

Распределение нагрузки в адаптивных фрикционных муфтах второго поколения (Часть 1)

М.П.Шишкарев, К.О.Кобзев

Согласно условиям задачи основная фрикционная группа (далее ОФГ) муфты выполнена по конструктивно-компоновочной схеме типа «ведущая пара трения–ведомые пары трения». Принципиальная схема исследуемого объекта – базового варианта адаптивной фрикционной муфты (далее АФМ) второго поколения с дифференцированными парами трения ОФГ – показана на рис. 1.

Полумуфты 1 и 2 кинематически связаны одна с другой двумя фрикционными группами – основной (ОФГ), состоящей из дисков трения 3 и 4, и дополнительной фрикционной группы

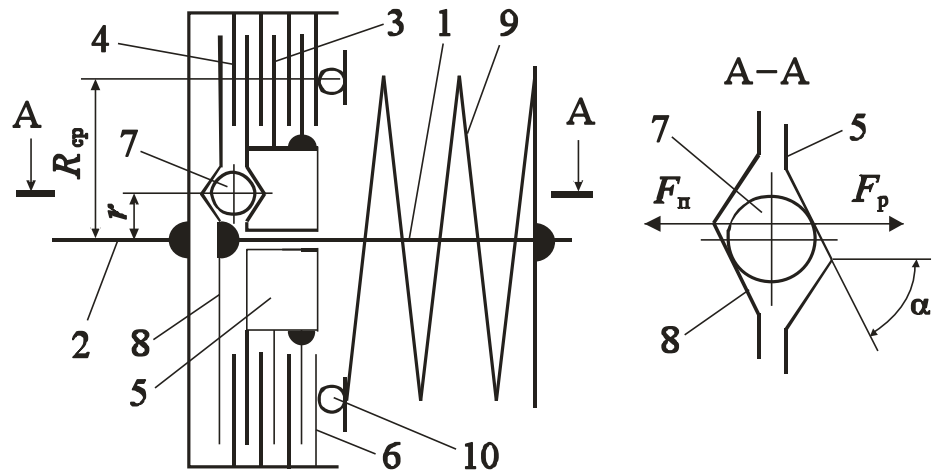


Рис. 1. Принципиальная схема АФМ второго поколения (базовый вариант)

(далее ДФГ), состоящей из нажимного диска 5 и диска трения 6. Диски 3 связаны со ступицей нажимного диска 5, а диски 4 и 6 – с барабаном полумуфты 2 [1].

Нажимной диск не имеет кинематической связи в окружном направлении со ступицей полумуфты 1, не считая малозначимого рения между ними, возникающего из-за действия на поверхности трения в сочленении силы тяжести нажимного диска.

Пары трения ОФГ и ДФГ разделены фланцем нажимного диска 5, выполняющим также функцию одного из тел, несущих поверхность трения.

Управляющее устройство (далее УУ) АФМ представляет собой тела

качения 7, которые размещены в скошенных гнездах, выполненных на обращенных одна к другой торцевых поверхностях нажимного диска 5 и упорного диска 8, жестко закрепленного на ступице полумуфты 1 (см. рис. 1, сечение А-А) [2,3].

Силовое замыкание пар трения ОФГ и ДФГ осуществляется при помощи пружины 9, поставленной в муфту с предварительным натяжением. Усилие, развиваемое пружиной, передается на пары трения через упорный подшипник 10.

В соответствии с поставленной задачей исследования запишем в общем виде формулу для вычисления номинального вращающего момента АФМ:

$$T_n = T_1 + T_2 + T_3, \quad (1)$$

где T_1 – вращающий момент ведущей пары трения 4–8 ОФГ; T_2 – вращающий момент ведомых пар трения ОФГ; T_3 – вращающий момент пары трения ДФГ.

Формула (1) записана для случая, когда АФМ передает вращающий момент при минимальном значении коэффициента трения f_{\min} [4].

