated the effect of the method of manufacturing a ring gear on the quality parameters, such as the accuracy of the kinematic mechanism and radial run out of the stock. Compared undergone two parties Planetary Roller Screws, ring gears which were produced in two different ways. In the first parties, ring gears are made using the traditional method of gear cutting using the blade tool. In the second parties, ring gears are manufactured using EDM equipment. Bench tests Planetary Roller Screw. The findings showed that the Planetary Roller Screw, ring gears which are manufactured using EDM equipment, have a lower kinematic error and a much smaller radial run out of stock, thus, this method is the production of a good perspective to use, especially for single and pilot production.

Key words: roller screw, the blade machining, electrodischarge machining, kinematics accuracy, radial runout of stock.

Повышение точности изготовления деталей и изделий является одной из важных задач в машиностроении. Одним из показательных примеров повышения точности могут служить планетарные роликовинтовые механизмы (далее – ПРВМ), как изделия общего машиностроения. Они получили распространение в станкостроении, измерительном оборудовании, военной технике, медицинской технике и т.д, где требуется сочетание высокой жесткости, нагрузочной способности, точности и надежности, при минимальных массогабаритных параметрах.

ПРВМ обеспечивают преобразование вращательного движения в поступательное перемещение, а также вращательного движения во вращательное [1, 2, 3].



Рис. 1. Планетарный роликовинтовой механизм: 1 – винт, 2 – резьбовой ролик, 3 – зубчатые венцы на роликах, 4 – зубчатые винты на винте, 5 – опорная гайка, 6 – ходовая гайка, 7 – зубчатый эпицикл опорной гайки

Наибольшее распространение получила конструкция ПРВМ (Рис. 1), состоящая из винта 1, на который передается момент с электродвигателя, резьбовых роликов 2, на концах которых расположены зубчатые венцы 3, 4, одной или двух опорных гаек 5, ходовой гайки 6, зубчатого эпицикла опорной гайки 7. Опорная и ходовая гайки могут быть выполнены как из двух частей, разделенные проставочными кольцами для создания предварительного натяга в резьбах, так и быть цельковыми.

Зубчатые венцы 3, 4 и эпицикл 7 препятствуют проскальзыванию резьб в ПРВМ, что дает однозначность движения блока роликов в кольцевой области между винтом и гайками. Проскальзывания резьб могут привести к нарушению постоянства кинематической характеристики ПРВМ, и в некоторых случаях к заклиниванию механизма [4].

Сложность конструкции, большое количество элементов, входящих в состав ПРВМ, делают актуальной задачу исследования влияния различных факторов на такие качественные параметры ПРВМ [5], как кинематическая точность, радиальное биение штока, мертвый ход, КПД, осевая жесткость и т.д.

Проведенные исследования кинематической погрешности [6], как одного из важнейших параметров ПРВМ показали, что удельный вес геометрических погрешностей резьбы, таких как погрешности шага, погрешности средних радиусов, погрешности заходов резьб и т.д., в кинематической погрешности ПРВМ не превышают 0.5%. Доля окружного смещения резьбовых роликов в кинематической погрешности не превышает 10%. Погрешности, возникающие вследствие радиального биения зубчатых венцов, составляют до 75%.

Таким образом, от точности изготовления зубчатых венцов напрямую зависит качество ПРВМ.

Наиболее распространенными методами получения мелко модульных зубчатых венцов являются зубодолбление и зубофрезерование с последующим шлифованием поверхностей зубьев или накатка зубьев [7]. Но традиционные методы имеют существенные недостатки: сложность наладки оборудования, что требует наличия рабочего персонала с высокой квалификацией, высокая стоимость нестандартного режущего инструмента, сложности при изготовлении зубчатых венцов на длинных резьбовых роликах и винте, связанные с необходимостью обеспечения соосности впадин зубчатых венцов на концах резьбового ролика и винта.

