

УДК 621.833.6

М. Н. Каракулов, доктор технических наук, доцент, Воткинский филиал ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
А. С. Мельников, Воткинский филиал ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

АНАЛИЗ СПОСОБОВ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ПЛУНЖЕРНОЙ ПЕРЕДАЧЕ

Исходя из непрерывного цикла работы передачи за один оборот волнообразователя плунжер должен совершить целочисленное количество циклов зацеплений. При невыполнении этого условия полноповоротная передача движения от генератора к плунжеру, а затем к зубу колеса невозможна, потому что в этом случае плунжеры не выводятся из зацепления. Значит, повтор одного цикла зацепления должен вызывать поворот зубчатого колеса (или сепаратора) на шаг, пропорциональный количеству зон зацепления k_2 . Следовательно, в общем случае должно выполняться равенство, которое называют условием собираемости [1]:

$$Z_K - Z_{II}K = K_Z k_2, \quad (1)$$

где K_Z – коэффициент разности чисел зубьев.

На практике, задавшись величиной $K_Z k_2$ (обычно принимают $K_Z = 1$, $k_2 = 2$) и K , при известном передаточном отношении количество зубьев колеса (или плунжеров) определяют из выражений:

1) при назначенном i_{3K}^C

$$Z_K = i_{3K}^C K_Z k_2, \quad Z_{II} = \frac{Z_K K_Z k_2 \left(\frac{i_{3K}^C - 1}{i_{3K}^C} \right)}{K}, \quad (2)$$

2) при назначенном i_{3C}^K

$$Z_{II} = \frac{i_{3C}^K K_Z k_2}{K}, \quad Z_K = Z_{II} K \left(\frac{1 + i_{3C}^K}{i_{3C}^K} \right), \quad (3)$$

где i_{3C}^K – передаточное отношение от волнообразователя к сепаратору при неподвижном колесе; i_{3K}^C – передаточное отношение от волнообразователя к колесу при неподвижном сепараторе; K – кратность передачи.

Стоит отметить, что от правильного выбора K зависят габариты и технологичность изготовления рассматриваемых механизмов. Например, в случае принятия $K = 1$ технологическая задача изготовления передачи значительно усложняется: действительно, трудно при $i_{3K}^C = 36$ без увеличения габаритов привода разместить в корпусе 68 плунжеров при количестве зубьев колеса, равном 70.

При выборе количества зубьев колеса и при назначении K необходимо осознавать, что более технологичным случаем является применение четного числа плунжеров, что позволяет производить обра-

ботку пазов сепаратора «напроход», что существенно сокращает вспомогательное время операции.

При чрезмерном увеличении K , что ведет к уменьшению количества плунжеров, уменьшается коэффициент перекрытия ε и плавность работы передачи за счет уменьшения многопарности зацепления.

Поэтому задача выбора кратности передачи является многокритериальной и ее решение зависит от тех условий, которые предъявляются к приводу со стороны изготовителя и потребителя.

Для оценки ширины диапазона возможных значений передаточного отношения можно ввести понятие дискреты $\Delta i_{3K}^C(K)$, величина которой определяется из выражения

$$\Delta i_{3K}^C(K) = k_2^{-1} K. \quad (4)$$

Например, оптимальное значение передаточного отношения плунжерных передач с однозонным зацеплением (т. е. при $k_2 = 1$) [2] лежит в интервале $20 \leq i_{3K}^C \leq 80$, в то время как оптимальный диапазон для плунжерных передач с $k_2 = 2$ находится в интервале $10 \leq i_{3K}^C \leq 60$ [3]. Как видно из приведенных значений, интервал, которому могут принадлежать значения передаточных отношений передач с $k_2 = 2$, уже, чем при $k_2 = 1$. Так, при $K = 1$ дискрета значений передаточных отношений передачи с $k_2 = 1$ $\Delta i_{3K}^C = 1,0$, в то время как дискрета плунжерной передачи с $k_2 = 2$ при тех же условиях $\Delta i_{3K}^C = 0,5$. Тогда количество возможных значений передаточного отношения для однозонной передачи равно 60, а для двухзонной при тех же условиях – 100.

Для анализа можно выбрать четыре наиболее технологичных конструкции гибких элементов: гибкий элемент в виде пружинных колец, гибких металлических тросов, возвращающих пружин и жестких колец. Первые три варианта позволяют получить силовое замыкание кинематической связи в паре плунжер – волнообразователь, а последний вариант – геометрическое.

