

УДК 629.113.004.5

DOI 10.52167/1609-1817-2022-122-3-51-57

А.Е.Тойлыбаев¹, А.Т.Туленов², Б.Ж.Шойбеков², С.С.Пернебеков², У.А.Усипбаев²

¹Академия логистики и транспорта, Алматы, Казахстан

²Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан

Email: baur_proff@mail.ru

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА АКТИВНЫХ АБРАЗИВНЫХ ЧАСТИЦ, НАХОДЯЩИХСЯ В ЗАЗОРЕ СОПРЯЖЕНИЯ

Аннотация. Абразивный износ является результатом режущих или царапающих действий твердых веществ между трущимися поверхностями. Такие вещества попадают на трущиеся поверхности или смазочные материалы извне в виде пыли или песка, что повышает их износ. В некоторых механизмах, например в кривошипно-шатунном механизме двигателей, абразивом являются сами продукты износа отделяемые от поверхностей трения. Твердость указанных веществ больше, чем поверхностей трения, разрушая смазочный слой, образуя царапины и задиры на трущихся поверхностях различной глубины и размеров. Ресурс машин главным образом определяется их износом. В силу этого одной из основных задач исследования является разработка теоретических основ анализа процесса изнашивания, а также расчетно-аналитических методов, с применением которых можно прогнозировать износостойкость конструктивных элементов еще на этапе проектирования и изготовления машин. В данной работе предлагается расчетный метод прогнозирования абразивного изнашивания деталей на этапах проектирования и изготовления.

Ключевые слова. Абразивные частицы, смазочная среда, концентрация абразивных частиц, изнашивание, количество абразивных частиц.

Введение.

Задача повышения износостойкости деталей, лимитирующих надежность автотранспортных двигателей, относится к числу инженерных вопросов, не теряющих свою актуальность и по сей день. Современное развитие двигателестроения характеризуется увеличением их мощности при снижении массы и габаритных размеров, улучшается качество материалов конструктивных элементов и материалов. Несмотря на развитие двигателестроения, проблемы износостойкости их конструктивных элементов до сих пор еще не решены и требуют дальнейшего исследования.

Исследования показали, что изнашивание поверхностей в цилиндре двигателя, работающего в условиях нарушения сплошности слоя смазки, происходит, в основном за счет микроконтактного схватывания и абразивного воздействия продуктов износа. Данный процесс протекает в нормальных условиях в установившемся режиме разрушения защитных пленок и непрерывного их восстановления на вершинах образовавшихся гребней микронеровностей. Об этом удостоверяет наличие на трущихся рабочих поверхностях гильзы и поршневых колец характерных повреждений в виде царапин и очень мелких заусенцев. Продукты износа, обладающие значительную твердость, нежели поверхность трения, разрушают прослойку смазочного масла, пластически деформируют трущиеся поверхности, создавая на них разной глубины и ширины задиры, а также зоны выкрашивания. Абразивное изнашивание считается преобладающим для рабочих поверхностей гильз цилиндров, поршневых колец, поршней, вкладышей коленчатого вала.

Материалы и методы.

Металлографический анализ и исследования трущихся поверхностей подтверждают, что процесс износа вплотную связан с изменением свойств поверхностного слоя, вызванным пластической деформацией и воздействием внешней среды в цилиндре двигателя. Степень пластической деформации поверхностных слоев по длине зеркала рабочего цилиндра и поршневых колец, работающих в разных зонах, также обусловлен от величины сил сцепления за счет свойств сопрягаемых материалов, качества разделительных пленок и условиями процесса изнашивания.

Пластическая деформация увеличивает твердость и в значительной степени активизирует поверхностные слои для принятия процессов диффузии и окисления, а также оказывает содействие адсорбции поверхностно-активных веществ. Таким образом, появляются поверхностные пленки, препятствующие образованию металлических связей между трущимися поверхностями. Повторная пластическая деформация, возникающая в объемах тонкого слоя на поверхностях трения цилиндров, заканчивается появлением микротрещин.

Результаты.

Обычно расход масла для конкретных узлов трения известен. Зная среднюю концентрацию абразивных частиц в смазочной среде можно определить массу абразивных частиц, проходящих через зазор в единицах времени:

$$G = \frac{\varepsilon_{\text{ср}}}{100} Q \cdot \gamma_{\text{н}}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{\text{ср}}$ - средняя концентрация абразивных частиц, %.

