

## О СОСТОЯНИИ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ И ИХ ВЛИЯНИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЕЙ

С.К. Буравцев, к.т.н.;  
ГНЦ РФ НАМИ

В статье изложены результаты исследований влияния изменений геометрических характеристик коленчатых валов на показатели двигателей после капитального ремонта. Предложены мероприятия для восстановления или улучшения этих характеристик с использованием новых разработок, в частности, технологии поэлементной холодной правки (ПХП) и устройств для контроля надпоршневых зазоров у двигателей в процессе их изготовления, после ремонтов и в процессе эксплуатации.

Известно, что значительная часть двигателей автомобилей как грузовых, так и легковых, эксплуатируется после капитального ремонта. Восстановительному ремонту подвергаются основные детали, такие как коленчатый вал, блок цилиндров, распределительный вал, элементы подшипниковых сопряжений, причем многие из них неоднократно. Часто восстановление этих деталей выполняется с низким качеством.

Показатели капитально отремонтированных двигателей (экологические, энергетические и экономические) ухудшаются в сравнении с новыми двигателями.

Таким образом, качеству ремонта двигателей должно уделяться пристальное внимание, иначе достижения, получаемые производителями в области снижения вредных выбросов в атмосферу и других показателей двигателей сводятся на нет нарушениями, имеющими место в результате некачественного ремонта.

Проанализируем это на качестве ремонта коленчатых валах.

Существует мнение, что основные конструктивные параметры, а именно, геометрические характеристики коленчатых валов (соосность служебных поверхностей шеек и концов, положение поверхностей и радиусы кривошипов, длина) в процессе эксплуатации двигателей не должны изменяться, а если и возможны случаи их нарушения, то при ремонтах, в процессе шлифования шеек, все эти параметры восстанавливаются.

По данным исследований, проведенных автором, от 15 до 70 % автомобильных двигателей, в зависимости от модели, поступают в капитальный ремонт по причине задигов шеек коленчатых валов двигателей, происходящих в сопряжении с вкладышами подшипников и характеризующихся «схватыванием» сопряженных поверхностей. В результате задигов возникают глубокие риски, вырывы и часто перенос (наволакивание) металла с вкладышей на шейки вала.

Причинами задигов могут быть попадание продуктов износа и абразива в масляный зазор или резкое возрастание трения (появление граничного, полусухого и сухого трения), разогрев из-за повышения динамических нагрузок в сопряжениях вследствие увеличения зазоров (износов), а также в результате недостаточной смазки (масляного «голодания»).

На рис. 1 показана шейка коленчатого вала двигателя, имеющая заدير.

Как правило при ремонтах коленчатых валов с задирами ограничиваются только шлифованием шеек. Отремонтированные таким образом коленчатые валы укладываются в двигатель.

Установлено, что при задирах шеек коленчатые валы деформируются, т. е. искривляются на значительные величины в зависимости от степени задира. Степень их деформации характеризуется биениями служебных поверхностей (шеек), т. е. их несоосностью с первоначальной осью. Наблюдаемое рассеивание значений несоосностей служебных поверхностей возможно от нескольких десятых миллиметра до нескольких миллиметров при допустимых значениях биений — 0,01–0,02 мм.

На рис. 2 приведены кривые распределения несоосностей (биений) деформированных коленчатых валов различных двигателей после задигов шеек.

При деформации коленчатых валов изменению подвергаются также радиусы кривошипов в сторону их увеличения или уменьшения. Величины этих изменений по цилиндрам могут достигать нескольких миллиметров при допустимых значениях  $\pm 0,05$  мм.