Запишем зависимости для вычисления членов, находящихся в правой части формулы (1):

$$T_1 = R_{\text{cp}} f_{\min} (F_{\text{п}} - F_{\text{р.н}}), \quad (2)$$

$$T_2 = (z - 1) R_{\text{cp}} f_{\min} (F_{\text{п}} - F_{\text{р.н}}), \quad (3)$$

$$T_3 = F_{\text{п}} R_{\text{cp}} f_{\min}, \quad (4)$$

где R_{cp} – средний радиус поверхностей трения (принят одинаковым для всех фрикционных дисков муфты); f_{\min} – см. выше [5]; $F_{\text{п}}$ – сила натяжения пружины 9; $F_{\text{р.н}}$ – распорная сила УУ, соответствующая передаче номинального вращающего момента; z – общее число пар трения ОФГ.

Количество ведущих пар трения ОФГ принято равным единице для увеличения КУ и повышения точности срабатывания муфты [6]. Количество пар трения ДФГ также равно единице для повышения точности срабатывания

АФМ [7].

Распорная сила УУ возбуждается за счет вращающего момента, который передает нажимной диск 5. Данный вращающий момент равен сумме моментов $T_2 + T_3$, поэтому можно записать

$$F_{\text{п.н}} = \frac{T_2 + T_3}{r} \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

где α – угол скоса гнезда под тело качения 7 (см. рис. 1, сечение А-А); r – радиус окружности, на которой расположены тела качения.

Подставив в соотношение (5) правые части выражений (3) и (4), получим формулу для вычисления величины распорной силы при передаче муфтой номинального вращающего момента:

$$F_{\text{п.н}} = z F_{\text{п}} C \frac{f_{\min}}{1 + (z-1) C f_{\min}}, \quad (6)$$

где C – КУ, вычисляемый по формуле

$$C = \frac{R_{\text{cp}}}{r} \operatorname{tg} \alpha.$$

Получив выражение для вычисления величины распорной силы, найдем величину вращающего момента T_1 , используя для этого соотношения (2) и (6)

$$T_1 = F_{\text{п}} R_{\text{cp}} f_{\min} \frac{1 - C f_{\min}}{1 + (z-1) C f_{\min}}. \quad (7)$$

Соответственно этому, используя выражения (3) и (6), найдем формулу для вычисления вращающего момента T_2

$$T_2 = (z-1) F_{\text{п}} R_{\text{cp}} f_{\min} \frac{1 - C f_{\min}}{1 + (z-1) C f_{\min}}. \quad (8)$$

Величина вращающего момента T_3 вычисляется по соотношению (4).

Далее положим, что при отсутствии внешней (по отношению к муфте) перегрузки происходит увеличение коэффициента трения. В этом случае вращающий момент ведущей пары трения ОФГ становится равным

$$T_1' = R_{\text{cp}} (f_{\min} + \Delta f) (F_{\text{п}} - F_{\text{п}}'), \quad (9)$$

где Δf – прирост величины коэффициента трения; F_p' – новое значение распорной силы.

Для вычисления нового значения распорной силы необходимо найти вращающий момент, с помощью которого она возбуждается. Поскольку внешняя нагрузка (внешний момент сил сопротивления) остается неизменной, упомянутый вращающий момент равен

$$(T_2 + T_3)' = T_n - T_1',$$

или, с учетом соотношения (9) и соотношения

$$T_n = F_n R_{cp} f_{min} \frac{z + 1 - C f_{min}}{1 + (z - 1) C f_{min}},$$

отражающего зависимость для вычисления номинального вращающего момента базового варианта АФМ второго поколения [8],

$$(T_2 + T_3)' = F_n R_{cp} f_{min} \frac{z + 1 - C f_{min}}{1 + (z - 1) C f_{min}} - R_{cp} (F_n - F_p') (f_{min} + \Delta f). \quad (10)$$

Используя правую часть соотношения (10) в выражении (5) и заменив в последнем сумму $T_2 + T_3$ на $(T_2 + T_3)'$, а параметр $F_{p,n}$ – на F_p' , получим уравнение первой степени относительно неизвестного F_p' . Корень этого уравнения представлен соотношением

$$F_p' = \frac{f_{min} \frac{z + 1 - C f_{min}}{1 + (z - 1) C f_{min}} - (f_{min} + \Delta f)}{1 - C (f_{min} + \Delta f)} F_n C. \quad (11)$$

