

## ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ШЕЕК КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Гоц А.Н.

*ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ), Владимир, Россия (600000, г. Владимир, ул. Горького, 87), e-mail: [hotz@mail.ru](mailto:hotz@mail.ru)*

---

**Рассмотрены технологические мероприятия по повышению надежности подшипников скольжения и коленчатых валов поршневых двигателей. Приводятся результаты сравнительных стендовых испытаний на износостойкость коленчатых валов дизелей 4ЧН 11/12,5 серийных и с плазменным напылением шеек. Напыление производилось смесью порошка ПН85Ю15 (70 %) и ПН55Т45 (30 %) на серийной установке УП-3Д. За 140 ч испытаний износ шеек коленчатых валов с плазменным напылением в 2...2,5 ниже, чем у серийных.**

---

Ключевые слова: вкладыши подшипников; коленчатый вал, шейки, плазменное напыление, износ.

## INCREASES OF WEAR RESISTANCE NECKS OF CRANKSHAFT

Gots A.N.

*Vladimir state university of a name of Alexander Grigorjevicha and Nikolay Grigorjevicha Stoletovyh « (VLSU), Vladimir, Russia (600000. Vladimir, street Gorkogo, 87), e-mail: [hotz@mail.ru](mailto:hotz@mail.ru)*

Technological actions on increase of reliability of bearings of sliding and cranked shaft of piston engines are considered. Results are given of comparative rig tests for wear resistance of engine 4ChN 11/12,5 crankshafts of the series production by the plasma coating. The coating by the mixture of powders PN85Yu (70 %) and PN55T45 (30 %) was carried out on the series installation UP-3D. For 140 hours of tests the wear resistance necks of crankshafts with the plasma coating showed to be 2 to 2,5 times less than of the series production necks of crankshafts.

Key words: shell of bearing, crankshaft, necks, plasma coating, deterioration.

Одна из основных тенденций современного развития автомобильных и тракторных двигателей – повышение их мощности и экономичности. Как показывают данные статистического анализа показателей выпускаемых отечественными и зарубежными фирмами бензиновых двигателей и дизелей, мощность силовых установок возрастает в зависимости от их назначения в среднем на 60...80 % каждые 10 лет [1]. При этом все большее внимание уделяется снижению выбросов вредных веществ с отработавшими газами и расходов, связанных с эксплуатацией двигателя, а также повышению надежности двигателя. Повышение надежности силовых установок является одним из наиболее экономичных способов повышения энергонасыщенности в агропромышленном комплексе и транспорте по сравнению с простым увеличением числа вновь выпускаемых машин. В связи с этим проблема повышения надежности двигателей в эксплуатации привлекает к себе особое внимание, так как техническое состояние узлов и агрегатов двигателя непосредственно определяет его функциональные показатели, работоспособность и топливную экономичность. При форсировании двигателя растут нагрузки на детали и величины давлений сопрягаемых поверхностей, интенсифицируются процессы изнашивания и старения деталей, что ведет, в свою очередь, к снижению уровня надежности изделий.

С целью определения закономерностей возникновения отказов подшипников скольжения в условиях рядовой эксплуатации был произведен статистический анализ состояния поверх-

ностей трения вкладышей, демонтированных с двадцати двигателей 4ЧН 11/12,5 (Д-240Т) [2, 3], имеющих различное количество часов наработки в эксплуатации и вышедших из строя по причине разрушения вкладышей.

Анализ результатов эксплуатации двигателей позволил установить, что в период их наработки до 1000 моточасов постепенных (износных) отказов не наблюдается. При наработке двигателей, превышающих указанное время, вероятность отказов по причине износа постоянно возрастает. При наработке более 1200 моточасов количество отказов по причине задиров заметно снижается. В то же время между трущимися поверхностями (коленчатый вал-вкладыш) неизбежно оказываются абразивные частицы, поступающие вместе с загрязненным воздухом или смазкой, а также продуктами износа. Эти частицы, имеющие большую твердость, чем поверхность трения, начинают нарушать слой смазочного материала, пластически деформируя одну или обе поверхности, образуя на них различной глубины и ширины риски, царапины и даже участки выкрашивания (рис. 1).

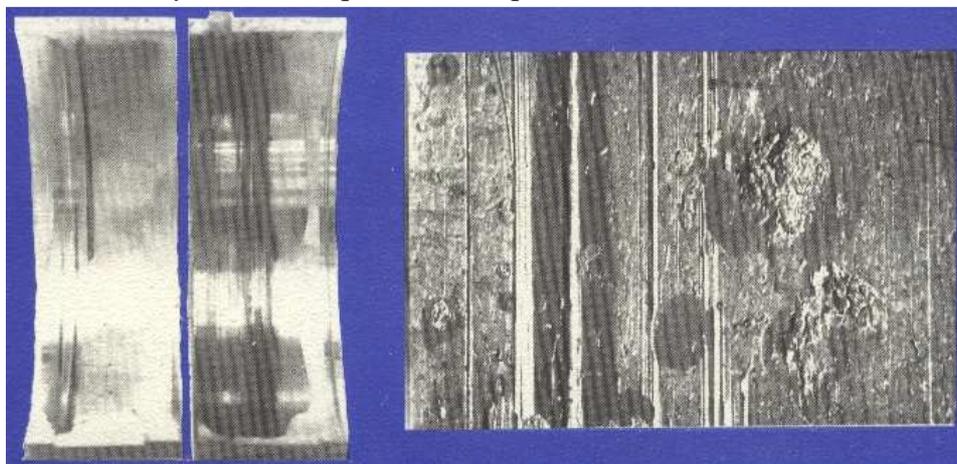


Рис. 1. Поверхности шатунных вкладышей после наработки в условиях рядовой эксплуатации 6000 моточасов

Заметим, что параметры шероховатости  $R_a$  поверхностей шеек коленчатого вала и вкладышей отличаются незначительно. На рис.2 приведены результаты измерения  $R_a$  (объем выборки 57 шеек) и вкладышей коренных и шатунных подшипников (объем выборки 118 штук) до сборки двигателя, а на рис. 3 – после наработки в условиях рядовой эксплуатации 2000...25000 моточасов. Выборочное среднее значение  $\bar{R}_a$  поверхностей шеек и вкладышей приведено в правом верхнем углу.

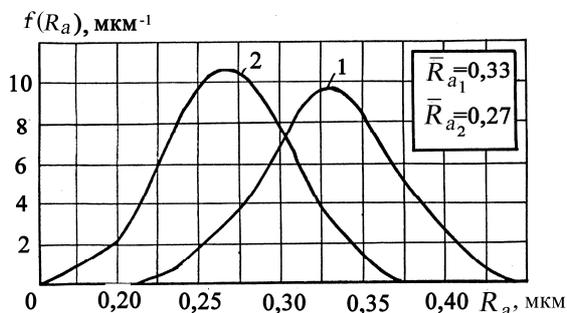


Рис. 2. Кривые плотности вероятности распределения параметра  $R_a$  исходной шероховатости шеек коленчатых валов (1) и вкладышей (2)

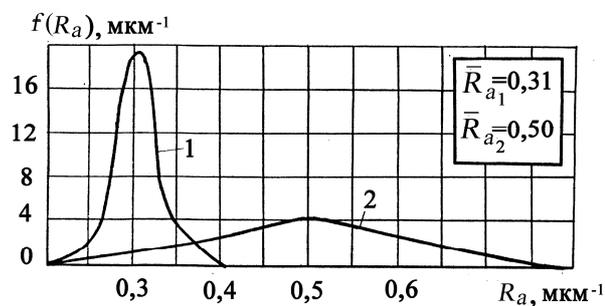


Рис. 3. Характеристики рассеивания параметра  $R_a$  шероховатости шатунных шеек (1) и вкладышей (2) на месте контакта, соответствующем действию максимальных газовых сил (наработка двигателей в эксплуатации 2000...2500 ч.)

Анализ кривых распределения параметров шероховатости вкладышей показал, что среднее значение  $\bar{R}_a$  для изношенных вкладышей в 1,85 раза больше, чем новых.