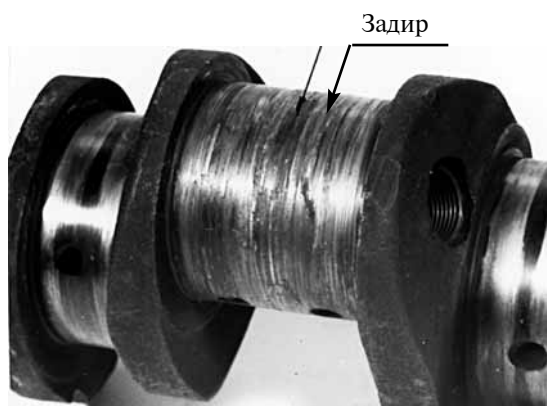


Рис. 1. Чрезмерный износ шатунной шейки из-за задир

На рис. 3 представлена схема изменения радиусов кривошипов после шлифования деформированных коленчатых валов, а на рис. 4 — кривые распределения величин радиусов кривошипов.

На размеры радиусов кривошипов после шлифования коленчатых валов существенное влияние оказывают также и чрезмерные одно-сторонние износы шеек при задире (как правило, со стороны осей коленчатых валов).

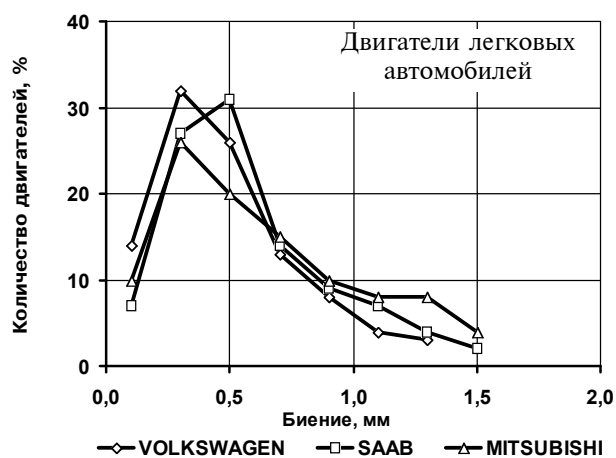
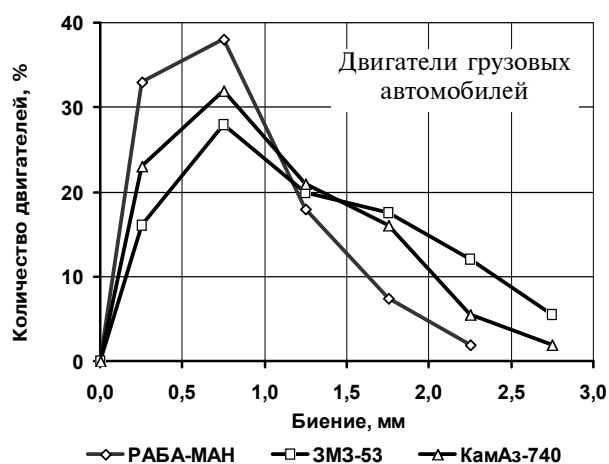


Рис. 2. Несоосность коленчатых валов двигателей с задиром шеек

Изменение радиуса кривошипа коленчатого вала непосредственно влияет на величину надпоршневого зазора, замыкающего звено этой размерной цепи кривошипно-шатунного механизма (КШМ), т.е. на объем сжатия а, следовательно и на степень сжатия в цилиндре. В одних цилиндрах она значительно возрастает, в других — уменьшается.

Эти особенности сборки двигателя с отремонтированными валами приводят к возможным последующим повреждениям (удары поршней о головку или о клапаны), к нарушению процесса горения топлива.

У двигателя с деформированным, после ремонта валом, наряду с нарушением энергетических и экономических показателей, возникает неравномерность в работе цилиндров, затруд-

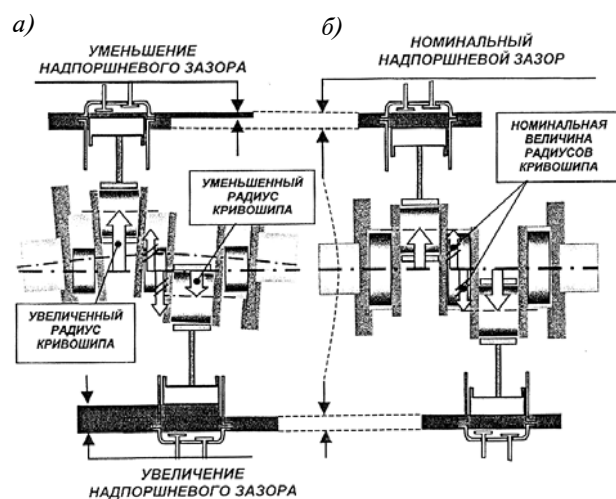


Рис. 3. Изменение величины надпоршневого зазора в зависимости от изменения радиуса кривошипа у деформированного коленчатого вала при шлифовании:

а) и б) деформированный и прямой коленчатые валы

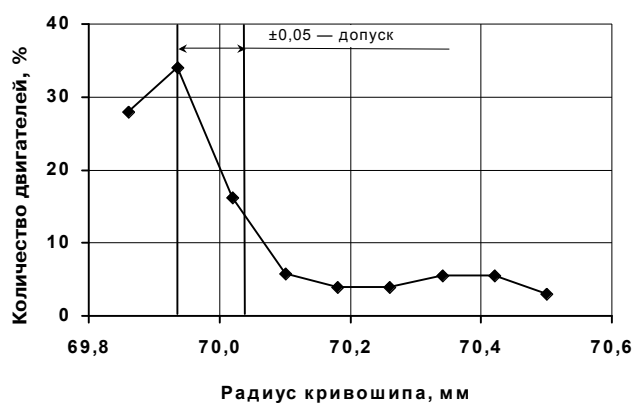


Рис. 4. Распределение размеров радиусов кривошипов коленчатых валов дизельных двигателей ЯМЗ-236, 238, поступивших на сборку после шлифовки при ремонтах

нения с пуском, возрастает неуравновешенность, повышенная вибрация, а также значительно возрастает уровень шума, превышающий существующие допустимые нормы. Все это не может не сказываться на увеличении выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

Следует заметить, что выявить причину, приведшую к изменению надпоршневого зазора у двигателей в сборе (как и величины фактических зазоров) довольно сложно. Приходится перебирать двигатели, иногда по несколько раз, меняя различные детали.

Для оценки влияния изменения величины надпоршневого зазора на показатели двигателя прежде всего необходимо измерить величины надпоршневых зазоров у дизельных двигателей, поступивших в капитальный ремонт и после их ремонта.

Для измерения величин надпоршневого зазора в цилиндре в НАМИ впервые в практике изготовления, эксплуатации и ремонта разработано и изготовлено специальное устройство, которое позволяет на собранном двигателе определить фактическое расстояние между днищем поршня и головкой цилиндров в процессе сборки, обкатки и эксплуатации без разработки и снятия двигателя с автомобиля [1]\*.

В последующем были разработаны устройства для разных моделей дизельных и карбюраторных двигателей, использованные для измерения надпоршневых зазоров и объемов сжатия в цилиндрах.

На рис. 5 и в табл. 1 приведены данные по величинам надпоршневых зазоров, измеренных у дизельных двигателей ЯМЗ-236, поступивших в капитальный ремонт и собранных после ремонта.

До половины двигателей, собранных после ремонта, имеют увеличение надпоршневого зазора на 20–40 % по сравнению с двигателями заводской серийной сборки.

Большой разброс величин надпоршневых зазоров характерен и по отдельным цилиндрам одного двигателя. Коэффициент неравномерности распределения величин надпоршневых зазоров по отдельным цилиндрам двигателей, поступивших в капитальный ремонт, достигает 1,5–2,2.

Именно, увеличение надпоршневого зазора сверх допустимого значения часто является причиной снятия двигателя с обкатки на испытательном стенде после ремонта или с автомобиля при эксплуатации. Причиной является неустойчивая работа (двигатель работает с перебоями), повышенная вибрация, снижение мощ-

\* Этим устройством пользуются и некоторые заводы-изготовители для оценки надпоршневого зазора двигателей после их сборки.