Исследуем поведение функции (11) при изменении аргумента Δf . При остальных фиксированных величинах параметров первая производная функции (11) равна, без учета постоянных F_n и C , а также знаменателя (безусловно, положительного в составе производной):

$$D(F_p')'_{\Delta f} = -C^2 f_{min}^2 + 2C f_{min} - 1. \quad (12)$$

Установим, при каких значениях КУ C производная (12) становится положительной, т. е. функция (11) возрастает. Решение соответствующего неравенства, с учетом правой части производной (12), дает единственный

корень

$$C = \frac{1}{f_{\min}}. \quad (13)$$

В работе [9] предельное значение КУ C для АФМ второго поколения (базовый вариант) установлено в форме

$$C_1 \leq \frac{1}{f_{\max}}, \quad (14)$$

где f_{\max} – максимальное значение коэффициента трения.

Сопоставление правых частей соотношений (13) и (14) показывает, что $C_1 < C$, т. е. значение КУ C , вычисляемое по соотношению (13), неприемлемо. Следовательно, при данном условии производная (12) отрицательная. Это означает, что функция (11) убывает по аргументу Δf .

Исследуем, при каких значениях Δf числитель и знаменатель в соотношении (11) в отдельности обращаются в нуль:

– для числителя:

$$\Delta f = z f_{\min} \frac{1 - C f_{\min}}{1 + (z - 1) C f_{\min}}; \quad (15)$$

– для знаменателя:

$$\Delta f' = \frac{1 - C f_{\min}}{C}. \quad (16)$$

Опуская в соотношениях (15) и (16) одинаковые разности в числителях и сопоставляя значения Δf и $\Delta f'$ в форме $\Delta f < \Delta f'$, приходим к неравенству вида

$$1 - C f_{\min} > 0. \quad (17)$$

С учетом соотношения (14), принимаемого в форме равенства, неравенство (17), безусловно, выполняется. Это означает, что при значении Δf , вычисляемом по соотношению (15), распорная сила F_p' обращается в нуль. В свою очередь, это говорит о том, что при достижении прироста коэффициента трения, величина которого вычисляется по соотношению (15),

номинальный вращающий момент АФМ передает ведущая пара трения ОФГ. Ведомые пары трения ОФГ и пара трения ДФГ нагрузку не передают, о чем свидетельствует обращение в нуль распорной силы [10,11].

Произведем оценку величины Δf . В качестве верхнего граничного значения коэффициента трения, при котором обращается в нуль распорная сила, примем f_{\max} . Тогда

$$f_{\max} = f_{\min} + \Delta f. \quad (18)$$

Подставим представление Δf из равенства (18) в соотношение (15) и заменим в последнем параметр C , с учетом формулы (14) (в форме равенства). Произведя некоторые математические преобразования, получим:

$$f_{\max} = f_{\min} + \Delta f = 0.$$

Полученный результат показывает, что равенство (18), принятое в качестве рабочей гипотезы, не выполняется. Это означает, что обращение в нуль распорной силы происходит при величине коэффициента трения, меньшей, чем f_{\max} .

Для определения величины Δf произведем в формуле (15) математические преобразования, аналогичные изложенным выше. В результате преобразований получим:

$$\Delta f = z f_{\min} \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_{\max} + (z-1)f_{\min}}. \quad (19)$$

На рис. 2 показан график функции $\Delta f(z)$, построенный по зависимости (19) при $f_{\min}=0,1$, $f_{\max}=0,8$ (кривая 1). Прямая 2 показывает значение $f_{\max} - f_{\min}$.

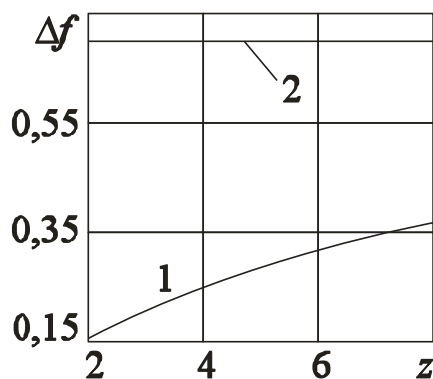


Рис. 2. График зависимости $\Delta f(z)$

Анализ графиков показывает:

– величина Δf возрастает с увеличением числа пар трения ОФГ (кривая 1). При одной ведущей паре трения ОФГ это объясняется увеличением влияния числа ведомых пар трения

ОФГ на общую нагрузку муфты;

– для принятых на графике значений параметра z величина Δf не превышает увеличение коэффициента трения в допустимых пределах $f_{\max} - f_{\min}$ (прямая 2).

