

Распределение нагрузки в адаптивных фрикционных муфтах второго поколения (Часть 2)

М.П.Шишкарев, К.О.Кобзев

В статье «Распределение нагрузки в адаптивных фрикционных муфтах второго поколения (Часть1)» (далее начальная статья) показано, что при увеличении коэффициента трения в адаптивных фрикционных муфтах (далее АФМ) до определенного значения полный номинальный вращающий момент передается только ведущей парой трения ОФГ. При этом обратная связь в муфте не действует вследствие того, что вращающий момент, с помощью которого возбуждается распорная сила, равен нулю [1].

Исследуем распределение нагрузки между парами трения основной фрикционной группы (далее ОФГ) и дополнительной фрикционной группы (далее ДФГ) в том случае, когда увеличение коэффициента трения и внешней (по отношению к муфте) нагрузки происходит в указанной последовательности [2,3].

Положим, что увеличение коэффициента трения составляет Δf , т. е. на величину, вычисляемую по соотношению (19) (см. начальная статья), а увеличение внешней нагрузки – ΔT . Очевидно, что в данном случае ведущая пара трения ОФГ не способна передать (без буксования) внешнюю нагрузку, равную сумме $T_{\text{н}} + \Delta T$. Часть нагрузки будут передавать ведомые пары трения ОФГ и пара трения ДФГ (в соответствии с конструктивно-компоновочной схемой фрикционного узла муфты отдельная передача нагрузки перечисленными парами трения невозможна).

В соответствии с этим можно записать:

$$T_1'' = R_{\text{ср}}(f_{\text{min}} + \Delta f)(F_{\text{н}} - F_{\text{р}}''), \quad (1)$$

где T_1'' – величина вращающего момента ведущей пары трения ОФГ в условиях приложения дополнительной внешней нагрузки; $F_{\text{р}}''$ – величина распорной силы в указанных условиях.

Остальные обозначения в соотношении (1) приведены выше.

Распорная сила возбуждается посредством вращающего момента, который передают ведомые пары трения ОФГ и пара трения ДФГ. Этот вращающий момент представляет собой разность между внешним вращающим моментом и моментом, который передает ведущая пара трения ОФГ.

На основании этого можно записать:

$$F_p'' = \frac{T_H + \Delta T - T_1''}{r} \operatorname{tg} \alpha,$$

или, с учетом соотношения (1)

$$F_p'' = \frac{\frac{T_H + \Delta T}{r} \operatorname{tg} \alpha - F_n C (f_{\min} + \Delta f)}{1 - (f_{\min} + \Delta f) C}. \quad (2)$$

Исследуем поведение функции (2), используя метод производной. Первая производная функции по аргументу Δf равна (без учета, безусловно, положительного знаменателя)

$$D(F_p'')_{\Delta f} = C \left[\frac{T_H + \Delta T}{r} \operatorname{tg} \alpha - F_n \right]. \quad (3)$$

Используя ранее найденную зависимость для вычисления T_H в производной (3), преобразуем последнюю к следующему виду

$$D(F_p'')_{\Delta f} = C \left[F_n C f_{\min} \frac{z + 1 - C f_{\min}}{1 + (z - 1) C f_{\min}} + \frac{\Delta T}{r} \operatorname{tg} \alpha - F_n \right]. \quad (4)$$

В соотношении (4) разность между первым и третьим членами в квадратных скобках равна

$$\Delta = F_n \frac{2C f_{\min} - C^2 f_{\min}^2 - 1}{1 + (z - 1) C f_{\min}},$$

и, очевидно, отрицательная. Поэтому знак многочлена в квадратных скобках производной (4) зависит от величины второго члена [4,5].

Для установления знака многочлена в квадратных скобках примем

$$\Delta T = p T_H, \quad (5)$$

где p – коэффициент.

С учетом соотношения (4) запишем формулу (5) в виде

$$D(F_p'')_{\Delta f} = F_{\Pi} C \frac{z C f_{\min} (p+1) + C f_{\min} (p+1) - C f_{\min}^2 (p+1) - 1 - z C f_{\min} - C f_{\min}}{1 + (z-1) C f_{\min}}. \quad (6)$$

Произведя некоторые математические преобразования в соотношении (6), найдем условие возрастания величины распорной силы F_p'' в функции Δf в форме $D(F_p'')_{\Delta f} > 0$:

$$p > \frac{1 + C^2 f_{\min}^2}{(z+1 - C f_{\min}) C f_{\min}}. \quad (7)$$

Полученное соотношение (7) показывает, что при величинах коэффициента p , превышающих правую часть, распорная сила F_p'' возрастает при увеличении коэффициента трения. Это означает, что увеличение распорной силы F_p'' начинается при определенном приросте внешней нагрузки. Этот прирост уменьшается при увеличении числа пар трения ОФГ [6,7].

Объяснением данного обстоятельства является то, что прирост внешней нагрузки рассматривается при повышенном значении коэффициента трения.

