

## О КОЭФФИЦИЕНТЕ ТРЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ МОЛОТКОВ

В. Ф. ГОРБУНОВ, В. И. БАБУРОВ, А. И. ПАШНИН, Г. А. КИСЕЛЕВ

При возвратно-поступательном движении ударника пневматических машин ударного действия часть запасенной энергии сжатого воздуха расходуется на трение, превращаясь в тепло. Коэффициент трения является одной из основных характеристик механического процесса и в некоторой степени определяет к. п. д. машины. Имеющиеся в литературе

[1, 2, 3] значения коэффициента трения не могут быть использованы при определении потерь энергии на трение в пневматических молотках, так как они установлены без учета особенностей рабочего процесса этих машин.

Коэффициент трения зависит от величины зазора между ударником и стволом, длины ударника, вида смазки, скорости движения ударника и других факторов. При анализе этих зависимостей рассматривались: трение покоя, обусловленное связями тел при их касании, и трение движения, определяемое сопротивлением при относительном перемещении двух тел.

Сила трения покоя в пневматических молотках определялась электрическими динамометрами на тензодатчиках с непосредственным отсчетом показаний по шкале микроамперметра (рис. 1, а). Для установления силы трения движения производилась запись сигнала динамометра на фотопленку (рис. 1, б), характеристика которого линейна, а чувствительность изменяется в широком диапазоне. Опыты проводились на пневмомолотках с различной степенью износа, с тонким, в несколько микрон, слоем смазки, при этом ствол молотка устанавливали горизонтально.

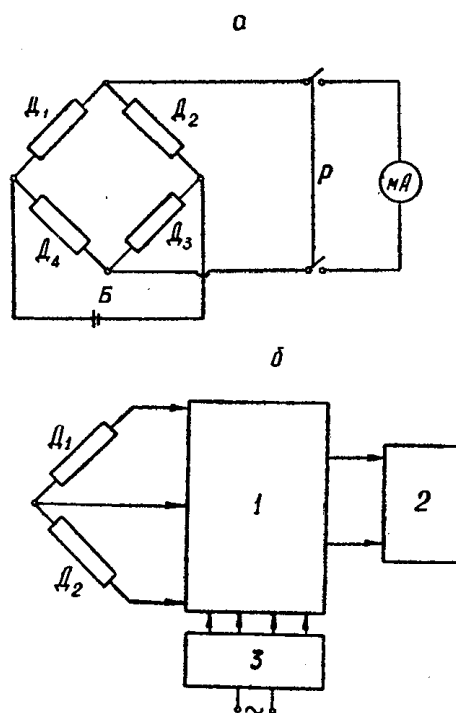


Рис. 1. Динамометры для определения сил трения: а)  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$  — тензодатчики ПБ-20-200А; Б — батарея КБС-Л-0,50; Р — разъем; мА — микроамперметр; б) —  $D_1$ ,  $D_2$  — тензодатчики; 1 — тензоусилитель ПЭТ-ЗВМ; 2 — магнитоэлектрический осциллограф МПО-2; 3 — стабилизатор напряжения СТВ-300

Коэффициент трения покоя определяли в момент трогания ударника. Необходимое число опытов подсчитывали по коэффициенту вариации, величина которого не превышала 20%. Рассмотрим зависимости коэффициента трения покоя от величины зазора между ударником и стволом пневмомолотка, а также от длины ударника и вида смазки.

Зазор между стволом и ударником, зависящий от вида сопряжения и степени износа пары трения (ствол—ударник), в значительной мере влияет на величину коэффициента трения, поскольку величина зазора определяет реальную площадь соприкосновения трущихся пар, которая рассчитывается по формуле Герца (4)

$$c = 1,6 \sqrt{p \frac{D_1 \cdot D_2}{D_1 - D_2} \left[ \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right]},$$

где  $c$  — радиус площади контакта по кругу, мм;  
 $D_1, D_2$  — диаметры трущихся деталей, мм;  
 $p$  — нагрузка на единицу длины цилиндра, кг/мм;  
 $\mu_1, \mu_2$  — коэффициент Пуассона материала деталей;  
 $E_1, E_2$  — модуль упругости, кг/мм<sup>2</sup>.

