

## Литература:

1. Кутенев В.Ф., Яманин А.И., Зленко М.А. Аксиально-поршневые двигатели с переменными степенью сжатия и рабочим объемом. – М.: Изд-во ГНЦ НАМИ, 2000. – 302 с.
2. Яманин А.И. Проблемы создания двигателей с переменными степенью сжатия и рабочим объемом//Двигателестроение. – 1995. – С. 78-80.
3. Тер-Мкртчян Г.Г., Кутенев В.Ф., Яманин А.И. Вопросы теории двигателей с управляемым движением поршней с плоскими преобразующими механизмами. – М.: Изд-во ГНЦ НАМИ, 2004. – 240 с.
4. ГОСТ Р 51616-2000. Автомобильные транспортные средства. Шум внутренних. Допустимые уровни и методы испытаний.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СНИЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ЦПГ МОДИФИКАЦИЕЙ ТРУЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОРШНЯ

Путинцев С.В., Пронин М.Д. (МГТУ им. Н.Э Баумана)

Известно, что примерно от 40 до 60% общих механических потерь поршневого двигателя составляют потери в ЦПГ, которые определяются, главным образом, трением поршня о цилиндр. В течение времени рабочего цикла условия работы поршня при движении в цилиндре характеризуются тремя основными режимами трения: граничным, смешанным и гидродинамическим. Надежные, экспериментально полученные границы действия этих режимов пока не установлены. По имеющимся расчетным данным [1], доля граничного режима трения поршня на номинальном режиме работы двигателя автотракторного типа достигает 7%. Хотя это немного по сравнению с долями смешанного и гидродинамического режимов (43% и 50% соответственно), в отличие от последних, в граничном режиме значение силы трения существенно выше. Поэтому вклад граничного режима в формирование уровня механических потерь может быть соизмерим с вкладом гидродинамического или смешанного режимов.

Указанное обстоятельство требует разработки и реализации принципов минимизации силы граничного трения.

Согласно молекулярно-механической теории граничного трения [2] сила трения в этом режиме обусловлена двумя составляющими – адгезионной  $F_a$  и деформационной  $F_\delta$ :

$$F = F_a + F_\delta.$$

Для раскрытия содержания этих составляющих можно ввести в рассмотрение известное понятие фактической площади контакта (ФПК) твердых тел  $A_\phi$  и допустить существование деформационной канавки площадью  $A_\kappa$ :

$$F_a = \tau A_\phi;$$

$$F_\delta = \sigma A_\kappa,$$

где  $\tau$ ,  $\sigma$  – тангенциальное и нормальное напряжения материала соответственно.

Тогда полная сила граничного трения может быть выражена зависимостью:

$$F = \tau A_\phi + \sigma A_\kappa. \quad (1)$$

В работе [3] теоретически и на экспериментальных примерах было показано, что в большинстве практических приложений из двух слагаемых в формуле (1) более значащим следует считать первое, т.е. произведение тангенциального или сре-

зывающего напряжения материала  $\tau$  на ФПК  $A_\phi$ .

Таким образом, если пренебречь в зависимости (1) деформационным членом, характеризующим редко встречающееся в нормальной эксплуатации двигателя пропахивание дорожки трения на поверхности детали, то для уменьшения силы граничного трения следует стремиться к одновременному снижению значений тангенциального (срезающего) напряжения материала и ФПК трущихся тел:

$$\left. \begin{array}{l} \tau \rightarrow \min; \\ A_\phi \rightarrow \min. \end{array} \right\} \quad (2)$$

Систему (2) можно принять в качестве выражения общего принципа минимизации граничного трения юбки поршня о цилиндр.

Рассмотрим осуществление этого принципа на примере встречающихся на практике случаев сочетания свойств материалов пары, составленной из движущегося тела (поршень) и неподвижного тела-опоры (цилиндр).

Случай 1: Тело из твердого металла движется по телу из мягкого металла (рис.1, а). Металл опорной поверхности мягок, поэтому имеет низкое сопротивление срезу, т.е. малое значение  $\tau$ , но при этом, в силу упомянутой мягкости металла опоры, значение ФПК  $A_\phi$  получается большим. При таких условиях одновременное удовлетворение требованиям системы (2) и, значит, минимизация силы граничного трения, не достигается. Исключением из этого, очевидно, является лишь случай, когда в качестве материала контртела используется пластинчатая, анизотропная структура, способная сопротивляться нормальной нагрузке, но легко подвергающаяся срезу под действием тангенциальных сил. Добиться подобной структуры в металлах весьма затруднительно, т.к. их физические свойства как поликристаллов особой анизотропией не отличаются.