Перспективным методом получения мелко модульных зубчатых венцов является электроэрозионная обработка. Недостатками данного метода являются длительное время изготовления зубчатых венцов, превышающая в несколько раз время традиционного метода, возможность обработки только токопроводящих материалов. Преимуществами являются простота наладки оборудования, что зачастую компенсирует длительное время изготовления зубчатых венцов, получения профиля зуба любой формы, обеспечение соосности впадин и вершин зубьев на концах резьбового ролика и винта, обработка материалов с высокой твердостью, отсутствие дефектного слоя на зубе за счет существенного снижения сил резания.

Наиболее рационально при электроэрозионной обработке зубчатые венцы на резьбовых роликах и винте изготавливать с помощью электрода-инструмента (Рис. 2) на копировально-прошивном электроэрозионном станке, а внутренний зубчатый эпицикл опорной гайки (Рис. 3) на проволочно-вырезном электроэрозионном станке.



Рис. 2. Электрод-инструмент для получения внешнего зубчатого венца



Рис. 3. Зубчатый венец, полученный на проволочно-вырезном станке

Для сравнения двух методов изготовления зубчатых венцов проведены экспериментальные исследования двух наиболее важных и взаимосвязанных качественных параметров ПРВМ – кинематической погрешности и радиального биения штока. На экспериментальном стенде [8] проведены испытания двух партий ПРВМ 30x0.25x10, зубчатые венцы, которых, имеют модуль $m=0.4$ мм. Данные ПРВМ были разработаны для актуатора отражающей поверхности главного зеркала радиотелескопа РТ-70 в соответствии с

техническим заданием ИПМаш РАН (г. Санкт-Петербург). Технические характеристики ПРВМ 30x0.25x10 приведены в таблице.

Технические характеристики ПРВМ 30x0.25x10

Наименование параметра	Значение
Перемещение ходовой гайки за оборот винта	0,25
Величина хода, мм	10
Динамическая грузоподъемность, Н	18340
Статическая грузоподъемность, Н	45740
Долговечность при номинальной рабочей нагрузке, млн. об.	3570
КПД прямого хода	0,38-0,43
Осевая жесткость, Н/мкм	40-50
Момент инерции, кг·м ²	$1,65 \cdot 10^{-6}$
Погрешность при преобразовании движения, мкм	± 5
Масса механизма, кг	0,7

В первой партии ПРВМ, зубчатые венцы на резьбовых роликах и винте изготавливались на шлицефрезерном станке Vanderer GF-322, а внутренний зубчатый эпицикл опорной гайки на зубодолбежном станке с ЧПУ Lorenz AG LS152 CNC. Вторая партия, изготавливалась на копировально-прошивном электроэрозионном станке с ЧПУ CHMER CM-A53C+75N и электроэрозионном проволочно-вырезном шести координатном станке с ЧПУ Mitsubishi VA-8.

В ходе испытаний проверялось отклонение действительного перемещения штока от его номинального положения. Экспериментальные исследования проводились на макетном образце электромеханического привода (актуатора), выполненного на базе ПРВМ. Перед экспериментом все ПРВМ проходили прикатку на стенде под номинальной рабочей нагрузкой в течение десяти часов.

Макетный образец электромеханического привода приводился в движение шаговым электродвигателем (далее - ШД) с полым ротором ДШР-110-0,4-7,8 фирмы ОАО «Микмар» с помощью блока управления ШД SMD-42 НПФ «Электропривод». Нагружающее устройство обеспечивало постоянное осевое усилие 600 Н на штоке.

Номинальное и действительное положение штока определялось по средствам закрепленного на хвостовике винта ПРВМ инкрементного углового фотоэлектрического преобразователя перемещений СКБ ЛИР-119А и инкрементального щупа Heidenhain MT-2571, контактирующего с оголовком штока в точках, зависящих от текущих проводимых измерений. Датчики имеют погрешность 150 угловых секунд (при переводе угловой погрешности в линейную на штоке, соответствует погрешности в 0.03 мкм) и 0,4 мкм соответственно.

