

- наклонных печах: дис. д-ра техн. наук / С.Б. Новичков. - Иркутск, 2008. - 348 с.
2. Тарасов А.В. и др. Metallургическая переработка вторичного свинцового сырья. – М.: Гинцветмет, 2003. – 224 с.
 3. Ровин С.Л. Рециклинг металлоотходов в ротационных печах. – Минск: БНТУ, 2015. – 382с.
 4. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление, экология. – М.: Теплотехник, 2004. – 544с.
 5. Ровин Л.Е., Ровин С.Л. Классификация и свойства дисперсных металлоотходов//Литье и металлургия, 2015. – №2. – С.5–13.
 6. Лисиенко В.Г., Лобанов В.И., Китаев Б.И. Теплофизика металлургических

процессов. – М.: Металлургия, 1982. – 240с.

7. Зобнин Б.Ф, Казяев М.Д., Китаев Б.И. и др. Теплотехнические расчеты металлургических печей.– М.: Металлургия, 1982. – 360с.
8. Алямовский А.А. Solid Works. Компьютерное моделирование в инженерной практике. – СПб.: БВХ-Петербург, 2005. – 800с.
9. Sonavane Y., Specht E. Numerical Analysis of the heat transfer in the wall of rotary kiln using finite element method «ANSYS»: Germany, Magdeburg, 2009. – 186 p.



УДК 621.855

Н.С. Климов, В.Н. Трубников
 ФГБОУ ВО «Курская государственная
 сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова»
 г. Курск, Россия

E-mail kgsha.pma@mail.ru

С.А. Сергеев
 ОДПО фонд «Повышение
 квалификации и научных исследований»
 г. Курск, Россия

E-mail ssa-cib@yandex.ru

Дата поступления 13.05.2016

НАДЕЖНОСТЬ ЦЕПНЫХ МУФТ

Аннотация

Выявлены основные причины выхода из строя цепных муфт и сформулированы главные критерии их надежности. Указаны факторы, влияющие на работоспособное состояние цепных муфт, виды и характер износа их элементов. Описан один из главных критериев надежности цепных муфт – износостойкость основных элементов (цепи и звездочек). Разработана методика определения критерия нагруженности контакта. Установлена зависимость между увеличением среднего шага цепей, продолжительностью работы и критерием нагруженности муфты. Описаны виды и характер поломок элементов цепных муфт. Представлен метод расчета на прочность цепных муфт.

Ключевые слова: цепная муфта, надежность, работоспособность, износ, прочность.

Введение

Перед машиностроением стоят задачи значительного повышения качества промышленной продукции при непрерывном росте ее объема, а также создания новых конкурентоспособных образцов. Наиболее эффективным направлением в решении

этих задач является улучшение эксплуатационных показателей механизмов и машин. Уже на стадии проектирования новых машин должна быть обеспечена их надежность, исключено отрицательное влияние работы передаточных механизмов (в том

числе муфт) на технологический процесс [1].

Муфты, используемые во многих машинах и механизмах – ответственные узлы, часто определяющие надежность всего машинного агрегата. Стоимость муфты невелика по сравнению со стоимостью основного оборудования, однако выход из строя муфты увеличивает время простоя оборудования, что приводит к значительным материальным потерям. Цепные муфты являются муфтами общего назначения и широко распространены в различных отраслях машиностроения [2].

Основная часть

Факторы, влияющие на работоспособное состояние цепных муфт. На работоспособность муфт влияют следующие группы факторов:

- параметры звездочек: шаг, число и профиль зубьев; материал и твердость рабочих поверхностей; точность изготовления; способ соединения с валами;
- параметры цепи: тип, конструкция, шаг, масса; материал, твердость рабочих поверхностей деталей, точность изготовления; предельная (разрушающая) нагрузка;
- точность монтажа соединяемых узлов: радиальное и угловое смещения осей валов;
- условия эксплуатации муфты: величина и характер передаваемой нагрузки; частота вращения; смазка; температура;
- тип муфты (например, у муфт цепных однорядных (МЦО) и муфт цепных с промежуточным валом (МЦПВ) коэффициент концентрации нагрузки и КПД – параметры, существенно влияющие на работоспособность цепных муфт).