Объем соответствующий этой массе, равен

$$V_{\text{а}} = \frac{G_{\text{а}}}{\gamma_{\text{а}}} = \frac{\varepsilon_{\text{ср}} \cdot Q \cdot \gamma_{\text{н}}}{\gamma_{\text{а}}} \cdot 10^{-2}.$$

Объем одной абразивной частицы округлой формы равен (при $\rho = 0$):

$$V_i = \frac{1}{6} \pi \cdot d_{\text{ср}}^3, \quad (2)$$

а овальной формы –

$$V_i = \frac{4\pi R^3}{3} + \frac{\pi \rho^3}{3R^3} \cdot (R^3 + R\rho + \rho^2) \cdot (3R^2 + 2\rho^2 - 4R\rho) \quad (\text{при } \rho \neq 0), \quad (3)$$

где R, ρ – радиусы абразива.

Тогда общее число частиц, проходящих через зазор за один час работы узла трения и участвующих в износе, составит

$$n' = \frac{k_1 k_2 V_{\text{а}}}{V_i} = \varepsilon_{\text{ср}} \cdot Q \frac{\gamma_{\text{н}}}{\pi \gamma_{\text{а}}} \quad (\text{при } \rho = 0), \quad (4)$$

$$n' = \frac{k_1 k_2 V_{\text{а}}}{V_i} = \frac{3 k_1 k_2 \varepsilon_{\text{ср}} Q \gamma_{\text{н}} R^3 \cdot 10^{26}}{4\pi \gamma_{\text{а}} R^6 + \pi \gamma_{\text{а}} \rho^2 (R^2 + R\rho + \rho^2) (3R^2 - 2\rho^2 - 4R\rho)} \quad (\text{при } \rho \neq 0),$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий количество частиц, соизмеримых с величиной зазора в сопряжении;

k_2 -коэффициент, учитывающий содержание в смазочном масле кварцевых и других частиц, которые имеют большую твердость по сравнению с материалами поверхностей трения.

Теперь определим средний диаметр абразивных частиц. Как было установлено, проникающие в зазор абразивные частицы, вступая в сильное взаимодействия с поверхностями трения, не только изнашивают их, но и сами подвергаются дроблению. При этом дисперсный состав продуктов измельчения подчиняется логарифмически нормальному распределению независимо от способа дробления [1].

При фиксированном зазоре, определив значения шероховатости поверхности, можно вычислить максимальный размер абразивной частицы, вступающей в силовое взаимодействие с поверхностями трения.

Согласно рисунка 1:

$$d_{amax} = \Delta + (R_{a1} + R_{a2}), \quad (5)$$

где Δ -величина зазора, мкм, R_{a1}, R_{a2} - среднеарифметические отклонения профиля поверхности по ГОСТу, мкм. Этот размер необходимо сравнить с тонкостью отсева фильтра системы смазки. Минимальный размер абразивной частицы, вступающей в силовое взаимодействие с поверхностью трения, определяется по формуле:

$$d_{amin} = \Delta - (R_{a1} + R_{a2}). \quad (6)$$

При свободном зазоре за d_{amax} и d_{amin} принимаются максимальные и минимальные значения зазора соответственно.

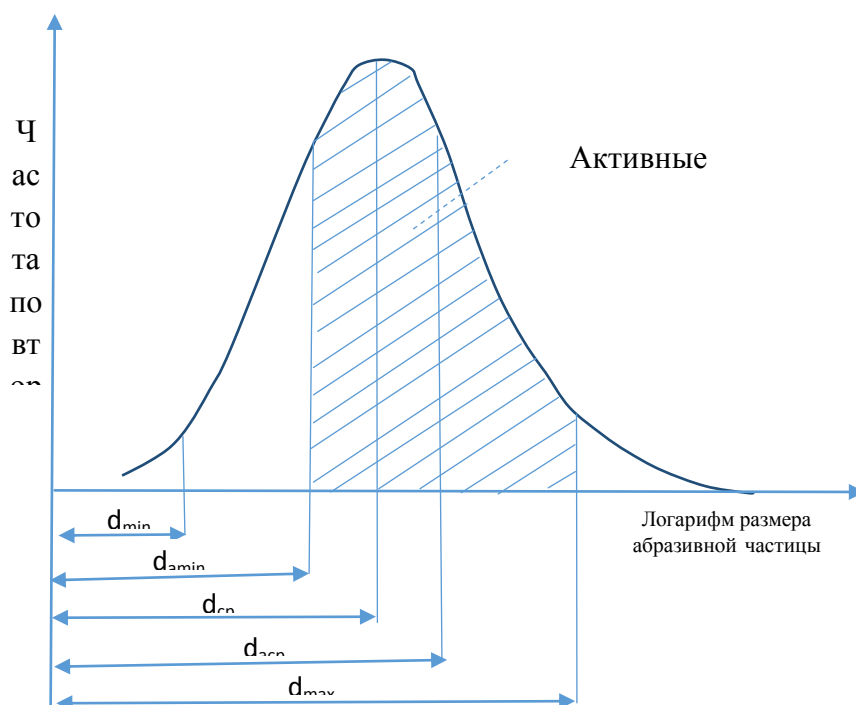


Рисунок 1 - Распределение размеров абразивных частиц и зазора сопряжений

Согласно закону распределения размеров частиц $x = \ln d$ и x в интервале $[x_{min} \leq x \leq x_{max}]$ распределен нормально. Тогда коэффициент k_1 , учитывающий количество соизмеримых с величиной зазора частиц в сопряжении, определяется как отношение площади заштрихованного участка к общей площади кривой распределения (см. рисунок 1):

$$k_1 = \frac{\int_{\ln d_{amin}}^{\ln d_{amax}} F(x) d(x)}{\int_{\ln d_{min}}^{\ln d_{max}} F(x) d(x)}, \quad (7)$$

где $F(x)$ -функция логарифмически нормального распределения.

Минимальный размер абразивных частиц, участвующих в изнашивании, может быть равен 1 мкм. Как показывают результаты исследований [2], абразивные частицы размером менее 1 мкм практически не участвуют в процессе изнашивания.

Логарифм среднего диаметра активных абразивных частиц определяем по формуле

$$\ln d_{cp} = \frac{\ln d_{amax} + \ln d_{amin}}{2}$$

или после преобразования

$$d_{cp} = \sqrt{d_{amin} d_{amax}}. \quad (8)$$

Для оценки механизма воздействия и определения давлений и площадей контакта частиц с поверхностью трения необходимо знать количество частиц, одновременно находящихся в зазоре. Если известны геометрические размеры пары трения и скорость ее относительного перемещения, то можно рассчитать количество абразивных частиц, одновременно находящихся в контакте.

Время прохождения одной частицы через зазор равно (с):

$$t = l / V_a, \quad (9)$$

где l -длина трущейся поверхности, м;

V_a -скорость абразивной частицы в потоке масла относительно неподвижной поверхности трения, м/с.

Количество абразивных частиц, одновременно находящихся в зазоре сопряжения равно:

$$n = \frac{n' t}{3600} = \frac{\varepsilon_{cp} Q \gamma_H l k_1 k_2 \cdot 6 \cdot 10^{16}}{d_{cp}^3 V_a \gamma_a \pi}. \quad (10)$$

Обсуждение.

Абразивное изнашивание, весьма сложный процесс из-за влияния на него многих различных факторов, главными из которых считаются:

- механические свойства конструктивных элементов и абразивных частиц;
- нормальная нагрузка;
- геометрические размеры, форма и концентрация абразивных частиц;

-качество смазки, температура и скорость перемещения трущихся поверхностей;
-качество трущихся поверхностей и др.

Уместно отметить, что зона жаркого климата Казахстана, где эксплуатируется подвижной состав автомобильного транспорта, характеризуется высокой температурой воздуха, низкой относительной влажностью, большой плотностью солнечной радиации, наличием сильных ветров и пыльных буранов (таблица 1) [3].

В сухие летние месяцы на дорогах, не имеющих твердого покрытия, в периоды безветрия содержание пыли достигает 1,5-2 г/м³ при движении автомобилей с малыми интервалами между ними.

В районах солончаков в дорожной пыли содержится существенное количество солей, что приводит кроме абразивного изнашивания и к условной коррозии деталей.

Таблица 1 - Основные климатические параметры регионов Республики Казахстан

Населенные пункты	Температура наружного воздуха, °С		Средняя скорость движения воздуха самого жаркого месяца	Продолжительность периода с температурой меньше 0°С, сут.	Средняя месячная относительная влажность воздуха самого жаркого месяца, %
	Абсолютная	Средняя самого жаркого месяца			
Алматы	42	30,8	2,2	113	35
Актобе	42	29,3	3,9	157	35
Ак-Кудук	47	35,7	3,1	-	-
Бетпак Дала	46	33,4	4,5	-	-
Атырау	45	31,5	4,8	129	33
Тараз	44	29,9	2,8	105	30
Кызылкум	46	36,8	4,4	-	-
Кызылорда	46	33,4	4,0	121	23
Туркестан	46	36,2	4,4	67	17
Аркалык	43	30,8	4,5	154	32
Уральск	42	29,7	4,0	152	37
Шымкент	46	34,1	3,5	91	21
Шардара	47	37,4	3,0	-	17

Важным для настоящего времени является дальнейшая разработка аналитических методов расчета по износу деталей цилиндрико-поршневой группы детали двигателя, а

также статических методов расчета, дающих возможность прогнозирования сроков службы до обусловленной величины износа.

Заключение.

Таким образом, зависимость (10) позволяет рассчитывать количество абразивных частиц, находящихся в зазоре сопряжения и взаимодействующих с поверхностями трения, при заданной их концентрации в масле. Предлагаемой методикой расчета абразивного изнашивания можно определить ресурс машины на этапе проектирования, что способствует избежать долгосрочных и дорогих испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Григорьев М.А., Пономарев Н.Н., Бабкин Г.А. Расчет абразивного износа деталей двигателя в зависимости от параметров системы смазки. Автомобильная промышленность, 1980, №2, с.6-8.

[2] Туленов А.Т. Закономерности загрязнения моторного масла в двигателе внутреннего сгорания. Материалы IX Международной научно-практической конференции, София «Бял ГРАД-БГ», 2013. Том 35, с.73-76.

[3] Туленов А.Т. Организация подконтрольной эксплуатации автомобилей-самосвалов КамАЗ в дорожном строительстве КазССР. Сборник научных трудов «Повышение эффективности и качества эксплуатации парков дорожно-строительных машин». -М.:МАДИ, 1985. С.27-30.

Асылбек Тойлыбаев, т.ғ.к., профессор, Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан, asylbek.toulybaev@mail.ru

Айдарәлі Төленов, т.ғ.к., профессор, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, tulenov-2011@mail.ru

Бауыржан Шойбеков, т.ғ.к., доцент, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, baur_proff@mail.ru

Сакен Пернебеков, т.ғ.к., профессор, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, saken_uko@mail.ru

Үсен Үсіпбаев, т.ғ.к., профессор, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, 87758501799@mail.ru

ТҮЙІНДЕСКЕН БӨЛШЕКТЕР САҢЫЛАУЫНДАҒЫ БЕЛСЕНДІ АБРАЗИВТІ БӨЛШЕКТЕРДІҢ МӨЛШЕРІН АНЫҚТАУ

Андатпа. Абразивтік тозу үйкелісетін жұмыстық беттер арасындағы қатты заттардың кесуші әрекеттерінің нәтижесі болып табылады. Осындай заттар үйкелісетін беттерге немесе майлау материалдарына сырттан шаң немесе құм түрінде түсіп, беттердің желінуін жоғарылатады. Бірсыпыра тетіктерде, мысалы, қозғалтқыштың иінді-бұлғақты механизмінде үйкелісетін жұмыстық беттерден бөлінген тозық өнімдерінің өзі кесуші зат болып табылады. Осы түйіршіктердің қаттылығы үйкелісу беттеріне қарағанда жоғары болса, майлау материалының қабатын бұзып, үйкелісетін беттерде сызаттар, әртүрлі тереңдіктегі және ұзындықтағы кесіктерді жасайды. Машиналардың қызмет ету мерзімі көбінесе олардың тозуымен анықталады. Сондықтан зерттеушілердің басты міндеттерінің бірі - машиналарды жобалау және жасау сатысында бөлшектердің тозуға төзімділігін болжауға мүмкіндік беретін тозуды есептеудің теориялық негіздерін, сондай-ақ аналитикалық әдістерін жасау болып табылады. Ғылыми мақалада бөлшектерді

конструкциялау және дайындау кезеңдерінде абразивті тозуға болжам жасаудың есептеу жолы ұсынылады.

Түйінді сөздер. Абразивті бөлшектер, майлау ортасы, абразивті бөлшектердің концентрациясы, тозу, абразивті бөлшектердің мөлшері.

Aidarali Tulenov, candidate of technical sciences, professor, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, tulenov-2011@mail.ru

Asylbek Toylybaev, candidate of technical sciences, professor, Academy of Logistics and Transport, Almaty, Kazakhstan, asylbek.toylybaev@mail.ru

Baurzhan Shoibekov, candidate of technical sciences, docent, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, baur_proff@mail.ru

Saken Pernebekov, candidate of technical sciences, professor, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, saken_uko@mail.ru

Ussen Ussipbayev, candidate of technical sciences, professor, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, 87758501799@mail.ru

CALCULATION OF THE NUMBER OF ACTIVE ABRASIVE PARTICLES IN THE INTERFACE GAP

Abstract. Abrasive wear is the result of cutting or scratching of solids between rubbing surfaces. Such substances enter the rubbing surfaces or lubricants from the outside in the form of dust or sand, which increases their wear. In some mechanisms, e.g. crankshafts in engines, the abrasive matter is the wear product itself, which is separated from the rubbing surface. These objects are harder than the friction surfaces, destroying the lubricant layer and creating scratches on one or both rubbing surfaces, scoring of varying depths and lengths. The service life of machines is to a large extent determined by their wear. Therefore one of the main tasks of researchers is to develop a theoretical basis for the calculation of wear, as well as analytical methods with which to predict the wear resistance of parts already at the stage of design and manufacture of machinery. The scientific paper proposes calculation methods of forecasting abrasive wear at the stages of designing and manufacturing of parts.

Keywords. Abrasive particles, lubricating medium, concentration of abrasive particles, wear, number of abrasive particles.