Выводы: Установлено, что при передаче номинальной нагрузки и при увеличении коэффициента трения в АФМ второго поколения (базовый вариант) происходит перераспределение первоначальной нагрузки между ведущей парой трения ОФГ, ведомыми парами трения ОФГ и парой трения ДФГ. С увеличением коэффициента трения происходит рост вращающего момента, передаваемого ведущей парой трения ОФГ, уменьшение величин вращающих моментов, передаваемых ведомыми парами трения ОФГ и парой трения ДФГ. Перераспределение нагрузки в АФМ приводит к уменьшению распорной силы и к ускорению роста вращающего момента, передаваемого ведущей парой трения ОФГ. Установлены закономерности изменения величин вращающих моментов ведущей пары, ведомых пар трения ОФГ и пары трения ДФГ, а также величины распорной силы в зависимости от изменения внешней нагрузки. Найдено значение коэффициента трения, при котором распорная сила обращается в нуль, и полная номинальная нагрузка муфты передается только ведущей парой трения ОФГ. Значение коэффициента трения, при котором полная номинальная нагрузка АФМ передается только ведущей парой трения ОФГ, зависит от общего числа пар трения ОФГ и от величины коэффициента усиления.

Литература

1. Шишкарев М.П. Адаптивные фрикционные муфты. Исследование, конструкции и расчет [Текст]: Науч. издание. – Ростов н/Д: Изд-во РГАСХМ, 2002. – 228 с.
2. Saripalli S. Landing a Helicopter on a Moving Target [Текст] // Robotics and Automation. IEEE International Conference, 2007, pp. 2030 - 2035.
3. Gavrilets V., Martinos I., Mettler B., Feron E. Control logic for

automated aerobatic flight of miniature helicopter [Текст] // Navigation and Control Conference. AIAA Guidance, 2002, pp. 385-394.

4. Шигаев М.В., Евдокимов С.В., Истомина Т.В., Сафронов А.И., Левин Ю.Ю., Ерофеев В.А. Обоснование использования метода импульсной лазерной сварки на производстве систем доставки коронарных стентов [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2011, №4. Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/518> (доступ свободный) - Загл. с экрана. – Яз.рус.

5. Бузало Н.А., Гайджуrow П.П., Кожихов А.Г. Исследования сжатых перфорированных стоек и совершенствование их конструктивной формы [Электронный ресурс]// «Инженерный вестник Дона», 2009, №2. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2009/129> (доступ свободный) - Загл. с экрана. – Яз.рус.

6. Шишкарев М.П. Точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт [Текст] / Вестн. машиностроения. – 2005. – № 12. – С. 17–18.

7. Шишкарев М.П. Об ограничениях при выборе параметров некоторых типов адаптивных фрикционных муфт [Текст]// Вестн. машиностроения. – 2001. – № 7. – С. 8–11.

8. Шишкарев М.П. Теоретические основы применения комбинированной обратной связи в адаптивных фрикционных муфтах [Текст]// Вестн. машиностроения. – 2005. – № 7. – С. 16–19.

9. Шишкарев М.П. Математические модели адаптивного фрикционного контакта твердых тел второго поколения [Текст]// Математические методы в технике и технологиях: Сб. тр. XVIII Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 5. Секция 5 «Компьютерная поддержка производственных процессов» / Под общ. ред. В.С. Балакирева – Казань: изд-во Казанского гос. технол. ун-та, 2005. – С. 72–76.

10. Шишкарев М.П. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик адаптивных фрикционных муфт [Текст]// Вестн.

машиностроения. – 2006. – № 4. – С. 29–30.

11. Шишкарев М.П. Математическая модель устойчивости движения привода с адаптивной фрикционной муфтой [Текст]// Математические методы в технике и технологиях: Сб. тр. XV Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 8. Секция 8 «Компьютерная поддержка технологических процессов и производственных систем» / Под общ. ред. В.С. Балакирева. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. – С. 70–75.