Сигналы с датчиков собирались устройством сбора данных через каждые два угловых шага ШД (сто измерений на один оборот винта). Управляющие сигналы блока ШД и сигналы с датчиков имеют уровни TTL, на основе этого, для снятия показаний был выбран модуль сбора и генерации сигналов компании National Instruments NI 9401 (8-channel, TTL Digital Input/Output Module), установленный в шасси NI cDAQ-9178 (NI CompactDAQ Eight-Slot USB Chassis) включающей в себя четыре счетчика и генератор тактовой частоты для работы с цифровыми сигналами [9]. Управление работой ШД и обработка полученных сигналов с датчиков производилась в виртуальном приборе, разработанном в среде графического программирования NI LabVIEW 2013.

Результаты измерений кинематической погрешности и радиального биения штока представлены на рисунках 4, 5.

Данные для двух методов обработки собирались в автоматическом режиме на интервале равном восьми полным оборотам винта на трех рабочих участках хода ПРВП: начальном, среднем и конечном. Восемь оборотов винта соответствуют двум полным оборотам резьбового ролика в планетарном движении вокруг винта и двум периодам изменения погрешностей.

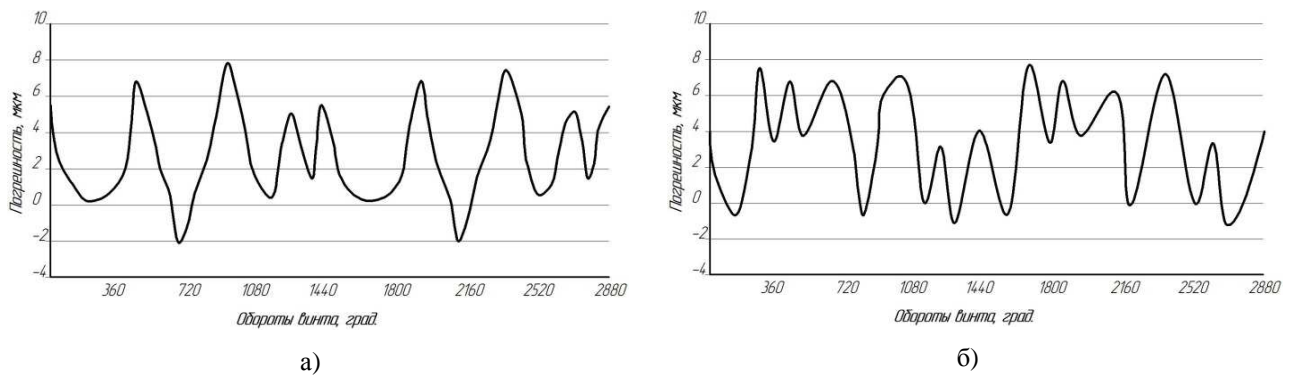


Рис. 4. Графики кинематической погрешности при лезвийной обработке (а) и электроэрозионной обработке (б)

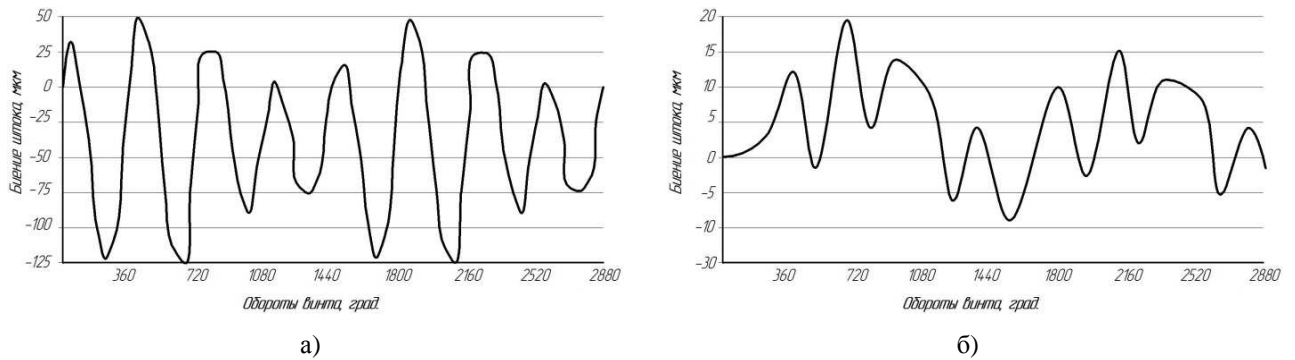


Рис. 5. Графики радиального биения штока при лезвийной обработке (а) и электроэрозионной обработке (б)