Виды и характер износа элементов муфт. В цепных муфтах изнашиваются элементы шарнира (валик и втулка), ролики и зубья звездочек [3]. Износ этих деталей обусловлен силами трения, которые возникают при относительных перемещениях по-

лумуфт, связанных с радиальными и угловыми смещениями осей соединяемых валов.

В процессе изнашивания изменяется контактный шаг [4], что приводит к нарушению нормального зацепления шарниров цепи с зубьями звездочек и увеличению нагрузки, действующей на элементы муфты, вследствие повышения ее динамичности и неравномерности распределения между деталями. Одновременно с этим уменьшаются сечения самих деталей. Все это снижает прочность основных элементов муфты и прежде всего цепи.

При износе элементов шарниров цепь может выйти из строя вследствие непрерывного увеличения шага звеньев до предельного значения, при котором появляется опасность ее разрыва или нарушения зацепления и соскакивания со звездочек [5].

Износ роликов наблюдается с внутренней и наружной стороны. Как показывает метрологическое исследование, основным является износ с наружной стороны [6].

Зубья звездочек изнашиваются в местах соприкосновения с шарнирами цепи [7]. В отличие от передач износ зубьев звездочек в муфтах более локализован. Интенсивность изнашивания при прочих равных условиях зависит от мощности потерь на трение. Наибольшей мощностью обладают силы трения между роликами и зубьями полумуфт. Практика эксплуатации цепных муфт показывает, что наибольший износ наблюдается у зубьев звездочек и с наружной поверхности роликов. При этом существенное влияние на износ оказывает радиальное смещение осей валов.

Износостойкость цепных муфт. Одним из главных критериев надежности цепных муфт является износостойкость их основных элементов – цепи и звездочек [8]. Поэтому важно располагать методом расчета этих элементов на износ. Имеющийся метод расчета цепей [9], разработанный применительно к передачам, не может быть непосредственно использован для муфт, поскольку условия работы цепи в передаче и муфте различные. При расчете муфт используют лишь основные положения этого метода – интенсивность износа деталей

определяется удельной мощностью потерь на трение между ними. Тогда для создания обоснованного расчета на износ необходимо найти (например, экспериментальным путем) зависимость между удельной мощностью сил трения и линейным значением износа.

Среднюю удельную мощность потерь на трение можно представить:

$$\omega_{y\delta} = f p_m^n v_{sm}, \quad (1)$$

где p_m – среднее значение давления в сопряжении деталей; n – показатель степени; в дальнейших расчетах $n = 1$; v_{sm} – средняя скорость скольжения трущихся поверхностей; f – коэффициент трения скольжения.

Все величины, входящие в формулу (1) кроме коэффициента f , для каждого сопряжения в муфте могут быть легко определены. Поэтому в дальнейших расчетах будет использован критерий нагруженности контакта:

$$k = \omega_{y\delta} / f = p_m v_{sm}.$$

Применительно к цепным передачам эту величину называют критерием износа [2].

Следовательно, критерий k , пропорциональный, при установившемся режиме трения (смазывания) характеризует интенсивность изнашивания деталей сопряжения.

Поскольку значительная часть мощности сил трения преобразуется в тепло, при эксплуатации муфты ее элементы нагреваются. Температура при установившемся режиме работы будет тем выше, чем больше значение k . В целях обеспечения надежной работы муфты в течение требуемого срока службы интенсивность изнашивания и температура деталей должны быть не выше заданного уровня.

Методика определения критерия нагруженности контакта k основывается на явлении увеличения ΔP среднего шага цепи при износе элементов шарниров. На рисунке 1 показаны графики, характеризующие закономерность увеличения среднего шага цепей во времени. Если не учитывать

приработку трущихся поверхностей, то зависимость между ΔP и продолжительностью работы L_h будет прямолинейной. Чем больше значение k , тем больше ΔP при одной и той же наработке. На графике (рисунок 2, а) приведены экспериментальные данные об увеличении среднего шага приводных цепей при различных k , соответствующих определенной наработке (например, $L_{h0} = 1000$ ч) [3].

