

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА ТРИБОСОПРЯЖЕНИЯ «ПОРШЕНЬ–ЦИЛИНДР»

А.А. Дойкин

В настоящее время в целях повышения маслосъемности сопряжения «поршень–цилиндр» применяется хонингование гильзы цилиндра. При хонинговании на гильзе цилиндра образуется сетка рисок, в результате чего, как принято считать, смазка надежно удерживается на трущихся поверхностях деталей, быстрее происходит их приработка, уменьшается износ деталей и увеличивается срок службы двигателя до следующего капитального ремонта.

Несмотря на тот факт, что в процессе эксплуатации двигателя в сопряжении «поршень–цилиндр» устанавливается гидродинамический режим трения, на поверхности гильзы и поршня образуются натирсы, в виде четких параллельных полос в направлении трения. При рассмотрении их в микроскоп видно, что они представляют собой канавки. Поверхность этих канавок имеет ровную мелкозернистую структуру, отсутствуют следы резания, задиров, растрескивания, пластических деформаций. Целью данной работы было выяснить причину их появления, а также определить линейную интегральную интенсивность изнашивания материалов пары трения «поршень–цилиндр» для смазывания различными маслами.

Эксперименты проводились на машине трения СМЦ-2. Схема узла трения представлена на рис. 1. Диск 1, изготовленный из материала гильзы (легированный чугун), диаметром 90 мм и шириной 20 мм установлен на нижний вал машины трения. Колодка 2 изготовлена из материала поршня (алюминиевый сплав АК-4) и имеет размер рабочей поверхности 5×10 мм. Нагрузка на колодку задается с помощью рычага (на схеме не показан) и устройства нагружения машины трения. Масло подается в зону трения с помощью капельницы, которая настраивается на расход 1 капля за 4...5 секунд. С целью определения факта металлического контакта поверхностей измерялось падение напряжения постоянного тока на контакте «диск – колодка». Момент трения измерялся датчиком момента машины трения и регистрировался на ленту самописца ПСР.

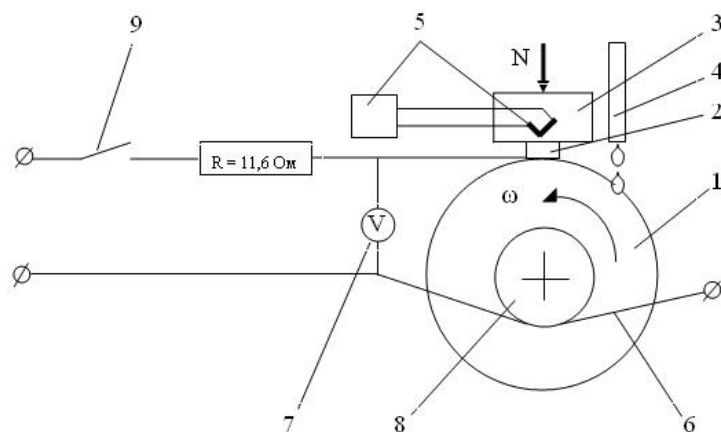


Рис. 1. Схема экспериментального узла трения: 1 – стальной диск, 2 – колодка, 3 – державка, 4 – капельница масла, 5 – термопара, 6 – струна токосъёмника, 7 – вольтметр, 8 – токосъёмник, 9 – выключатель

Путь трения рассчитывался по известному числу оборотов. Исходя из предшествующего опыта [1], путь трения необходимый для достижения износа колодки достаточного для измерения на имеющемся оборудовании составляет 200 000 оборотов диска (56 000 м) и был одинаков для всех экспериментов. Угловая скорость вращения диска поддерживалась равной $104,6 \text{ с}^{-1}$, что соответствует максимальной линейной скорости поршня 4,71 м/с. Нагрузка сдвигания колодки и диска подбиралась таким образом, чтобы обеспечить постоянное номинальное давление 4,6 МПа, соответствующее максимальным давлениям в сопряжении. Температура колодки поддерживалась на уровне рабочей температуры сопряжения равной $140 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ с помощью вентилятора и инфракрасного нагревателя.

Профилограммы поверхностей образцов снимались с помощью профилографа-профилометра АБРИС ПМ-7 в девяти точках по окружности диска и в одной точке колодки, в виду малости ее размеров. Параметры шероховатости гильзы и диска рассчитывались по известным методикам. Начальная шероховатость диска задавалась исходя из профилограммы, снятой с реальной гильзы цилиндра двигателя типа ЧН 13/15. Шероховатость наносилась, так же как и на гильзу, т. е. в перекрестных направлениях под углом $30\text{--}60^\circ$. Значение параметров шероховатости гильзы и диска до эксперимента (средние арифметические по трем экспериментам) приведены в табл. 1. Можно утверждать, что они качественно похожи. Колодка притиралась к диску через шлифовальную шкурку М40 толщиной 0,15...0,16 мм.

Таблица 1

Параметры шероховатости

Параметр	Образец	
	Гильза	Диск
Среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм	1,37	1,16
Высота неровностей по десяти точкам R_z , мкм	9,75	7,12
Наибольшая высота профиля R_{max} , мкм	10,50	9,79
Среднее арифметическое значение шага микронеровностей S_m , мкм	101,52	86,83

Через каждые две тысячи оборотов диска фиксировалась температура колодки, момент трения и падение напряжения на масляном слое между колодкой и диском. После испытаний, полученные данные обрабатывались, и определялся коэффициент трения и его среднеинтегральное значение f .

Масса колодки измерялась с точностью $5 \cdot 10^{-5}$ грамма до и после проведения эксперимента. Линейная интегральная интенсивность изнашивания рассчитывалась по формуле:

$$I_h = \frac{\Delta m}{\rho \cdot A_a \cdot L}, \quad (1)$$

где $\Delta m = m_1 - m_2$ – изменение массы колодки в результате износа; ρ – плотность алюминиевого сплава АК-4; A_a – номинальная площадь контакта; L – путь трения.

Для испытаний были выбраны три марки моторных масел из основных групп для дизельных двигателей тракторов и дорожно-строительной техники [2]. Для того чтобы изучить влияние начальной обработки на параметры шероховатости были проведены эксперименты под номерами 1 и 2 на моторном масле М-10ДМ. Для изучения влияния свойств смазочного материала на параметры шероховатости были проведены эксперименты под номерами 3 и 4 на моторных маслах Shell Rimula R3 и Mobil Delvac ХНР. В экспериментах № 1, 2 и 3 шероховатость поверхности диска наносилась, описанным выше образом, в эксперименте № 2 поверхность диска полировалась. Результаты экспериментов приведены в табл. 2. Снятые после экспериментов профилограммы диска и колодки были приведены к одному масштабу и наложены друг на друга (рис. 2).

Таблица 2

Результаты экспериментов

№ эксп.	Марка масла	I_h	f	R_a , мкм	R_z , мкм	R_{max} , мкм	S_m , мкм
1	М-10ДМ	$2,248 \cdot 10^{-10}$	0,071	1,29 ¹⁾	6,67	9,68	125,77
				2,58 ²⁾	17,04	21,28	78,52
2	М-10ДМ	$0,409 \cdot 10^{-10}$	0,136	0,22	2,16	4,10	39,44
				2,91	19,36	25,46	83,92
3	Shell Rimula R3X	$1,363 \cdot 10^{-10}$	0,108	0,93	6,69	9,09	65,46
				3,67	17,84	24,75	168,47
4	Mobil Delvac ХНР	$3,788 \cdot 10^{-10}$	0,116	1,27	8,00	10,60	69,25
				2,61	17,55	25,25	86,48

¹⁾ – значение параметра до эксперимента; ²⁾ – значение параметра после эксперимента

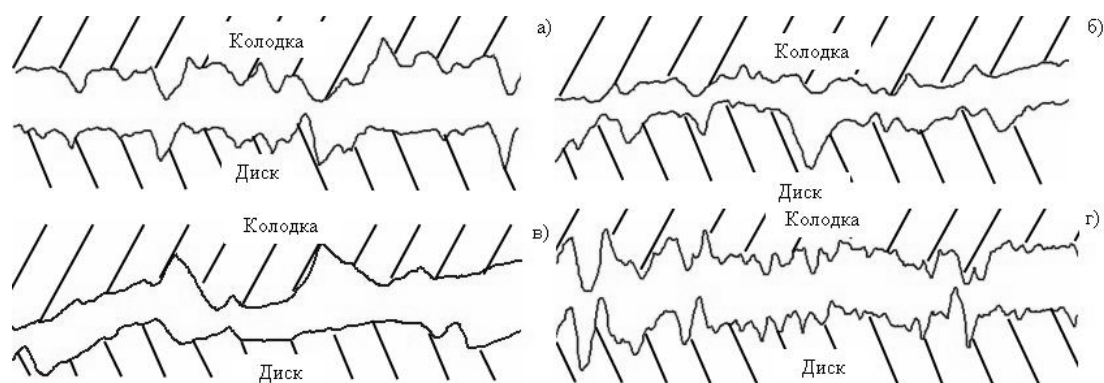


Рис. 2. Наложение профилограмм диска и колодки после эксперимента:
а) № 1; б) № 2; в) № 3; г) № 4

Как видно из рис. 2, независимо от начальной шероховатости, приработанные поверхности диска и колодки комплементарны, т. е. напротив выступа диска находится впадина колодки, напротив впадины – выступ. Для объяснения этого явления предложена следующая гипотеза. При движении выступа вблизи противоположной поверхности, жидкость растекается в стороны, в результате вблизи этого выступа резко ускоряются массообменные процессы между пленкой масла и другой поверхностью. Так как масло имеет вязкость, данное возмущение распространяется на небольшое расстояние и быстро затухает. Наибольшая скорость перемещения жидкости развивается вблизи выступа, что обеспечивает повышение скорости окислительного процесса. Это приводит к появлению впадин на противоположной поверхности.

В результате проведенной работы обнаружено появление равновесной шероховатости с определенными параметрами R_a , R_z , R_{max} , S_m независимо от исходной шероховатости, но различающимися для разных масел. Во всех опытах отсутствовал металлический контакт между колодкой и диском. Наиболее вероятной причиной появления поперечной шероховатости диска и колодки являются окислительные и кавитационные явления в масляной пленке. Этим объясняется различие в параметрах шероховатости для масел, обладающих разными окислительными и реологическими свойствами, обусловленными, в частности, вводимыми в них присадками.

Представленная работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы и Российского фонда фундаментальных исследований (проект 10-08-00424).

Библиографический список

1. Лазарев, В.Е. Интенсивность изнашивания антифрикционного слоя подшипников ДВС в условиях граничного трения / В.Е. Лазарев, Н.А. Усольцев // Тяжелое машиностроение. – 2010. – № 9. – С 18–22.
2. Рождественский, Ю.В. Влияние вязкостно-температурных свойств моторных масел на гидромеханические характеристики трибосопряжения поршень–цилиндр / Ю.В. Рождественский, К.В. Гаврилов, А.А. Дойкин, И.В. Мухортов // Двигателестроение. – 2010. – № 2. – С. 23–26.