При исследовании передачи с гибким элементом – пружинными кольцами (рис. 1) – выяснилось, что при уменьшении зоны зацепления увеличиваются напряжения изгиба в пружинных кольцах, которые уменьшают их усталостную прочность, что и отмечается авторами работ [4] на примерах аналогов – волновых зубчатых передач с гибкими колесами.

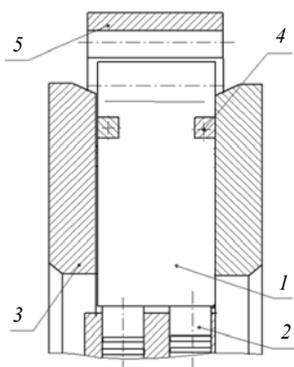


Рис. 1. Конструкция передачи с гибким элементом в виде пружинных колец: 1 – плунжер; 2 – поршень волнообразователя; 3 – сепаратор; 4 – пружинное кольцо; 5 – зубчатое колесо

Определение усталостной прочности пружинного кольца проводилось согласно существующей методики по коэффициентам запаса прочности [5].

Необходимо отметить, что при работе пружинного кольца основным условием прочности является условие усталостной прочности.

Как отмечается в работе [6], касательные напряжения в кольцевой оболочке несравнимо малы по сравнению с нормальными напряжениями изгиба и в среднем составляют 2-3 % от них. Но данные выводы сделаны при условии небольших деформаций оболочки, которые лежат в интервале от 0,005 до 0,01 от первоначального диаметра оболочки. При деформации пружинного кольца ПГД, которая составляет в среднем 0,025 от первоначального диаметра, происходит увеличение касательных напряжений, которые необходимо учитывать.

Как показали расчеты, данная конструкция ГЭ нецелесообразна, так как, во-первых, в результате расчетов и проведенных испытаний выяснилось, что для придания пружинным кольцам удовлетворительной усталостной прочности необходимо значительно увеличивать размеры их поперечного сечения, а пружинные кольца с эквивалентной площадью поперечного сечения имеют коэффициент запаса статической прочности $n = 0,34$, что существенно меньше допустимого значения. Кроме того, увеличение площади поперечного сечения пружинного кольца приводит к уменьшению КПД за счет увеличения необходимых радиальных сил, затраченных на деформацию гибкого элемента, и изготовление пружинных колец из-за их низкой радиальной жесткости – сложная технологическая задача.

На рис. 2 представлена конструкция передачи с гибким элементом в виде возвратных пружин. Возвратные пружины 4 размещены в радиальных отверстиях сепаратора 3 и воздействуют при помощи перемычки на плунжер 1, заставляя его выходить из контакта с зубчатым колесом 6 и возвращать поршни 2 генератора волн в крайнее нижнее положение. Регулирование возвращающей силы пружин производится с помощью винтов 5. Данная конструкция обладает рядом преимуществ по отношению к конструкции передачи с пружинными кольцами. Так, она

позволяет получить закон движения плунжера в неподвижных осях зубчатого колеса, совпадающий с дугой окружности, что улучшает качественные показатели зацепления. Но, как показали испытания, данная конструкция имеет и ряд недостатков эксплуатационного характера. Основным недостатком конструкции является сложность регулирования возвращающей силы пружин и необходимость перенастройки привода при изменении давления газа в магистралах.

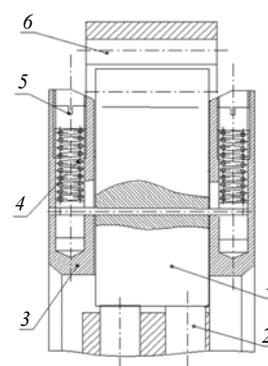


Рис. 2. Конструкция сепаратора ПГД с возвратными пружинами

Одним из вариантов конструкции гибкого элемента плунжерной передачи является конструкция с гибкими металлическими тросами (рис. 3). В данной конструкции роль ГЭ выполняет трос, замкнутый в кольцо с помощью втулки или сплетенный в виде кольца при изготовлении.

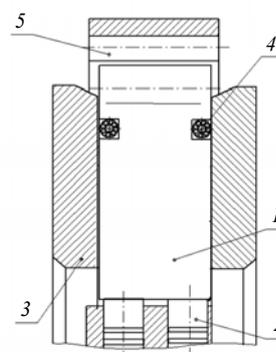


Рис. 3. Конструкция передачи с гибким элементом в виде тросов: 1 – плунжер; 2 – поршень волнообразователя; 3 – сепаратор; 4 – металлические тросы; 5 – зубчатое колесо

Такая конструкция имеет ряд преимуществ. Например, металлические тросы обладают значительно большей усталостной прочностью в сравнении с ГЗК вследствие отсутствия концентраторов напряжений и поэтому имеют больший ресурс. Так, согласно проведенным расчетам металлические тросы имеют удовлетворительную усталостную прочность уже при диаметре, равном 3,5 мм (для ПГД-1). ГЭ данной конструкции, в отличие от пружинных колец, обладает меньшими потерями мощности на вывод плунжеров из зацепления в свободной зоне. Кроме этого

тросы такой конструкции обладают меньшей трудоемкостью изготовления и высокой ремонтпригодностью.