Случай 2: Металлы движущегося тела и опоры твердые (рис.1, б). Для этого случая характерным будет незначительность взаимного проникновения тел при контактировании и, как следствие, малая ФПК. Однако, ввиду того, что оба тела твердые, значение напряжения среза  $\tau$  будет очень велико. Таким образом, условие (2) снова не будет выполнено.

Случай 3: Аналогичен случаю 2 (металлы обоих тел твердые), но контактирование происходит через тонкую подложку (пленку, покрытие) из мягкого металла (рис.1, в). Если добиться, что в этих условиях мягкая подложка остается неповрежденной, ее сопротивление срезу  $\tau$  будет примерно на уровне такового у мягкого металла, т.е. незначительным. В то же время величина  $A_\phi$  также будет невелика, поскольку нагрузку в обоих направлениях по нормали к плоскости контакта в данном случае надежно сдерживает малодеформируемая основа твердого металла. Следовательно, условие (2) может быть выполнено, и сила граничного трения минимизирована.

Реализация случая 3 на практике предполагает поверхностное упрочнение материала юбки поршня (например, методом лазерного переплава) и, при необходимости, зеркала цилиндра (закаливанием) с последующим нанесением на упрочненную зону поверхности одного из тел (предпочтительнее поршня, имеющего меньшую трущуюся поверхность по сравнению с цилиндром) тонкого слоя мягкого антифрикционного покрытия на основе дисульфида молибдена или графита.

Применение указанного принципа предполагает существенное изменение или модификацию антифрикционных свойств трущейся поверхности и осуществляется на этапе и средствами технологического сопровождения в ходе изготовления детали. Выбор того или иного способа модификации (включая упрочнение по-

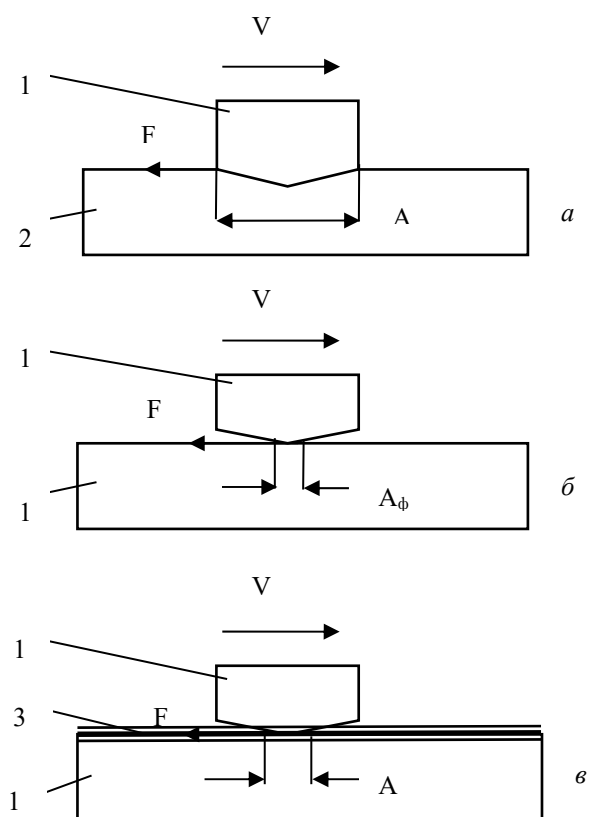


Рис.1. Схемы контактирования поверхностей при граничном трении: 1 – твердый металл; 2 – мягкий металл; 3 – тонкая подложка из мягкого металла; а – движение твердого металла по мягкому; б – движение твердого металла по твердому; в – движение твердого металла по твердому через тонкую мягкую подложку

верхности и нанесение антифрикционного покрытия) в каждом случае может зависеть от особенностей конструкции, преимущественных режимов ее работы, а также физико-химических свойств материалов пары трения. Одним из итоговых показателей качества модификации должна быть надежная адгезия (сцепление) антифрикционного покрытия по отношению к упрочненной поверхности в условиях ударного характера движения поршня и значительных колебаний температуры вдоль его образующей.

#### Литература:

1. Путинцев С.В. Анализ режима трения деталей цилиндра-поршневой группы автомобильного дизеля//Известия вузов. Машиностроение.-1999.-№2-3.-С.65-68.
2. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов/Э.Д. Браун, Н.А. Буше, И.А. Буяновский и др./Под ред. А.В. Чичинадзе.-М.: Центр Наука и техника, 1995.-778с.
3. Трение и граничная смазка: Сб. статей под ред. проф. И.В. Крагельского.-М.: Изд-во Иностранной литературы, 1953.-288с.

### РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ МАСЛОИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СУДОВЫХ ТРОНКОВЫХ ДИЗЕЛЯХ ПРИ ИХ РАБОТЕ НА ТОПЛИВАХ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

Кича Г.П., Перминов Б.Н., Гаук А.А., Коломеец Ю.М.

(Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток)