

УДК 621.891:629.4.077–592.59

П. Н. БОГДАНОВИЧ, А. Е. ЧЕРНОПЯТКИН, А. О. ХИМИЧЕВА
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

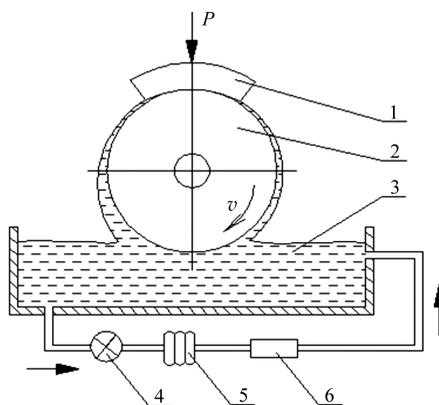
ИЗНАШИВАНИЕ МЕТАЛЛОВ ПРИ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ В РЕЖИМЕ «ПУСК-СТОП»

Обсуждаются закономерности трения и изнашивания бронзы и стали в условиях непрерывного трения и трения с периодически повторяющимся пуском и остановкой при различных нормальной нагрузке и скорости скольжения. Описываются особенности разрушения поверхностей трения деталей, эксплуатирующихся в режиме «пуск-стоп».

Известно, что при загородном движении автомобиля износ деталей, работающих в условиях смазки, значительно ниже, чем в пределах города, что в последнем случае связано с частыми пусками и остановками транспортного средства [1, 2]. В периоды остановки и набора скорости гидродинамическое трение практически отсутствует, а реализуется в основном граничное трение, при котором интенсивность изнашивания сопрягаемых деталей возрастает на порядок и более [3]. Однако неясно, насколько проявляется этот эффект в том случае, когда даже при непрерывном скольжении жидкостное трение не достигается, а сопрягаемые детали частично разделены граничным слоем. На практике это узлы трения, работающие в режиме «пуск-стоп» при высоких нагрузках и малых скоростях, а также при реверсивном скольжении одной детали по поверхности другой [4].

Цель настоящей работы заключалась в выявлении закономерностей влияния режимов нагружения на трение и изнашивание деталей трибосопряжений, эксплуатирующихся в присутствии смазочного материала при непрерывном скольжении и в режиме «пуск-стоп».

Испытания проводились на машине трения СМТ-1 по схеме «ролик-вкладыш». Ролик 1 был изготовлен из стали 45, а вкладыш 2 – из бронзы БрОФ10-1 (рисунок 1). В качестве смазочного материала 3 использовалось индустриальное масло И-8А селективной очистки.

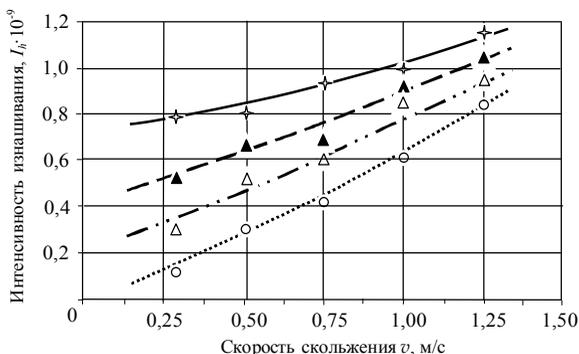


- 1 – частичный вкладыш; 2 – ролик;
- 3 – смазочный материал; 4 – насос;
- 5 – радиатор; 6 – фильтр

Рисунок 1 – Схема установки для триботехнических испытаний

Скорость скольжения соответствовала 0,3; 0,5; 0,75; 1,0 и 1,25 м/с, а контактное давление изменялось от 0,25 до 0,9 МПа. Продолжительность периода непрерывного трения скольжения (динамический контакт t_d) составляла 15 и 5 минут, а трения покоя (статический контакт t_s) – 2 и 5 минут. Общее время динамического контакта во всех испытаниях составляло 60 минут. Интенсивность изнашивания определялась взвешиванием по потере массы образца. Для поддержания постоянной температуры в зоне контакта и удаления частиц износа масло с помощью насоса 4 прокачивалось через радиатор 5 и фильтр 6.

Установлено, что повышение контактного давления P вызывает рост интенсивности изнашивания I_h бронзы, что обусловлено уменьшением толщины смазочного слоя d и его локальным разрушением (рисунок 2). При этом увеличиваются число и размеры пятен непосредственного контакта выступов поверхностей сопрягаемых тел. Соответственно возрастает число и размеры адгезионных повреждений, а также контактные напряжения и, как следствие, растет вероятность образования усталостных трещин. С ростом P увеличивается глубина внедрения выступов поверхности ролика, что сопровождается образованием более глубоких бороздок на поверхности трения бронзового вкладыша. В итоге повышается интенсивность абразивного изнашивания.

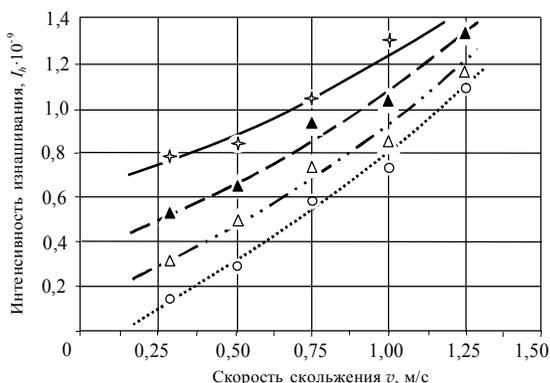


..... $P = 0,25$ МПа; - · - $P = 0,37$ МПа; - - - $P = 0,5$ МПа; — $P = 0,62$ МПа

Рисунок 2 – Зависимость интенсивности изнашивания от скорости непрерывного скольжения при различных контактных давлениях

С увеличением скорости скольжения v вкладыш должен изнашиваться менее интенсивно, так как возрастает несущая способность и толщина масляного слоя. Также должна уменьшаться толщина слоя вкладыша, интенсивно деформируемого выступами стального ролика, и число участков, на которых протекает усталостное разрушение. Однако, эксперименты показали, что I_h возрастает при повышении v (рисунок 2). По-видимому, это связано с ростом температурных вспышек на пятнах контакта и по этой причине снижением прочности бронзы на локальных участках. Это способствует увеличению доли глубинного вырывания бронзы и переносу ее на поверхность ролика.

При переходе от непрерывного скольжения к трению с периодически повторяющимся запуском и остановкой бронзовый вкладыш изнашивается более интенсивно, однако характер зависимости $I_h(v)$ не изменяется (рисунок 3). Причина в том, что в период остановки скорость подачи смазочного материала вращающимся роликом в зону трения уменьшается. Смазочный материал выдавливается из зоны контакта выступов, и между ними образуются мостики сварки, срез которых сопровождается интенсивным разрушением поверхностного слоя детали. При непрерывном трении скольжения без охлаждения смазочного материала существенное влияние в процессы трения и изнашивания вносит температура в зоне контакта. Она увеличивается, снижая вязкость смазочного материала и толщину масляной пленки, при этом реализуется контакт самых высоких выступов, и узел трения начинает изнашиваться более интенсивно. В данном случае температура в зоне трения не превышала 31 °С.



..... $P = 0,25$ МПа; - · - $P = 0,37$ МПа; - - - $P = 0,5$ МПа; — $P = 0,62$ МПа

Рисунок 3 – Зависимость интенсивности изнашивания от скорости скольжения при $t_d/t_s = 5/2$ и различных контактных давлениях

Анализ диаграммы на рисунке 4 показывает, что с увеличением числа пусков и остановок n линейная интенсивность изнашивания бронзового вкладыша возрастает. Так, при переходе от непрерывного скольжения ($n = 1$) к скольжению с остановками ($n = 12$) I_h увеличивается в среднем в 1,4 раза. Этот эффект становится более заметным при снижении контактного давления и увеличении скорости скольжения.

Трение и изнашивание деталей, как при непрерывном скольжении, так и в режиме «пуск–стоп» зависит от глубины внедрения выступов поверхности стального ролика в поверхностный слой вкладыша, которая в свою очередь определяет размер и число адгезионных связей, величину и соотношение контактных деформаций и вид изнашивания. Анализ изношенных поверхностей трения сопрягаемых деталей показал, что вкладыш и ролик подвергаются абразивному, адгезионному и усталостному изнашиванию.

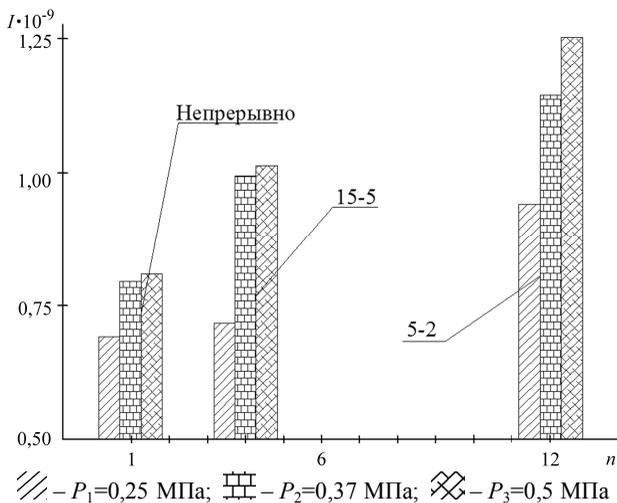


Рисунок 4 – Зависимость линейной интенсивности изнашивания от числа циклов при скорости скольжения $v = 1$ м/с и различном контактном давлении

