УДК 622.23.05

С.Л.ИВАНОВ
Профессор кафедры начертательной геометрии и графики
А.С.ФОКИН
Аспирант кафедры конструирования горных машин и технологии машиностроения
А.А.ПОДДУБНАЯ
Аспирантка кафедры конструирования горных машин и технологии машиностроения

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ СМАЗКИ

Рассматриваются способы повышения срока службы открытых зубчатых передач на примере привода шаровой мельницы. Приведены результаты внедрения автоматической системы смазки и предложены пути повышения эффективности ее использования.

Ways to raise service life of open tooth gearings on an example of a drive of a spherical mill are considered. Results of introduction of automatic system of greasing are resulted and increase ways efficiency of its uses are offered.

В промышленности широкое распространение находят крупногабаритные и крупномодульные зубчатые передачи. Например, барабанные мельницы, предназначенные для измельчения различных руд, угля и другого сырья, оборудуются открытыми зубчатыми передачами, модуль зубьев которых m = 20-34 мм, ширина зубчатого венца b = 600-1000 мм, а его диаметр достигает 12 м. Зубчатый венец барабанных мельниц устанавливается непосредственно на цапфе или на барабане мельницы, что обуславливает значительные торцевые и радиальные биения. Так как открытые зубчатые передачи барабанных мельниц являются регулируемыми, неизбежны неточности монтажа. Перечисленные факторы приводят к значительным неравномерностям распределения нагрузки по длине контактных линий и износу открытых зубчатых передач [6]. Долговечность и нагруженность открытой зубчатой передачи существенно зависит от условий эксплуатации [2] зубчатого венца. В случае, когда шестерня изнашивается одной рабочей поверхностью, величина допускаемого износа $[\Delta S_1]$ = 10 мм, срок службы венца ограничивается нецелесообразностью дальнейшей эксплуатации из-за быстрого изнашивания шестерен [5].

Как показывает анализ экспериментальных данных, износ открытых зубчатых передач может быть существенным и даже в полюсе зацепления, где с теоретической точки зрения его быть не должно, так как профили сопрягаемых зубьев здесь катятся без скольжения. На рис.1. представлена форма износа зуба шестерни, полученная на основании анализа опытных данных с учетом воздействия абразивных частиц.

Износ оценивался по изменению толщин зуба, измеренных в 10 точках профиля

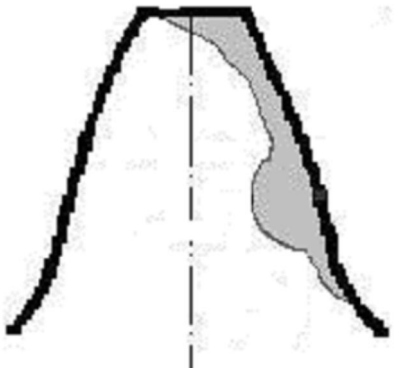


Рис.1. Форма износа зуба шестерни открытой зубчатой передачи

от ножки до головки зуба. Результаты стендовых испытаний показали, что на профиле зуба шестерни в процессе изнашивания образуется выемка, а на сопряженном зубе колеса – выступ. Малый износ у ножки зуба объясняется затрудненностью доступа абразивных частиц в этой зоне. Повышенный износ наблюдался на головке зуба.

По степени износа или поврежденности рабочей поверхности зуба обычно оценивают ресурс передачи. Так, ресурс закрытых передач определяется питтингом, причем площадь, занятая язвинами, не должна превышать 30 % площади рабочей поверхности зуба при глубине язвин свыше 10 % толщины зуба. Для открытых передач предельным износом при оценке ресурса с точки зрения изгибной прочности является износ, равный 0,3 модуля (0,3m). Нарушение кинематической точности наблюдается при износе, превышающем 0,025m [4]. Износ провоцирует зарождение и развитие трещин под действием напряжений растяжения. После того, как образуется магистральная трещина, ее рост определяется трещиностойкостью и размахом коэффициента интенсивности напряжения.

Повышения долговечности открытой зубчатой передачи по износу, а также контактной прочности зубьев можно добиться повышением твердости их рабочих поверхностей. С другой стороны, повышение твердости рабочих поверхностей зубьев снижает скорость их приработки и приводит к длительной работе при значительной неравномерности распределения нагрузки по длине контактных линий, что снижает усталостную прочность зубьев [1]. Тем не менее, мировые лидеры по производству барабанных мельниц оборудуют их открытыми зубчатыми передачами, имеющими твердость рабочих поверхностей зубьев шестерни и венца соответственно HB_1 = = 550-600, HB_2 = 230-305, что значительно превышает аналогичный показатель для мельниц, изготовленных в России и Украине, где HB_1 = 260-300, HB_2 = 180-200.

Одним из основных способов снижения износа элементов открытой зубчатой передачи и, как следствие, повышения ее срока службы является улучшение процесса смазки передачи, например применением автоматической централизованной системы смазки. Использование автоматических систем смазки обеспечивает автоматизацию подачи заданного количества жидкой или консистентной смазки к любому количеству точек смазки в определенное время и централизованный контроль его подачи.

Наиболее эффективным способом смазки открытых зубчатых передач шаровых мельниц является система распыления густой смазки. Этот способ смазки, по сравнению с остальными, позволяет значительно увеличить срок службы приводной шестерни открытой передачи.

Таким образом, по данным ООО «Техпартнер» установка централизованной системы смазки фирмы «Linkoln» позволила:

- гарантированно обеспечить увеличение срока эксплуатации зубчатых венцов и приводных шестерней: зубчатого венца мельниц не менее чем в 1,5 раза (55-67 тыс.ч); приводной шестерни мельницы не менее чем в 1,4 раза (8-10,5 тыс.ч);
- исключить возможные потери производства за счет сокращения количества остановок мельниц, связанных с внеплановой заменой приводных шестерен; сократить материальные затраты на приобретение запасных частей;
- сократить расходы смазочного материала.

Расход смазочного материала снижен более чем в 25 раз и составлял 160 г/сут, что снижает также такелажные и складские расходы. Увеличен период эксплуатации узлов трения. Эксплуатация автоматической системы смазки повышает культуру производства и улучшает экологическую обстановку на предприятии.

Оптимальным режимом работы автоматической системы смазки является режим, при котором в зацеплении не допускается переход на сухое трение и при этом количество подаваемой смазки минимально. Подобный режим работы возможно поддерживать, включив в имеющуюся схему обратную связь, состоящую из анализатора состояния пары трения.