На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что ПРВМ, зубчатые венцы которых изготовлены с помощью электроэрозионной обработки, имеют более высокие качественные параметры. Переход от лезвийного способа изготовления зубчатых венцов к электроэрозионной обработке, за счет снижения погрешностей формы и взаимного расположения зубчатых венцов, повышает кинематическую точность ПРВМ (ширина полосы линии отклонения кинематической погрешности для лезвийной обработки 10 мкм, для электроэрозионной 8.5 мкм) и значительно снижает радиальное биение штока (отклонение для лезвийной обработки 175 мкм, для электроэрозионной 27 мкм). Изготовленные лезвийным инструментом партия ПРВМ укладывается в норму допуска для передач пятого класса точности согласно стандарту Part 3 ISO 3408-3, а электроэрозионной обработкой третьего класса точности.

Электроэрозионная обработка имеет высокий потенциал для широкого внедрения при производстве электромеханических приводов на базе ПРВМ за счет повышения качества получаемых изделий, расширения вариантов формы обрабатываемых поверхностей, простоты наладки оборудования, что особенно актуально в условиях единичного и опытного производства.

Список литературы

1. Морозов В.В., Панюхин В.И., Панюхин В.В. Зубчато-винтовые передачи для преобразования вращательного движения в поступательное: монография / Под ред. В.В. Морозова; Владимирский государственный ун-т. Владимир, 2000. – 158 с. – ISBN 5-89368-205-X.
2. Патент на полезную модель № 135045 Российская Федерация. Роликовинтовой планетарный механизм / Мамаев И.М., Васильев С.Р., Колов П.Б., Тюрин Н.В.; поступ. 02.04.13; опубл. 27.11.13, бюл. № 33 (П.ч.).
3. Патент на полезную модель № 130651 Российская Федерация. Роликовинтовой планетарный механизм / Бондарь Д.В., Колов П.Б., Васильев С.Р., Мамаев И.М., Тюрин Н.В., Жданов А.В.; поступ. 27.02.2013; опубл. 27.07.2013, бюл. № 21 (П.ч.).
4. Бушенин Д.В., Гоголев Б.Б., Морозов В.В., Попов Б.К. Козырев В.В. Основы проектирования и расчета несоосных винтовых механизмов. Ч. 2: Учеб. пособие / Под ред. Д.В. Бушенина; Владимирский государственный ун-т. Владимир, 1998. – 120 с. – ISBN 5-89368-081-2.
5. Жданов А.В., Степенькин А.В., Штых Д.В. Оценка качества перемещения выходного звена РВМ // Фундаментальные исследования. – М.: ИД «Академия Естествознания», 2013. – №1. Ч. 2. – С. 379 – 383. – ISSN 1812-7339.
6. Козырев В.В., Худяков С.О. Исследование влияния геометрических погрешностей зубчатых венцов на кинематическую погрешность передачи с длинными резьбовыми роликами // Вестник машиностроения. – М.: Машиностроение, 2005. – №8. – С. 15 – 19. – ISSN 0042-4633.
7. Калашников А.С. Технология изготовления зубчатых венцов. – М.: Машиностроение, 2004. – 480 с. – ISBN 5-217-03233-2.
8. Кузьмин И.Н, Рябов К.В. Испытания мехатронных модулей с высокой разрешающей способностью для нанотехнологического оборудования // Вооружение. Технология. Безопасность. Управление: материалы IV межотраслевой конференции с международным участием аспирантов и молодых ученых. В 3 ч. Ч. 2. – Ковров: ГОУ ВПО «КГТА им. В.А. Дегтярева», 2009. С. 21 – 26. – ISBN 978-5-86151-347-0.
9. Трэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. 4-е издание, переработанное и дополненное. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 904 с. – ISBN 978-5-94074-674-4.

Рецензенты:

Кульчицкий А.Р., д.т.н., профессор, главный специалист ООО «Завод инновационных продуктов», г. Владимир;

Гоц А.Н., д.т.н., профессор кафедры «Тепловые двигатели и энергетические установки», ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир.