

УДК 621.43

А.Н. Григорьев, Д.А. Черепанов (асп., каф. ДВС),
А.Ю. Шабанов, к.т.н., доц.

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИН ПУТЕЙ ТРЕНИЯ В ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СОПРЯЖЕНИЯХ ДВС

Для определения величин износа ΔH поверхностей трения при известных значениях их линейных интенсивностей изнашивания $I_H = \Delta H / L_{тр}$, необходим расчет длин путей трения этих поверхностей $L_{тр}$. Рассмотрение проблем определения величин $L_{тр}$ осуществим для основных по уровню потерь на трение и ресурсопределяющих трибосопряжений двигателя внутреннего сгорания (ДВС): «поршневые кольца – гильзы цилиндров» и «шейки – подшипники коленчатого вала (КВ)».

Поршневые кольца по длине гильзы цилиндра работают в двух режимах: гидродинамического и полусухого (граничного) трения. Режим гидродинамического трения осуществляется в средней части гильзы, где скорости движения поршня высоки, и под кольцами существует масляная пленка достаточной толщины. При этом коэффициент трения достаточно мал, а износ колец и гильзы при отсутствии в масле абразивных примесей практически отсутствует, им можно пренебречь. Режим полусухого трения осуществляется в зонах близких к верхней и нижней мертвым точкам (ВМТ и НМТ), когда скорость движения колец относительно гильзы мала, и масляная пленка разрушается (подъемная сила становится меньше силы действующей со стороны поршневого кольца). В наиболее плохих условиях работает первое компрессионное поршневое кольцо, так как масляная пленка может быть слишком тонкой по причине недостатка самого масла. На толщину масляной пленки под кольцами кроме скорости движения влияют такие параметры, как вязкость масла, которая зависит от температуры масла в зазоре и типа используемого масла; силы, действующие со стороны всех поршневых колец; взаимное влияние поршневых колец и тронка поршня; профили поршневых колец. Для определения этих параметров необходимы: гидродинамический расчет поршневых колец, расчет температурных деформаций поршня и температуры в зоне колец, анализ влияния радиального давления маслосъемного кольца и профилей рабочих поверхностей колец на мощность трения комплекта колец и длину зон граничного трения, а также их расположения по углу поворота коленчатого вала (ПКВ). Для установившегося режима износа и режима работы двигателя длину пути трения для кольца можно оценить по формуле:

$$L_{тр} = 2 \cdot S \cdot n_d \cdot \tau_d \cdot 60 \cdot \xi,$$

где S – ход поршня, м; n_d – скорость вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1} ; τ_d – время работы двигателя на данном режиме, час; ξ – доля полусухого трения.

Для расчета среднего максимального износа гильзы можно использовать данные статистики по относительному износу первого поршневого кольца и гильзы, поскольку понятие пути трения для гильзы не определяемо однозначно. Износ гильзы составляет величину в (1,5...3) раза меньшую, чем износ первого кольца, в зависимости от сочетаний материалов.

Сопряжения «шейки – подшипники КВ» работают в условиях граничного трения на режимах пуска и остановки двигателя, малых оборотов вала, критических нагрузок; на этапах приработки узлов двигателя и критического износа. При работе на основных расчетных режимах двигателя в подшипниковых узлах реализуется гидродинамический вид трения, износ отсутствует. Согласно статистическим данным, коренные подшипники работают в более

благоприятных условиях, чем шатунные, испытывающие действие максимальных циклических нагрузок от соответствующего им поршня. Толщина масляной пленки в подшипниках также зависит от параметров и типа масла, скорости вращения КВ, геометрических параметров сопряжения и динамических характеристик двигателя. Расчет толщины масляной пленки позволяет определить долю граничного трения за период работы двигателя (один оборот КВ или цикл). В отличие от сопряжения «кольцо-гильза» в подшипниковых опорах зона контакта не постоянна и зависит, главным образом, от величины приложенной нагрузки. Длина дуги контакта (угол контакта) определяется из расчета напряженного состояния сопряжения. Для шеек или подшипников КВ длина пути трения может быть оценена для установившегося режима изнашивания и работы двигателя по следующей формуле:

$$L_{TP} = n_{\phi} \cdot \tau_{\phi} \cdot 60 \cdot \varphi_0 \cdot d \cdot \xi ,$$

где φ_0 – угол контакта на данном режиме работы двигателя, рад; d – диаметр шейки (или внутренний диаметр подшипника), м.

Для того чтобы определить износы в описанных парах трения при различной эксплуатации ДВС, необходимо рассмотреть различные нагрузочные и скоростные режимы работы двигателя и сопоставить со статистикой его работы, а также режимы холостого хода и пуска-остановки двигателя. Износы при пуске двигателя составляют существенную долю в суммарном износе, но они трудно оцениваемы. Это связано с различной вязкостью масла в холодном двигателе в зависимости от температуры, от того, какое количество масла задержалось на стенках гильз цилиндров и вкладышах подшипников и многих других параметров, например таких, как скорость прокачки масла насосом.

Таким образом, для точного расчета путей трения рассмотренных сопряжений необходимо знание периодов времени работы узлов на рабочих режимах двигателя, доли их работы в условиях граничного трения на каждом рабочем режиме и знание контактных параметров при этих условиях.