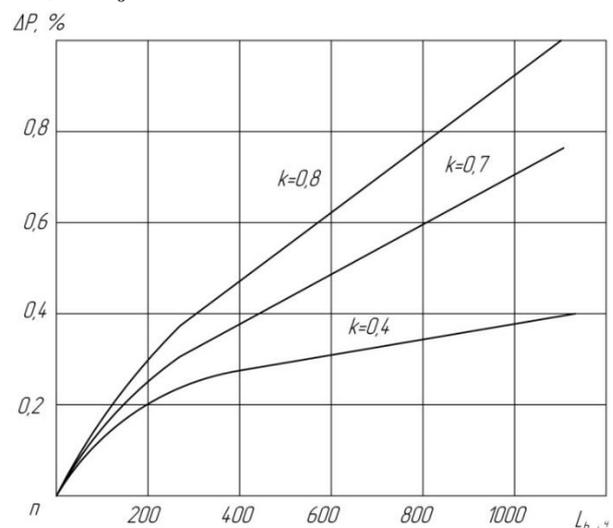


Рисунок 1. Зависимость между увеличением среднего шага цепей, продолжительностью работы и критерием нагруженности муфты

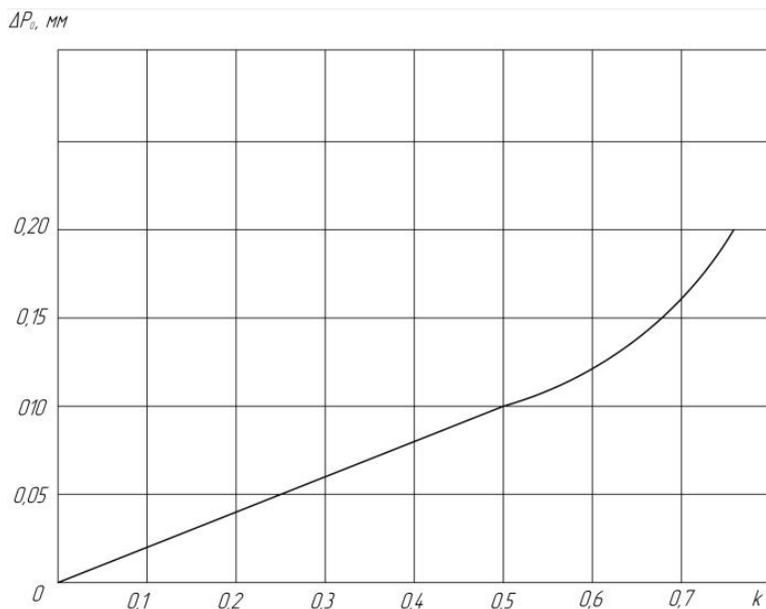
На практике удобнее применять кривые зависимости $k = f(\Delta P_0)$ (рисунок 2, б). Тангенс угла между прямолинейным участком этих кривых (или касательными к этим кривым) и осью абсцисс характеризует износостойкость цепей. Величину k_ξ называют критерием износостойкости:

$$\tan \delta = \frac{k}{P_0} = k_\xi. \quad (2)$$

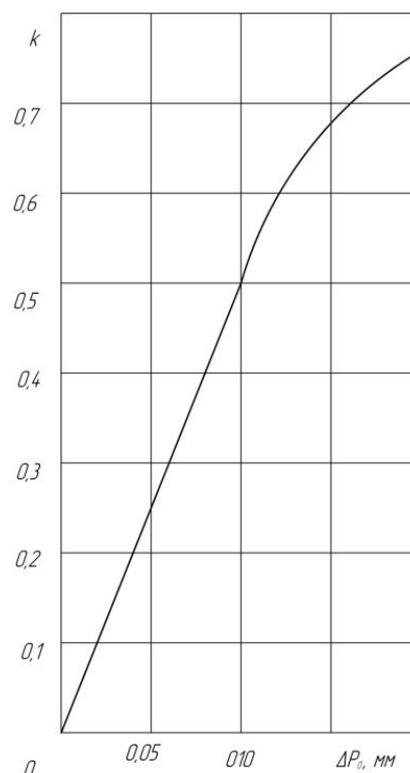
Для контакта трущихся поверхностей с учетом изложенного ранее можно записать:

$$k_\xi = \frac{k}{\Delta l_0},$$

где Δl_0 – линейное значение износа за определенную наработку (например, за время $\Delta l_0 = 10^3$ ч).



а



б

Рисунок 2. Зависимость между критерием нагруженности муфты и увеличением среднего шага цепи: а – график зависимости $\Delta P_0 = f(k)$; б – график зависимости $k = f(\Delta P_0)$

Значение критерия зависит от физико-механических свойств трущихся поверхностей, качества и способа подачи смазки. С его помощью возможно не только объективно оценить износостойкость сопряжения с принятой системой смазки, но и определить с некоторым приближением его ресурс:

$$L_k = \frac{[\Delta l] k_\xi L_{k0}}{k}, \quad (3)$$

где $[\Delta l]$ – допускаемое значение износа за срок службы L_h . Для цепных передач ресурс определяют по формуле:

$$L_k = \frac{L_{h0} ([\Delta P] - h - \Delta P_h) k_\xi}{k}, \quad (4)$$

где $L_{k0} = 1000$ ч; $[\Delta P]$ – предельно допустимое увеличение шага цепи за время работы L_h ; h – дополнительное увеличение среднего шага, возникающее в начале работы цепи вследствие приработки трущихся поверхностей шарнира; ΔP_h – первоначальное положительное отклонение среднего шага от номинального значения.

Из формул (3) и (4) следует, что срок службы сопряжения при всех прочих одинаковых условиях тем больше, чем больше критерий износостойкости k_ξ и меньше критерий нагруженности контакта k .

В связи с изложенным становится очевидной последовательность определения, на примере цепных передач, допустимого значения критерия нагруженности контакта k . При известной закономерности увеличение во времени среднего шага цепи:

$$\Delta P_0 = \frac{10^3 ([\Delta P] - h - \Delta P_h)}{L_h}.$$

С учетом выражения (2) нагруженность контакта:

$$k = \Delta P k_\xi = \frac{10^3 ([\Delta P] - h - \Delta P_h) k_\xi}{L_h}.$$

По аналогии для любого сопряжения:

$$k = \Delta l_0 k_\xi = \frac{[\Delta l] k_\xi L_{h0}}{L_h}. \quad (5)$$

Значения критерия износостойкости и приработки h можно получить только в результате проведения соответствующих экспериментальных исследований.

Таким образом, методика расчета цепных передач на износ может быть использована с некоторыми уточнениями для расчета любого сопряжения в рассматриваемых типах муфт. Для этого необходимо располагать экспериментальными данными о критерии износостойкости каждого сопряжения, в том числе и шарниров цепи. Относительные перемещения смежных звеньев, обуславливающие износ в шарнирах, зависят лишь от радиальных смещений осей соединяемых муфтой валов. В передачах шарниры изнашиваются вследствие относительных перемещений звеньев при входе и выходе из зацепления и при поперечных колебаниях ветвей контура. Это свидетельствует о большей износостойкости шарниров цепи в муфте, чем в передаче.

Виды и характер поломок элементов цепных муфт. В муфтах, работающих с обильным смазыванием, основным видом повреждений являются поломки деталей цепи, причем эти разрушения носят усталостный характер.

В МЦО наблюдаются прежде всего поломки роликов, что обусловлено спецификой их нагружения – ролик оказывается зажатым между зубьями полумуфт и втулками цепи. В связи с этим в роликах возникают значительные напряжения изгиба, вызывающие усталостные разрушения. Возможны также поломки втулок.

Для муфт цепных двухрядных (МЦД) наиболее характерными являются поломки промежуточных пластин и роликов. Разрушения промежуточных пластин имеют место в тех случаях, когда они посажены на валики с зазором. Такие повреждения обусловлены неравномерным распределением нагрузки между пластинами и, главным образом, высоким уровнем напряжений в их проушинах. Коэффициент концентрации напряжений на контуре отверстия в пластине $K_\sigma \geq 4$.

При эксплуатации муфт цепных повышенной компенсирующей способностью (МЦПКС) наблюдаются те же самые разрушения элементов цепей, что и в передаче.

Так, например, при использовании в муфтах однорядных роликовых цепей наиболее характерными являются поломки втулок. У многорядных цепей, применяемых в МЦПКС, самые слабые элементы – промежуточные пластины, которые, как известно, посажены на валики с зазором. Поскольку установлено [2], что соединение с натягом пластин и роликов существенно увеличивает (более чем на 45 %) их сопротивление усталости, то перспективным является использование в муфтах цепей, у которых обеспечено такое соединение.

Для МЦПВ характерны те же самые поломки цепей, что и для МЦД.

Прочность цепных муфт. Важный критерий надежности цепных муфт – прочность их основных элементов, причем в большинстве случаев решающее значение имеет не статическая прочность, а сопротивление усталости. Условия работы цепей в муфтах (кроме МЦПКС) и цепных передачах существенно отличаются. Поэтому имеющийся метод расчета на прочность, созданный применительно к передачам [1], использовать непосредственно для муфт нельзя.

Разработанный для муфт метод основан на экспериментальных данных, полученных в условиях, близких к эксплуатационным. Параметры, характеризующие испытываемые муфты и условия их работы, называют базовыми. С учетом данных о нагрузочной способности базовой муфты можно записать:

$$[M_T] = [M_T]_0 \prod_{i=1}^k C_i^{\alpha_i} \quad (6)$$

где $[M_T]$, $[M_T]_0$ – допустимый вращающий момент из условия обеспечения сопротивления усталости цепи соответственно для проектируемой и базовой муфт;

$\prod_{i=1}^k C_i^{\alpha_i}$ – произведение корректирующих коэффициентов $C_i^{\alpha_i}$, представляющих собой отношения значений параметров проектируемой и базовой муфт (k – число сравниваемых параметров; α_i – показатель сте-

пени влияния i -го параметра на сопротивление усталости муфты). Методика определения

величины $\prod_{i=1}^k C_i^{\alpha_i}$ приведена в [2].

Нагрузочная способность проектируемой муфты может быть найдена и в соответствии с условием:

$$\sigma_{\max} = \dots \leq [\sigma], \quad (7)$$

где σ_{\max} – расчетное напряжение в наиболее слабой детали цепи; $[\sigma]$ – допустимое напряжение для этой детали.

При определении σ_{\max} используют результаты предыдущих исследований, прежде всего анализа НДС элементов муфт. Допустимое напряжение может быть найдено с учетом $[M_T]_0$ по той же самой методике, что σ_{\max} . С другой стороны, $[\sigma]$ можно определить на основе данных по механическим характеристикам материала деталей приводных цепей.

Кроме того, цепи, используемые в муфтах, можно рассчитывать на прочность на основе данных об их сопротивлении усталости, полученных применительно к передачам. Для этого используют условие

$$F_{c \max} = \dots \leq [F_C], \quad (8)$$

где $F_{c \max}$ – расчетное натяжение цепи в муфте, определяемое при силовом расчете [2]; $[F_C]$ – допустимое натяжение цепи в проектируемой муфте;

$$[F_C] = F_{\lim b} K_L K_M / [n_r], \quad (9)$$

где $F_{\lim b}$ – предельная усталостная нагрузка для данной цепи, соответствующая базовому числу циклов и найденная применительно к передачам; K_L – коэффициент долговечности; K_M – коэффициент, учитывающий особенность нагружения элементов цепи в муфте по сравнению с передачей; $[n_r]$ – допустимый запас сопротивления усталости, назначаемый в зависимости от степени ответственности муфты.

Если в формуле (9) принять $[n_r] = 1$, то соотношение между предельной усталостной нагрузкой на цепь в базовой муфте и передаче выразится зависимостью:

$$F_{M \lim b} = F_{\lim b} K_M.$$

Откуда:

$$K_M = F_{M \lim b} / F_{\lim b}.$$

Коэффициент K_M определяют также в соответствии с результатами силового расчета $F_{\lim b}$ через параметры муфты. Например, для МЦО

$$K_M = \frac{2M_{T \lim b}}{P_z F_{1 \lim b}} \operatorname{tg}(\gamma - f_1),$$

где $M_{T \lim b}$ – предельная усталостная нагрузка (вращающий момент) для базовой муфты.

При известном $M_{T \lim b}$ допустимый вращающий момент для базовой муфты:

$$[M_T]_0 = \frac{M_{T \lim b}}{[n_r]}.$$

Заключение

Таким образом, для создания метода расчета на прочность цепных муфт необходимо располагать достоверными данными о предельной усталостной нагрузке $M_{T \lim b}$ для базовых муфт, которые могут быть получены лишь в результате испытаний в условиях, близких к эксплуатационным. Прочность муфты оценивают также с использованием условия (7) или (8). Для этого используют результаты исследования напряженно-деформированного состояния деталей приводных цепей и данные о механических характеристиках материалов этих деталей.

Библиографический список

1. Сергеев, С.А. Повышение эффективности автоматизированного проектирования цепных муфт на основе создания их математической модели / С.А. Сергеев // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Московский государственный технологический университет. 2007.

2. Сергеев, С.А. Цепные муфты: анализ и синтез / С.А. Сергеев // монография. – Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2011. 398 с.
3. Червяков, Л.М. Системный подход к проектированию цепных муфт / Л.М. Червяков, С.А. Сергеев, Т.В. Дмитрикова // Технология металлов. 2011. №12. С. 45-48.
4. Sergeev, S.A. Parametric optimization of chain-transmission sprockets / S.A. Sergeev, D.V. Moskaev // Russian Engineering Research. 2009. Т. 29. №5. С. 452-455.
5. Червяков, Л.М. Виды повреждений цепных муфт и критерии их надежности / Л.М. Червяков, С.А. Сергеев // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011. №4. С. 38-42.
6. Сергеев, С.А. Методология проектирования цепных муфт / С.А. Сергеев, Л.М. Червяков, И.П. Емельянов // монография. – LAP LAMBERT Academic Publishing. Серия «Современное машиностроение». – Saarbrücken, Germany, 2011. – 325с.
7. Сергеев, С.А. Стенд для испытания цепных муфт // Вестник машиностроения. 2009. №1. С. 84-85.
8. Учаев П.Н., Сергеев С.А. Коэффициент полезного действия цепных муфт // Вестник Брянского государственного технического университета. 2009. №3. С. 70-73.
9. Sergeev, S.A. Development of computer aided design of chain coupling / International Journal of Advanced Studies. 2015. Т. 5. № 4. С. 55-59.



УДК 334.7

З.С. Гельманова, М.К. Ибатов, К.А. Ногаев

Карагандинский государственный
индустриальный университет
г. Темиртау, Республика Казахстан
E-mail: zoyakgiu@mail.ru
Дата поступления 20.04.2016

НЕОБХОДИМОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ СЕРВИСНОГО РЕМОНТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ АО «АРСЕЛОРМИТТАЛ ТЕМИРТАУ»

Аннотация

В статье рассматриваются модели организации сервисного обслуживания на металлургических предприятиях. Отмечены особенности перехода к организации ремонтного обслуживания на АО «АрселорМиттал Темиртау». Определены возможные варианты ее организации и обоснован наиболее приемлемый вариант сервисного обслуживания по ремонту металлургического оборудования. Для устранения возникающих проблем разработан международный стандарт, призванный обеспечить общее руководство аутсорсингом для любой организации вне зависимости от сферы деятельности.

Ключевые слова: аутсорсинг; управление аутсорсингом; потенциал аутсорсинга; модели организации сервиса; организация сервисной службы.

Проводимая на большинстве металлургических предприятий модернизация оборудования, применение большого количества сложнейших дорогостоящих электрогидравлических систем существенно усложнило задачу его технического обслуживания. Традиционные подходы к организации сервиса такого оборудования зачастую оказываются малоэффективными.

Известно, что на сталепрокатных заводах Западной Европы издержки одного часа остановки прокатного стана составляют в среднем 125000 ЕВРО. Время устранения аварии составляет от 0,5 до 8 часов. Следовательно, издержки на каждую аварию составляют от 62500 до 1000000 ЕВРО. Даже на станах с самой оптимальной настройкой и управлением может быть до