О присутствии абразивного изнашивания ролика свидетельствуют бороздки, ориентированные параллельно вектору скорости скольжения (рисунок 4, а). В роли абразива могут выступать частицы, попавшие в смазочный материал, а также наклепанные частицы стального ролика, которые отделились в результате усталостного изнашивания и внедрились в материал вкладыша. Присутствие усталостного изнашивания подтверждается наличием на поверхности трения ролика микротрещин, ориентированных перпендикулярно направлению скорости скольжения (см. в направлении стрелки на рисунке 4, а). Причиной его возникновения являются многократные знакопеременные циклически повторяющиеся деформации поверхностного слоя металла, вызывающие появление дефектов, которые впоследствии сливаются и образуют микротрещину.

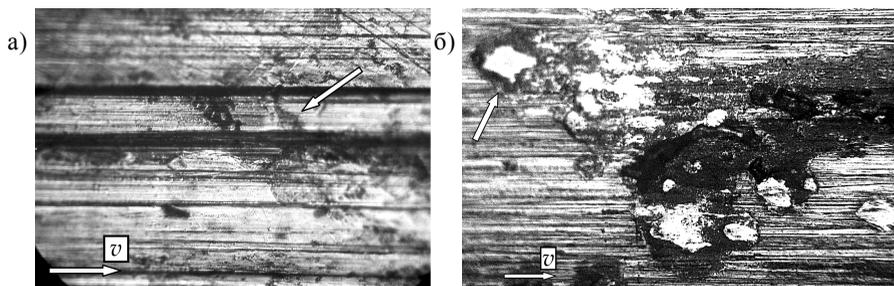


Рисунок 4 – Поверхность трения ролика после изнашивания (увеличение $\times 250$)

Адгезионное изнашивание проявляется в результате возникновения между выступами трущихся деталей мостиков сварки, разрушение которых происходит по границе раздела либо по объему менее прочного материала (бронзы). Возможна ситуация, когда в стальном ролике появился, например, усталостный дефект и сваривание происходит по этому дефекту. Тогда разрушение мостика сварки будет происходить по объему стального ролика. На рисунке 4, б видны адгезионные вырывы (темное поле), а также перенос бронзы на поверхность ролика (пятна переноса показаны стрелкой на рисунке 4, б).

Таким образом, установлено, что интенсивность изнашивания бронзы при трении по стали в присутствии индустриального масла возрастает с уменьшением отношения времени динамического контакта к статическому. Это связано с увеличением числа переходов от полужидкостного к граничному трению и ростом вероятности образования мостиков сварки. Для периодического и непрерывного режимов трения характерен монотонный рост интенсивности изнашивания с повышением нагрузки. Он обусловлен увеличением контактного давления, разрушением граничного слоя и образованием мостиков сварки между выступами, а также ростом температуры на пятнах контакта, ускоряющей процесс разрушения граничного слоя и образование большего количества площадок металлического контакта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Bogdanovich, P. N.** Polymer Fatigue / P. N. Bogdanovich, D. V. Tkachuk // Encyclopedia of Tribology. USA. – 2013. – P. 2578–2585.

2 **Bogdanovich, P. N.** Разрушение материалов при динамическом контактном взаимодействии / P. N. Bogdanovich, D. V. Tkachuk, D. A. Bliznetz // Acta mechanica et automatica. – 2007. – Vol. 1, № 1. – P. 15–18.

3 **Богданович, П. Н.** Трение, смазка и износ в машинах: учеб. для студентов высших учебных заведений / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак, С. П. Богданович. – Минск: Технология, 2011. – 528 с.

4 **Богданович, П. Н.** Предварительное смещение в металлополимерном фрикционном контакте / П. Н. Богданович // Доклады Академии наук Беларуси. – 2005. – № 6. – С. 115–118.

P. N. BOGDANOVICH, A. E. CHERNOPYATKIN, A. O. HIMICHEVA

WEAR OF METALS AT A SLIDING FRICTION FOR THE "START-STOP" REGIME

There are discussed the laws of friction and wear for bronze and steel at the conditions of the continuous friction and friction with recurrent start and stop for the various normal load and sliding velocity. The features of the parts friction surfaces destruction at the "start-stop" operation regime are described.

Получено 26.09.2014