Для обеспечения надежности подшипников скольжения ДВС их, как правило, изготавливают трехкомпонентными из легкого сплава на стальной основе (с гальваническим слоем заливки). Такие подшипники менее склонны к износу и меньше чувствительны к инородным телам (стружка или частицы износа), нежели значительно более твердые подшипники из свинцовистой бронзы. Для увеличения несущей способности подшипников скольжения фирма Миба разработала «желобчатый» подшипник с продольными канавками [4]. На рабочей поверхности подшипника имеются свободно нанесенные пояски легкого металла, обладающего большей твердостью по сравнению с мягкой свинцовистой заливкой, с желобками между ними, расположенными по периметру и заполненными слоем заливки, которые задерживают продукты износа и способствуют снижению появления задиров.

Кроме того, для снижения вероятности проворачивания шатунных вкладышей в автомобильных дизелях часто повышают давление в системе смазки на 0,08...0,1 МПа за счет увеличения производительности масляного насоса [5].

В мероприятиях по повышению надежности ДВС, снижению металлоемкости и расхода запасных частей важное место занимает работа по созданию промышленной технологии упрочнения быстро изнашиваемых деталей (поршневые кольца, поршни, коленчатые и распределительные валы), что позволяет отказаться от замены традиционных металлов на новые высококачественные металлы и сплавы, снизить простои и затраты на ремонт силовых агрегатов. В двигателестроении давно ведутся работы по упрочнению деталей методом нанесения плазменных упрочняющих покрытий [6].

Приведем пример влияния плазменного упрочняющего покрытия на износостойкость шеек коленчатых валов, изготовленных из стали 45Х, по результатам сравнительных стендовых испытаний на дизеле 4СН 11/12,5 (Д-240Т) [2, 3] с использованием моторного масла М-10Г<sub>2</sub> и дизельного топлива марки Л.

Плазменное напыление шеек коленчатых валов производилось в течение 38 мин на серийной установке УПУ-ЗД смесью порошков ПН85Ю15 (массой 70 %) и ПН55Т45 – 30 %.

Для сравнительных испытаний были исследованы четыре коленчатых вала: первый – с шейками, упрочненными закалкой ТВЧ по серийной технологии; второй – упрочнение шеек плазменным напылением порошковой смесью грануляцией до 100 мкм; третий и четвертый – упрочнение то же, но грануляцией до 160 мкм.

Двигатели работали в специальном режиме четырехчасовых повторяющихся циклов с введением в моторное масло со скоростью 1 г/ч кварцевой пыли с удельной поверхностью 0,56 м<sup>2</sup>/г (ГОСТ 8002-74). Продолжительность испытаний двигателя с каждым коленчатым валом составляла 140 ч.

Линейный износ наружной поверхности шеек коленчатых валов определяли путем проведения метрологической экспертизы по ГОСТ 18509-73; массовый износ подшипников – по разности масс вкладышей до и после испытаний на аналитических весах с погрешностью измерения ±0,001 г.

Результаты сравнительных испытаний представлены в табл. 1.

Поскольку сравнительные ускоренные испытания для каждого из коленчатых валов проводились с одинаковыми закономерностями ускорения процесса потери надежности, то полученные результаты могут сравниваться друг с другом. По результатам сравнительных ускоренных испытаний износ шеек коленчатых валов 3 и 4, упрочненных плазменным напыле-

нием порошковой смесью, в среднем 2...2,5 раза, а их подшипников в 3...3,6 раза ниже, чем у валов 1 и 2, упрочненных закалкой ТВЧ, как это выполняется по серийной технологии.

Таблица 1

Но- мер вала	Средние износы шеек, мкм				Массовые износы вкладышей, г			
	шатун- ные	% по сравнению с серий- ным	коренные	% по сравнению с серийным	шатун- ные	% по сравнению с серийным	корен- ные	% по сравнению с серий- ным
1	48,2	100	54,8	100	0,994	100	0,993	100
2	45,6	95	39,8	72,8	0,896	90,1	0,784	78,9
3	28,8	59	19,2	33,8	0,395	39,7	0,307	30,9
4	26,4	55	16,8	29,4	0,313	31,4	0,236	29,7

Результаты измерения твердости образцов, вырезанных из шеек коленчатых валов, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Твердость образцов, вырезанных из валов						
Шейки	№ вала	Толщина покрытия, мм	Твердость			Пористость покрытия не выше, %
			покрытия	поверхности шейки	по радиусу шейки, НВ	
шатунная	2	0,73	33,0	58,5	201	20
шатунная	3	0,56	33,0	48,0	460	15
шатунная	4	0,72	41,5	49,5	480	10
коренная	2	0,73	30,5	53,5	575	20
коренная	3	0,79	34,0	55,5	690	15
коренная	4	0,64	43,0	54,0	600	10

Твердость покрытия возрастает от вала 2 к валу 4 и находится в пределах 33...43 HRC.

Основа коленчатого вала под покрытием – упрочненная закалкой ТВЧ зона на глубину 3...4 мм от поверхности шеек с твердостью 48...58 HRC, ниже которой нормализованная структура стали 45X с твердостью 187...207 НВ.

На поперечных микрошлифах измеряли микротвердость по толщине покрытия и ниже покрытия на глубину до 1 мм (рис. 1).

Из анализа результатов металлографических исследований следует, что разупрочнение поверхности шеек в процессе напыления не происходило; в 0,05 мм от границы покрытия основа микротвердости имеет то же значение, что и в более удаленных слоях шеек (разогрев шейки вала в процессе напыления не превышал 130 °С).

Связь покрытия с матрицей адгезионная, обусловленная межмолекулярным взаимодействием, о чем свидетельствуют несплошность и отслоения покрытия при разрезке образцов.

По данным рентгеноструктурного анализа, основу слоя составляет твердый интерметаллид типа Ni<sub>3</sub>TiAl с параметрами решетки 3,54...3,57 Å<sup>0</sup>, а на долю мягкой фазы приходится твердый раствор, состоящий из никеля, титана и алюминия. Микроструктура покрытия пористая и не выявляется при травлении известными реактивами.

Кроме того, в структуре наблюдается карбидная фаза типа MeN размером до 5 мкм. Пористость покрытий, оцененная по соотношению занимаемой порами площади по 20 полям зрения, находится в пределах 10...20 % и прямо связана с твердостью и износостойкостью: чем ниже пористость, тем выше твердость и износостойкость.

Можно предположить, что различия в степени пористости (плотности) покрытий исследуемых коленчатых валов определяют степень износа шеек и вкладышей при работе с периодическими добавками в моторное масло кварцевой пыли.

Анализ таблиц позволяет сделать вывод, что наиболее высокой износостойкостью обладает плазменное упрочняющее покрытие на валу 4. Результаты исследований износов при длительной эксплуатации не проводились.

### Список литературы

1. Гоц А.Н. Анализ уравновешенности и способы уравновешивания автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие / Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 128 с.
2. Бойко Ю.Ф., Дмитриченко В.П., Мокеева В.Н. Тракторные и комбайновые дизели. Каталог. ЦНИИТЭИтракторсельхозмаш, 1987. – 124 с.
3. Тракторные дизели: Справочник / Б.А. Взоров, А.А. Адамович, А. Г. Арабян и др.; Под общ. ред. Б.А. Взорова. – М.: Машиностроение, 1981. – 535 с.
4. Конструирование двигателей внутреннего сгорания: Учебник/ Н.Д. Чайнов, Н.А. Иващенко, А.Н. Краснокутский и др.; Под общ. ред. Н.Д. Чайнова. – М.: Машиностроение, 2008. – 496 с.
5. Денисов А.С., Кулаков А.Т. Анализ причин эксплуатационных разрушений шатунных вкладышей двигателей КамАЗ-740/А/ Двигателестроение. – 1981.– № 9. – С. 37...40.
6. Гоц А.Н., Красулин А.Н., Мочалин Н.К., Овчинников Ю.А. Повышение износостойкости коленчатого вала методом нанесения плазменных упрочняющих покрытий //Двигателестроение.– 1987. – №7. – С. 43...44.

### Рецензенты:

Гаврилов А.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Тепловые двигатели и энергетические установки» ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых» Министерства образования и науки РФ, г. Владимир.

Кульчицкий А.Р., д.т.н., профессор, заместитель главного конструктора по испытаниям ООО «Владимирский моторо-тракторный завод», г. Владимир.

Работа получена 01.12.2011.