

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПАСА ПРИ НАСТРОЙКЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТ

Лесняк С.В., Лесняк О.В., Кибаров М.И.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. Показано, что для надежной передачи номинальной нагрузки машины предохранительной фрикционной муфтой (ПФМ) в результате регулировки фрикционных муфт любого типа с учетом среднего значения коэффициента трения должно учитываться случайное уменьшение значения коэффициента трения. Установлено, что при настройке предохранительных муфт трения следует учитывать общий коэффициент запаса, включающий коэффициент запаса и показатель изменения среднего коэффициента трения.

Ключевые слова: предохранительная фрикционная муфта, коэффициент запаса, адаптивная фрикционная муфта, настройка, номинальная нагрузка, коэффициент рассеивания, коэффициент точности.

DETERMINING THE MARGIN WHEN SETTING UP SAFETY FRICTION CLUTCHES

Lesniak S.V., Lesniak O.V., Kibarov M.I.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. It is shown that for reliable transmission of the rated load of the machine by a slip clutch in the result of the adjustment of the slip clutch of any type using the average values of the coefficient of friction should be considered accidental decrease in the coefficient of friction. It is established that when setting up safety friction clutches, the total margin factor should be taken into account, including the margin factor and the indicator of the change in the average coefficient of friction.

Keywords: safety friction clutch, safety factor, adaptive friction clutch, adjustment, rated load, dispersion coefficient, accuracy coefficient.

Состояние вопроса. В работах [1, 2, 3, 4] приведены результаты исследований процесса настройки адаптивных фрикционных муфт (АФМ).

Установлено, что коэффициент запаса ПФМ недостаточен для надежной передачи номинального вращающего момента машины в случаях уменьшения коэффициента трения до минимального значения.

Показано, что теория предохранительных муфт содержит ошибочное предположение о не изменяющемся во времени номинальном вращающем моменте машины. Это обуславливает повышение вероятности срабатываний предохранительных муфт при снижении коэффициента трения.

Постановка задачи исследования. Установление оптимального значения коэффициента запаса предохранительных фрикционных муфт.

Решение задачи. При регулировке предохранительной фрикционной муфты по среднему коэффициенту трения f_{cp} , согласно известной формуле, она, при пониженном коэффициенте трения, будет по-прежнему работать с низкой надежностью, если номинальная нагрузка машины равна $T_{маш.мах}$. Представляется вероятным буксование муфты и при нагрузках, меньших, чем момент $T_{маш.мах}$, если коэффициент трения становится меньше.

В данном случае необходимо откорректировать значение коэффициента запаса β_n . Учитывая, что изменение значения коэффициента трения между фрикционными парами муфты, значения среднего радиуса контактных участков трения (например, уменьшение) и усилия пружины (вследствие релаксации напряжений в материале пружины) в определенный период времени может совпадать, необходимо учитывать показатель уменьшения среднего коэффициента трения:

$$K_{ум} = \frac{f_{cp}}{f_{min}}, \quad (1)$$

где f_{min} – минимальное значение коэффициента трения.

Учитывая одновременное появление упомянутых случайных событий, общий коэффициент

запаса равен:

$$\beta_{н.о} = \beta_n K_{ум} \quad (2)$$

На основе соотношения (2) значение крутящего настроечного момента муфты по среднему коэффициенту трения равно:

$$T'_{муф} = \beta_{н.о} T_{маш.мах} \quad (3)$$

С учетом соотношений, найденных в работах [5, 6], равенство (3) принимает следующий вид:

$$T'_{муф} = \beta_{н.о} K_{р.п} T_{маш}, \quad (4)$$

где $K_{р.п}$ – коэффициент положительного рассеивания номинальной нагрузки муфты.

Соотношение (4) устанавливает функциональную связь между собой номинальными нагрузками машины и муфты.

Муфта, согласно установленному крутящему моменту (4), будет выдерживать номинальную нагрузку машины, каждое из значений которой принадлежит полю рассеивания с шириной, определяемой [7].

С учетом коэффициентов $K_{р.п}$ и $K_{ум}$ линия номинального крутящего момента муфты сместится вверх (правая часть рисунка). При прежней точности срабатывания это означает соответствующее увеличение максимального крутящего момента муфты $T'_{муф.мах}$ (правая часть рисунка, вращающий момент показан штриховой линией).

В этом случае не выполняется равенство $T_d = T_{муф.мах}$, при этом $T'_{муф.мах} > T_d$ (где T_d – вращающий момент, допускаемой наиболее слабым звеном привода машины). Это свидетельствует о ненадежной защите слабого звена в случае увеличения коэффициента трения.

При настройке ПФМ с учетом коэффициента β_n необходимое значение коэффициента точности должно быть равно:

$$K_T = \frac{T_{муф.мах}}{T_{муф.мин}} = \frac{\gamma_{п.н} K_{ум}}{\beta_n} \quad (5)$$

Для ПФМ обычной точности срабатывания [8, 9] значение коэффициента точности определяется отношением максимального коэффициента трения к его минимальному значению. Большие значения максимального коэффициента трения $f_{мах}$ [10, 11] приводят к назначению соответствующих значений коэффициента $\gamma_{п.н}$ при большом коэффициенте точности K_T (см. соотношение (5)). В связи с этим, применение предохранительных муфт обычной точности срабатывания требует увеличения геометрических размеров деталей привода.

Если в качестве исходного значения при настройке ПФМ принимается рабочая нагрузка машины, равная $T_{маш.мах}$, тогда линия вращающего момента $T'_{муф.мах}$ смещается вверх (по рисунку). И тогда для сохранения крутящего момента муфты $T_{муф.мах}$, она должна обладать высокой точностью срабатывания.

Определим значение коэффициента точности $K_{т1}$. Тогда по соотношению (12), должно выполняться следующее соотношение:

$$K_{т1} = \frac{T'_{муф.мах}}{T_{муф.мин}} = \frac{T_d K_{ум}}{T'_{муф}} \quad (6)$$

По (3) вычисляется номинальный крутящий момент муфты.

При настройке муфты в соответствии с формулой (3) минимальный вращающий момент равен:

$$T_{муф.мин} = \frac{\beta_{н.о} T_{маш.мах}}{K_{ум}} = \beta_n T_{маш.мах} \quad (7)$$

По формуле (7) видно, что с учетом коэффициента запаса $\beta_{н.о}$ минимальный вращающий момент ПФМ может быть равен $T_{маш.мах}$. Это происходит, когда значение среднего радиуса поверхностей трения или сила натяжения замыкающей пружины, случайным образом уменьшится в β_n раз.

Подставляя (3) в (6):

$$K_{т1} = \frac{T_d}{\beta_n T_{маш.мах}}, \quad (8)$$

где $K_{т1}$ – коэффициент точности предохранительной муфты повышенной точности срабатывания.

Согласно соотношению, найденному в работе [12], запишем:

$$T_{\text{маш.мах}} = K_{\text{р.п}} T_{\text{маш}},$$

где $T_{\text{маш}}$ – номинальный вращающий момент машины.

Учитывая соотношение, полученное в работе и подставляя в (8) правую часть последнего равенства и, находим:

$$K_{\text{т1}} = \frac{\gamma_{\text{п.н}}}{\beta_{\text{н}} K_{\text{р.п}}}, \quad (9)$$

где $\gamma_{\text{п.н}}$ – коэффициент превышения номинальной нагрузки в машине [2].

Сопоставление правых частей выражений (5) и (9) показывает, что $K_{\text{т1}} < K_{\text{т}}$ (где $K_{\text{т}}$ – коэффициент точности предохранительной муфты с пониженной точностью срабатывания).

Математически подтверждено, что при настройке ПФМ с учетом рассеивания крутящего номинального момента машины требуется более высокая точность ее срабатывания, а значение коэффициента точности должно определяться по соотношению (9).

Применения материалов фрикционных пар, обладающих большей стабильностью значения коэффициента трения [14, 15] может регулироваться точность срабатывания предохранительных фрикционных муфт, не имеющих устройства стабилизации крутящего предельного момента. Учитывая выражения (5) и (9), видна разница между коэффициентами точности $K_{\text{т}}$ и $K_{\text{т1}}$.

Регулирование точности срабатывания ПФМ способом малоэффективна, поскольку не приводит к повышению точности срабатывания. Стабильность значения коэффициента трения пары «сталь – металлокерамика» выше на 20...30 %, чем у других пар [16, 17]. Данным способом обеспечить существенное уменьшение значения коэффициента точности ПФМ практически не представляется возможным.

На практике решение данной проблемы возможно с помощью АФМ, которые, в отличие от ПФМ обычной точности срабатывания, обладают способностью варьирования точности срабатывания (на стадии расчета и проектирования) за счет изменения в определенных границах значения коэффициента усиления (КУ) обратной связи для одного и того же конструктивного варианта АФМ. При этом значение коэффициента точности предохранительной муфты может изменяться в 1,8...2,5 раза, что позволяет применять муфты АФМ.

Вычисление коэффициента $K_{\text{ум}}$. Формула (1) для определения значения коэффициента $K_{\text{ум}}$ для ПФМ обычной точности срабатывания, т. е. муфты без обратной связи. АФМ характеризуются приведенным коэффициентом трения, поэтому формулы для определения величины коэффициента $K_{\text{ум}}$ для АФМ различных типов непригодны.

Учитывая (2), $K_{\text{ум}}$ влияет на коэффициент запаса $\beta_{\text{н.о}}$, в свою очередь он оказывает влияние на настроечный крутящий момент. При постоянной величине коэффициента точности муфты крутящий настроечный момент влияет на величину момента $T_{\text{муф.мах}}$ и на $T_{\text{д}}$.

Уменьшение $K_{\text{ум}}$ приводит к уменьшению крутящего настроечного момента муфты и момента $T_{\text{муф.мах}}$. При этом уменьшен момент $T_{\text{д}}$ до значения, равного $T_{\text{муф.мах}}$. Для наиболее слабого звена и других звеньев привода происходит увеличение коэффициента запаса прочности. Увеличение коэффициента запаса прочности нерационально и для приведения ее величины в соответствие с нормативными значениями необходимо уменьшить размеры деталей. Это приведет к уменьшению массы привода машины и габаритов отдельных элементов.

АФМ первого поколения (типа муфты Н.Д. Вернера). Наличие одноконтурной отрицательной обратной связи характерно для АФМ данного типа. Формулы приведенного коэффициента трения для вариантов компоновки фрикционной группы данной муфты соответственно имеют следующий вид:

$$f_{\text{н}} = \frac{f}{1 + (z - 1)Cf}, \quad (10)$$

$$f'_{\text{н}} = \frac{f}{1 + zCf}, \quad (11)$$

где z – число пар трения фрикционной группы муфты; f – текущий коэффициент трения; C – КУ обратной связи.

Для АФМ (10) записана с дифференцированными параметрами трения фрикционной группы, для АФМ (11) со всеми ведущими параметрами трения [23].

Для приведенного среднего и минимального коэффициентов трения с учётом (10) и (11):

$$f_{\text{н.сп}} = \frac{f_{\text{сп}}}{1 + (z - 1)Cf_{\text{сп}}}, \quad (12)$$

$$f_{n.min} = \frac{f_{min}}{1 + (z - 1)Cf_{min}}, \quad (13)$$

$$f'_{n.cp} = \frac{f_{cp}}{1 + zCf_{cp}}, \quad (14)$$

$$f'_{n.min} = \frac{f_{min}}{1 + zCf_{min}}. \quad (15)$$

На основании соотношений (12) – (15) учитывая (1) найдем выражения для определения значений коэффициента K_{ym} в вариантах АФМ первого поколения:

$$K_{ym.n} = \frac{f_{n.cp}}{f_{n.min}} = K_{ym} \frac{1 + (z - 1)Cf_{min}}{1 + (z - 1)Cf_{cp}}, \quad (16)$$

$$K'_{ym.n} = \frac{f'_{n.cp}}{f'_{n.min}} = K_{ym} \frac{1 + zCf_{min}}{1 + zCf_{cp}}. \quad (17)$$

Так как $f_{cp} > f_{min}$, из (16) и (17) следует, что $K_{ym} > K_{ym.n}$ и $K_{ym} > K'_{ym.n}$. Для сопоставления значений коэффициентов $K_{ym.n}$ и $K'_{ym.n}$ составим предполагаемое неравенство $K_{ym.n} > K'_{ym.n}$, решение которого, с учетом (16) и (17), примет следующий вид:

$$(f_{cp} - f_{min})C > 0.$$

Неравенство справедливо, исходя из этого гипотеза верна.

Согласно формуле (2), уменьшение значения коэффициента K_{ym} (в данном случае $K_{ym.n}$ или $K'_{ym.n}$) приводит к соответствующему уменьшению значения коэффициента $\beta_{н.о}$. Следовательно, значение крутящего настроечного момента АФМ первого поколения будет меньше, чем у ПФМ обычной точности срабатывания, при постоянном крутящем номинальном моменте машины. Прочность узлов и деталей привода машины увеличивается при уменьшении значения крутящего максимального момента АФМ.

При расчете и проектировании и настройке ПФМ обычной точности срабатывания, АФМ первого и второго (базовый вариант) поколений, могут использоваться результаты исследования. Для повышения эффективности защиты от перегрузок узлов и деталей приводов машин возможно использовать разработанные рекомендации.

Выводы:

1. При настройке предохранительной муфты должно учитываться максимальное значение номинальной нагрузки машины.
2. Должны учитывать случайное уменьшение значения коэффициента трения, для обеспечения надежной передачи номинальной нагрузки машины предохранительной муфтой при случайных изменениях значения коэффициента трения при настройке предохранительных фрикционных муфт любого типа по среднему коэффициенту трения.
3. Введен коэффициент уменьшения среднего коэффициента трения для оценки вероятности возникновения немотивированных срабатываний предохранительных фрикционных муфт любого типа при случайном уменьшении значения коэффициента трения, равный отношению среднего (приведенного среднего – для АФМ) коэффициента трения к минимальному (приведенному минимальному) коэффициенту трения.
4. При настройке ПФМ любого типа должен учитываться общий коэффициент запаса, равный произведению коэффициента запаса, используемого в существующей практике расчета и проектирования, и коэффициента уменьшения среднего коэффициента трения.
5. Необходимо использовать коэффициент положительного рассеивания номинальной нагрузки машины, с учетом рассеивания номинального вращающего момента машины при настройке предохранительных муфт любого типа.

Список литературных источников

1. Компоновка базового варианта адаптивной фрикционной муфты второго поколения // М.П. Шишкарёв // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 7. – С. 16–20.
2. Шишкарёв, М.П. Адаптивные фрикционные муфты второго поколения. Исследование, конструкции и расчет. Монография // М.П. Шишкарёв, А.А. Лущик, А.Ю. Угленко. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013. – 236 с.
3. Повышение нагрузочной способности и точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарёв // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 5. – С. 18–24.

4. Условие высокой точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт // М.П. Шишкарев // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 7. – С. 46–48.
5. Синтез и анализ адаптивной фрикционной муфты со смешанной структурой обратной связи // М.П. Шишкарев // Вестн. машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 3–8.
6. Шишкарев, М.П. Исследование базового варианта адаптивной фрикционной муфты второго поколения // М.П. Шишкарев // В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения. Сборник статей 8-й международной научно-практической конференции в рамках 18-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2015». 2015. С. 162–167.
7. Вопросы теории адаптивного фрикционного контакта твердых тел / М.П. Шишкарев // Изв. вузов. Машиностроение. – 1994. – № 4–6. – С. 43–47.
8. Шишкарев, М.П. Точность срабатывания адаптивной фрикционной муфты второго поколения (модифицированной) // М.П. Шишкарев, А.А. Луцник, А.Ю. Угленко // Материалы 6-й научно-практической конференции «Инновационные технологии в машиностроении и металлургии», Ростов н/Д, 2014. – С. 118–130.
9. Особенности процесса срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарев // Вестн. машиностроения. – 2004. – № 4. – С. 3–7.
10. Теоретические основы стабилизации выходного параметра адаптивного фрикционного контакта твердых тел // М.П. Шишкарев // Изв. вузов. Машиностроение. – 2001. – № 2–3. – С. 17–23.
11. Оптимальный способ настройки предохранительных фрикционных муфт / М.П. Шишкарев // Вестн. машиностроения. – 2006. – № 3. – С. 16–19.
12. Анализ способов настройки предохранительных фрикционных муфт / М.П. Шишкарев // Вестник машиностроения. – 2009. – № 8. – С. 29–32.

Работа выполняется в соответствии с планом госбюджетной НИР.