Поэтому в изготовленных опытных образцах ПГД нашло применение конструкция с гибкими металлическими тросами.

В конструкции ПВР-2 нашли применение жесткие кольца, с помощью которых плунжеры, находящиеся в свободной зоне зацепления, выводятся из контакта с зубом колеса. Результаты испытаний показали, что несмотря на увеличение осевых размеров редуктора ресурс таких колец значительно выше, чем гибких элементов. Поэтому такая конструкция может применяться в тех передачах, которые не требуют частого технического обслуживания.

Закон движения точек, принадлежащих плунжеру, записанный в неподвижной системе координат остановленного звена передачи, оказывает значительное влияние на качественные характеристики передачи. В ненагруженном зацеплении он однозначно определяется типом волнообразователя и способом кинематического замыкания в паре плунжер – волнообразователь. Поэтому его выбор и математическое описание являются актуальной задачей проектирования плунжерного зацепления.

Так, в двухзонной передаче ($k_2 = 2$), оснащенной эксцентриковым волнообразователем с силовым замыканием кинематической связи при помощи гибкого элемента, закон движения точки, принадлежащей плунжеру в его движении относительно неподвижных осей сепаратора можно представить в виде

Получено 10.11.2014

$$r(\varphi) = e_0 \cos 2\varphi, \quad (5)$$

где φ – угол между главной осью деформации волнообразователя и осью симметрии сепаратора.

Стоит отметить, что такое движение может быть конструктивно реализовано с помощью как кулачкового, так и эксцентрикового волнообразователя. Использование такого закона движения, траектория которого представляет собой кривую переменной кривизны, в случае использования эвольвентного профиля плунжера и зубьев колеса не позволяет получить высокую многопарность зацепления. Но при использовании профилей элементов зацепления, очерченных другими кривыми, – гипо- или эпициклоидой, реализация такого движения может улучшить качественные характеристики передачи.

Библиографические ссылки

1. Иванов М. Н. Волновые зубчатые передачи. – М. : Высш. шк., 1981. – 192 с.
2. Калабин С. Ф. Исследование плунжерных планетарных передач : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 1966. – Т. 1. – 147 с.
3. Попков Е. Ф., Каракулов М. Н., Ефимова М. М. Проектирование волновых плунжерных передач : монография. – Екатеринбург ; Ижевск : Изд-во Ин-та экономики УрО РАН, 2007. – 140 с.
4. Гинзбург Е. Г. Волновые зубчатые передачи. – Л. : Машиностроение, 1969. – 245 с.
5. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Теория упругости. – Т. VII. – М. : Наука, 1987. – 300 с.
6. Иванов М. Н. Указ. соч.

УДК 539.30

А. П. Рыбаков, доктор физико-математических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Н. Н. Кузьмин, кандидат технических наук, Пермский военный институт внутренних войск МВД РФ

А. В. Черноземцев, кандидат технических наук, доцент, Пермский военный институт внутренних войск МВД РФ

МЕТОДОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ТВЕРДОГО ТЕЛА К ОПИСАНИЮ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УДАРНИКА И ПАНЕЛИ БРОНЕЖИЛЕТА

Панели бронежилетов предназначены для защиты от воздействия либо для уменьшения результатов воздействия ударников самой различной формы, из различных материалов и с различными скоростями. В качестве ударников могут быть самые разнообразные предметы: осколки боеприпасов, корпусов каких-либо устройств; пули стрелкового оружия; обычные гвозди, болты, куски проволоки, часто используемые террористами. Соотношение геометрических размеров каждого отдельного ударника, например, отношение длины к толщине, может колебаться от единицы до нескольких десятков.

Важнейшим параметром волновых процессов, возникающих при ударах, является волновой импеданс соударяющихся материалов. Частным случаем этого параметра в рассматриваемой ситуации является акустический импеданс, т. е. произведение плотности материала на скорость звука в нем. На практике соотношение значений акустических импедансов материала ударников и материала панели бронежилета колеблется в диапазоне от единиц до десятков. Другим важным параметром является скорость ударника, которая может колебаться от десятков метров в секунду до километра в секунду.