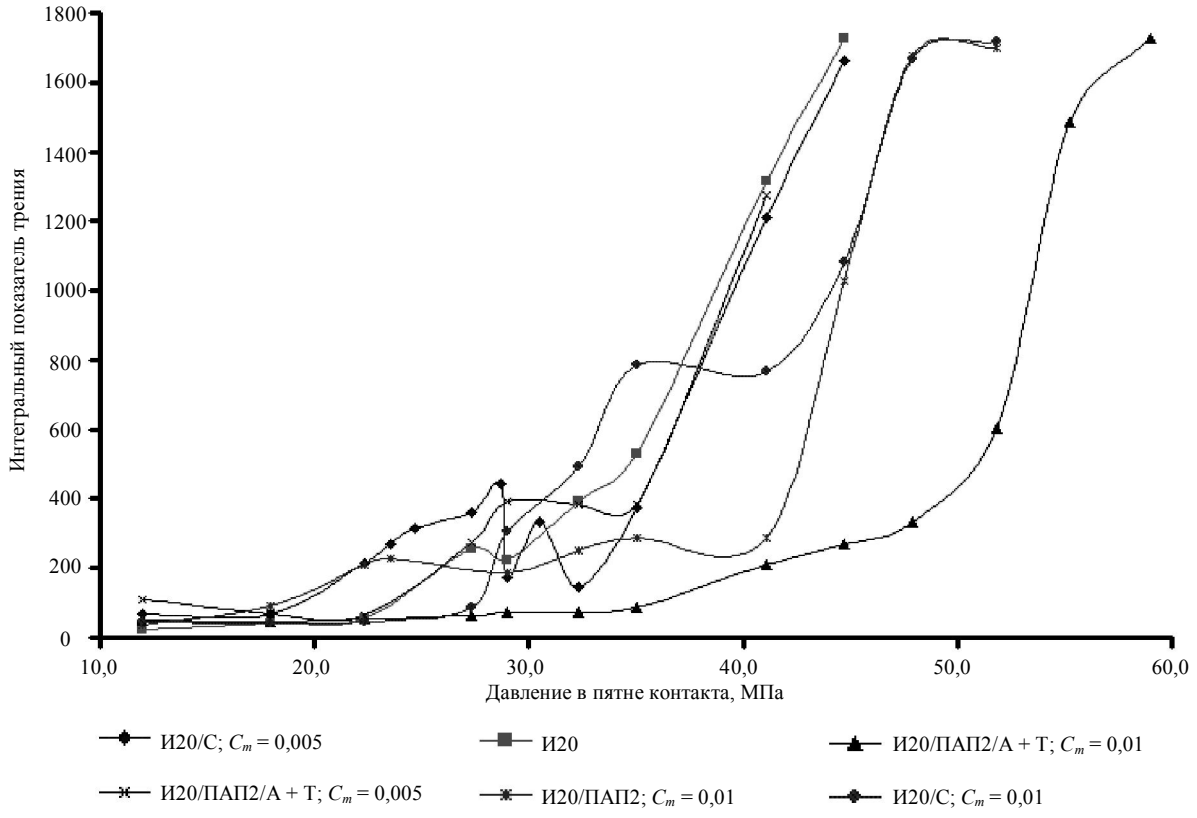


Рис.2. Влияние примесей алюминиевого порошка и углерода на коэффициент трения в контакте

В качестве анализатора может использоваться измерительная система, регистрирующая величину сигнала акустической эмиссии от трибосопряжения. Величина сигнала акустической эмиссии, возникающего при работе трибосопряжения, пропорциональна коэффициенту трения.

Для выявления характера изменения величины акустической эмиссии от характера трения в кинематической паре в Санкт-Петербургском горном институте проведены экспериментальные исследования на разработанном стенде. Эксперимент был проведен на образце масла И-20 (базовый вариант) и с присадками. В качестве присадок использовались алюминевый порошок и угольная пыль. Изменения величины акустической эмиссии от давления в контакте представлены на рис.2.

Как видно из рис.2, в зоне жидкостного трения (давление до 20 МПа) влияния присадки на коэффициент трения не наблюдается. В зоне граничного трения (давление в пятне контакта от 20 до 35 МПа) наблюдается изменение величины сигнала акустической эмиссии. Так отношение между сигналом акустической эмиссии в опыте с чистым маслом И20 и И20/ПАП2/А + Т достигает 4,5.

В области перехода от граничного к сухому трению наблюдается значительное изменение коэффициента трения (от 7 % для И20/С и И20/ПАП2 до 19 % для И20/ПАП2/А + Т) при массовой доле примеси 1 %. Наличие примеси 0,5 % от массы масла практически не влияет на величину акустической эмиссии в зоне граничного трения.

Аналогичные эксперименты, но для оценки коэффициента трения на четырехроликовой машине трения СМТ, были проведены А.С.Евсеевым. Из сравнения результатов проведенных экспериментов и данных, представленных в работе [3], видно, что кривые изменения акустической эмиссии и коэффициента трения имеют одинаковый вид изменения, характерный для трех видов тре-

ния в кинематической паре: жидкостного, полусухого и сухого.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что предложенный СПГГИ метод адекватно оценивает изменение характера трения и коэффициента трения в кинематической паре и успешно может быть применен в качестве измерительной системы для обратной связи при управлении централизованной автоматической системой смазки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богданович П.Н.* Трение и износ в машинах: Учеб. для вузов / П.Н.Богданович, В.Я.Прущак. Минск: Высшая школа, 1999. 374 с.

2. *Виноградов Б.В.* О повышении долговечности открытых зубчатых передач барабанных мельниц // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2001. № 4. С.70-72.

3. *Евсеев А.С.* Понижение механических потерь в зубчатом зацеплении из чугуна и стали путем модификации смазки // Трение, износ, смазка. 2007. Т.9. № 4.

4. *Леликов О.П.* Прогнозирование ресурса передаточных механизмов по критерию износа / О.П.Леликов, Б.П.Нажесткин // Инженерный журнал. 1999. № 5. С.2431.

5. *Поддубная А.А.* Снижение интенсивности изнашивания зубчатых колес механических трансмиссий горных выемочных машин. Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения / А.А.Поддубная, А.С.Фокин, С.Л.Иванов // Труды 4-й Межрегиональной научно-практической конференции. Воркута, 2006. 659 с.