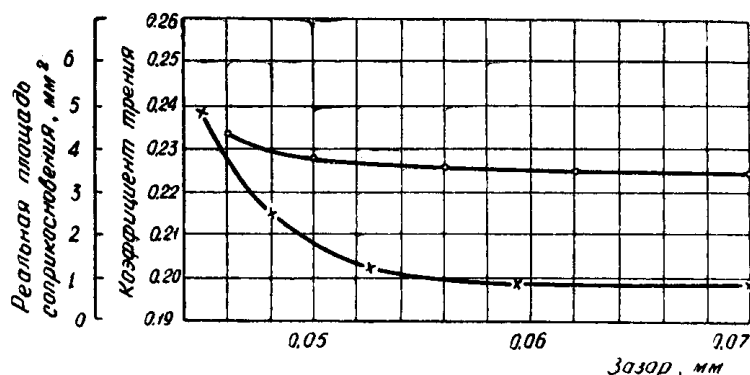


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от величины зазора между стволом и ударником:  $\times-\times-\times$  — величина зазора;  $\circ-\circ-\circ$  — реальная площадь соприкосновения

Зависимость реальной площади контакта от величины зазора для пневмомолотка КЕ-22 с ударниками различных диаметров показана на рис. 2. Как видно из рис. 2, коэффициент трения и реальная площадь соприкосновения обратно пропорциональны величине зазора между ударником и стволом, т. е. с увеличением зазора коэффициент трения уменьшается. Однако увеличение более 0,09 мм нецелесообразно, так как коэффициент трения снижается незначительно, а потери энергии от утечек сжатого воздуха по зазору при этом быстро растут. Выпускающиеся серийно пневматические молотки имеют зазор, который назначается в основном из технологических соображений, так, рубильно-клепальные молотки имеют зазор 0,01—0,075 мм. Для молотка БСЗ-135 по чертежу зазор равен 0,008—0,045 мм. В эксплуатации зазор постоянно меняется. Так, для рубильных молотков после полугодовой работы зазор увеличивается, по нашим замерам, до 0,15—0,19 мм, что значительно снижает их производительность.

Реальная площадь соприкосновения трущейся пары зависит от их длины, следовательно, коэффициент трения определяется и длиной ударника (рис. 3, а). Для уменьшения коэффициента трения целесообразно ударник изготавливать с кольцевыми проточками, что уменьшает длину

трущейся пары и улучшает условия смазки за счет скапливания ее в канавках. При уменьшении длины ударника с целью снижения трения нельзя забывать об энергетических параметрах. Известно, что зависимость ударной мощности молотка от длины ударника не носит монотонного характера, а имеет максимум [5]. Это хорошо видно из рис. 3, б.

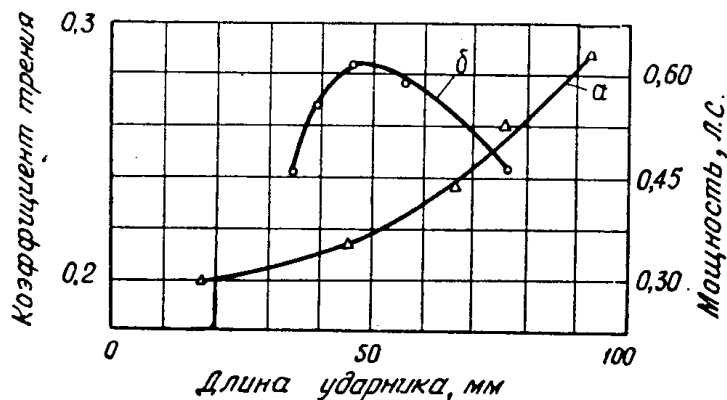


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения от длины ударника:  $\triangle-\triangle-\triangle$  — длина ударника;  $-\circ-\circ-$  — мощность, развиваемая ударником

Вопрос о выборе смазки для пневмомолотков представляет значительный интерес. Нами проводились исследования и в этом направлении. В ствол молотка КЕ-19 вносилась смазка с различной кинематической вязкостью от 5 до 52 сантистоксов. Опытным установлено, что любая смазка увеличивает коэффициент трения по сравнению с трением всухую, так как смазка способствует увеличению молекулярных сил сцепления между стволом и ударником. С увеличением вязкости смазки коэффициент трения увеличивается от 0,26 до 0,35 и затем снова уменьшается до 0,2 (вес ударника 273 г). Значения коэффициента трения покоя для типоразмеров пневмомолотков с различной степенью износа по экспериментальным данным составляют 0,2—0,3.

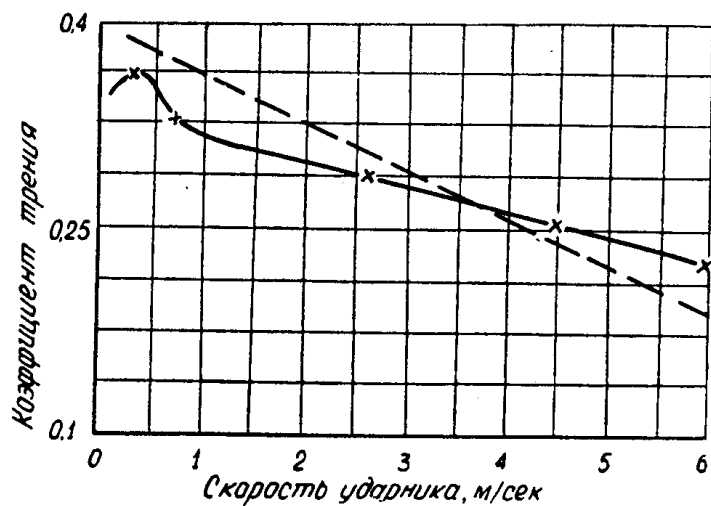


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от скорости движения ударника для молотка БСЗ-135:  $-----$  — расчетная;  $\times-\times$  — экспериментальная

Трение существенно зависит от относительной скорости движения трущихся деталей. Конечная максимальная предупредная скорость движения ударника у большинства типов молотков достигает 9—11 м/сек при давлении воздуха в сети 5 атм. При рабочем ходе ударника она изменяется от 0 до 9—11 м/сек, а при холостом — от 0 до 6—7 м/сек. Характер зависимости коэффициента трения скольжения от скорости может быть самым разнообразным. Он определяется величиной удельной нагрузки, которая в исследуемом случае равна 12 кг/см<sup>2</sup>. Вследствие вязкости контакта усилие, необходимое для разрушения взаимно-внедряющихся элементов, зависит от скорости приложения нагрузки и скорости скольжения. Но одновременно с этим создаются условия для выравнивания поверхностей трущейся пары. Поэтому коэффициент трения с увеличением скорости скольжения переходит через максимум (рис. 4). В пределах скорости от 0,2 до 9 м/сек коэффициент трения изменяется по линейному закону. При этом наклон линейного участка кривой существенно зависит от веса ударника. В результате обработки экспериментальных данных для линейного участка кривой (рис. 4) получена следующая зависимость:

$$K_{\text{тр}} = \frac{0,28 - 0,025V}{\sqrt[4]{Q}},$$

где  $V$  — скорость движения ударника в м/сек,  
 $Q$  — вес ударника (в пределах 0,2—0,8 кг).

Пользуясь этой формулой, можно подсчитать величину  $K_{\text{тр}}$  в зависимости от скорости движения, веса или размеров ударника, а следовательно, потери энергии на трение.

Зная величину сил трения, по коэффициенту трения легко рассчитать механический к. п. д. ударного узла (ствол-ударник), т. е.

$$\eta = \frac{A_3 - A_{\text{тр}}}{A_3},$$

где  $A_3$  — запасенная энергия сжатого воздуха в ударном узле;  
 $A_{\text{тр}}$  — работа сил трения.

### Выводы

1. С увеличением зазора коэффициент трения уменьшается, однако увеличение зазора более 0,09 мм нецелесообразно, так как увеличиваются потери энергии сжатого воздуха за счет его перетекания в другую полость.

2. Для уменьшения коэффициента трения целесообразно на ударнике изготавливать канавки.

3. Приведенная в работе зависимость коэффициента трения от скорости движения ударника и его веса позволяет рассчитать работу, затрачиваемую на преодоление сил трения в динамике.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ф. Горбунов. Исследование рабочего процесса и вибрации пневматических молотков. Докторская диссертация. Томск, 1965.
2. И. А. Бегагоен. Исследование износостойкости и способов повышения долговечности буровых машин. Автореферат докторской диссертации. Днепропетровск, 1966.

3. И. В. Крагельский, И. Л. Виноградова. Коэффициенты трения. Машгиз, 1962.
  4. Машиностроение. Энциклопедический справочник, т. 1, ч. II. Машгиз, 1947.
  5. Г. И. Сидоренков. Рубильные пневматические молотки. Вестник машиностроения, № 11, 1956.
-