Зная величину распорной силы, можно найти значения вращающих моментов, распределенных по обособленным фрикционным группам муфты:

$$T_1'' = F_{\Pi} R_{cp} (f_{\min} + \Delta f) \frac{1 - C f_{\min} (1 + zp) - (p+1)(1 - C f_{\min}) C f_{\min}}{[1 + (z-1) C f_{\min}][1 - (f_{\min} + \Delta f) C]}. \quad (8)$$

$$T_2'' + T_3'' = T_{\Pi} (p+1) - T_1''. \quad (9)$$

Соотношение (8) получено с учетом выражений (1) и (2).

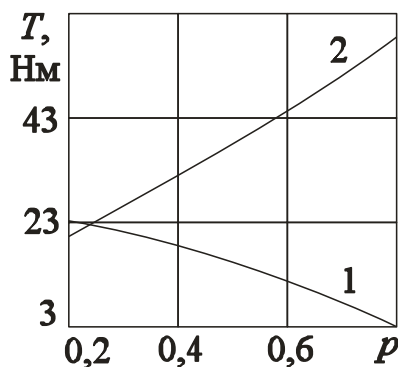


Рис. 1. Графики зависимости $T(p)$

Графики зависимостей (8) и (9) показаны на рис. 1 (соответственно кривые 1, 2). Кривые построены по следующим исходным данным: $F_{\Pi} = 800$ Н, $R_{cp} = 0,1$ м, $f_{\min} = 0,1$, $C = 1,25$, $\Delta f = 0,3$, $z = 6$.

Анализ графиков показывает:

– с увеличением коэффициента p вращаю-

щий момент T_1'' ведущей пары трения ОФГ уменьшается (кривая 1);

– при указанном условии суммарный вращающий момент $T_2'' + T_3''$ увеличивается (кривая 2).

Первое объясняется возникновением и последующим увеличением распорной силы при фиксированной величине коэффициента трения и возрастании внешней нагрузки (увеличение коэффициента p). Второе является следствием уменьшения вращающего момента T_1'' и увеличения внешней нагрузки [8,9].

Обращает внимание резкое падение величины вращающего момента при значениях коэффициента p , превышающих 0,5. Для объяснения этого обратимся к рассмотрению вопроса срабатывания муфты, которое происходит при достижении определенной величины внешней нагрузки. Эта величина нагрузки зависит от точности срабатывания муфты, которая характеризуется коэффициентом точности, вычисляемым по следующей формуле [1]:

$$k_T = \frac{f_{\max} (z + 1 - Cf_{\max}) [1 + (z - 1)Cf_{\min}]}{f_{\min} (z + 1 - Cf_{\min}) [1 + (z - 1)Cf_{\max}]} \quad (10)$$

В формуле (10) величина f_{\max} – максимальное значение коэффициента трения: в рассматриваемом случае $f_{\max} = f_{\min} + \Delta f$.

Формула (10) отражает условие срабатывания АФМ, когда распорная сила своего максимума, а нагрузка между интересующими нас парами трения ОФГ и ДФГ распределяется в соответствии с режимом срабатывания муфты [2].

Поскольку коэффициент $p + 1$ фактически отображает кратность увеличения номинальной нагрузки АФМ, как и коэффициент k_T , сопоставим эти значения. Для этого вычислим значение коэффициента k_T при указанном выше значении коэффициента трения f_{\max} , используя данные при построении графиков на рис. 1.

Значение k_T , вычисленное по формуле (10), с использованием исход-

ных данных, принятых при построении графиков на рис. 1, равно 1,7, т. е. практически совпадает со значением коэффициента $p+1$, при котором начинается уменьшение вращающего момента T_1'' [10,11].

Что касается дифференциации величин вращающих моментов T_2'' и T_3'' , то изучение данного вопроса требует отдельного исследования.

Выводы: Установлено, что величина коэффициента трения, при которой полная номинальная нагрузка АФМ передается только ведущей парой трения ОФГ, меньше максимального значения, которое может принимать коэффициент трения в реальных условиях эксплуатации муфты. Возникновение и увеличение распорной силы при возрастании внешней нагрузки и при повышенном значении коэффициента трения начинается при определенной минимальной величине внешней нагрузки, которая зависит от общего числа пар трения ОФГ и от коэффициента усиления. Найдены зависимости распределения величин вращающих моментов между ведущей парой трения ОФГ, а также ведомыми парами трения ОФГ и парой трения ДФГ (совместно). При увеличении внешней нагрузки и фиксированном значении коэффициента трения вращающий момент, передаваемый ведущей парой трения ОФГ, уменьшается, а суммарный вращающий момент ведомых пар трения ОФГ и пары трения ДФГ увеличивается. Увеличение внешней нагрузки на ведомом валу муфты происходит до тех пор, пока она не становится равной предельному вращающему моменту АФМ, определяемому точностью ее срабатывания.

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. Gavrillets V., Martinos I., Mettler B., Feron E. Control logic for auto-

mated 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., Гайджуров 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.