ности, чрезмерная дымность и др. Измерением надпоршневых зазоров у капитально отремонтированных двигателей установлено, что величина зазора в отдельных цилиндрах достигает 2,5–2,9 мм. Все это говорит о необходимости повышения внимания к контролю качества ремонта коленчатых валов и сборки КШМ.

В настоящее время при сервисном обслуживании величины надпоршневых зазоров не контролируются, а коленчатые валы, как правило, устанавливаются после шлифования с восстановленной геометрией и с большими отклонениями радиусов кривошипов.

Для оценки влияния величины надпоршневого зазора на работоспособность двигателя как комплексного параметра, характеризующего точность сборки деталей КШМ, были проведены стендовые и эксплуатационные испытания.

Варианты изменения величины надпоршневого зазора у опытных дизельных двигателей ЯМЗ-236 представлены в табл. 2.

За критерий оценки технического состояния у опытных двигателей были приняты следующие сравнительные показатели: изменение мощности, расхода топлива, давления газов в конце

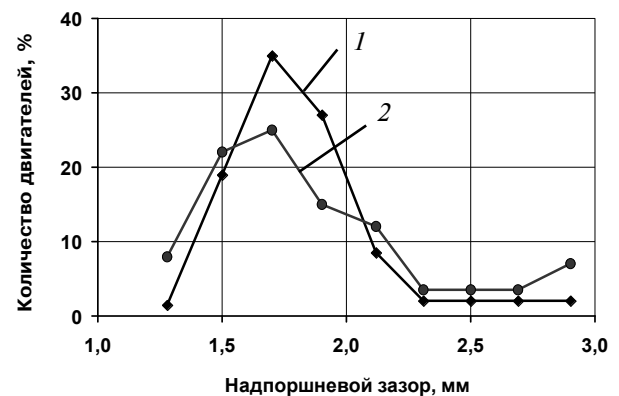


Рис. 5. Распределение величин надпоршневых зазоров у дизельных двигателей ЯМЗ-263, 238, поступивших в капитальный ремонт (1) и собранных после капитального ремонта с коленчатыми валами без применения ПХП (2)

Таблица 1

Группа дизельных двигателей	Характеристика изменения надпоршневых зазоров, мм			
	наименьший	средний	наибольший	наиболее часто встречающийся
Поступивших в капитальный ремонт	1,25	1,69	2,90	1,67
Двигатели сборки после ремонта	1,30	1,75	2,40	1,80

сжатия и сгорания, температура и дымность отработавших газов и др.

Некоторые обобщенные показатели опытных двигателей, полученные при их работе в режиме номинальной мощности для каждого варианта изменения надпоршневого зазора, приведены в табл. 3.

Основываясь на допустимой тепловой напряженности деталей КШМ, а также на допустимых отклонениях показателей двигателей и, учитывая технические возможности авторемонтного производства, была предложена наибольшая величина надпоршневого зазора для четырехтактных дизелей — 1,8 мм. При величине надпоршневого зазора более 1,8 мм дизель направляют на устранение дефектов (переборку). Двигатели контролируют при их сборке после установки головок цилиндров.

При стендовых и эксплуатационных испытаниях было установлено, что увеличение надпоршневого зазора в цилиндре с 1,8 до 2,2 мм, т. е. всего только на 25 %, приводит к падению мощности и увеличению расхода топлива на 8–10 %, дымности на 30–50 % и снижению межремонтного ресурса на 15–20 %.

В связи с этим в процессе изготовления, ремонта и эксплуатации необходимо измерять величину надпоршневого зазора в цилиндре.

Применение разработанных в НАМИ устройств для измерения и определения надпоршневых зазоров и объемов (степеней) сжатия при капитальном ремонте позволяет снизить брак и рекламационный возврат двигателей из-за некачественной сборки КШМ, осуществлять правильный подбор поршней по размеру, влияющему на величину надпоршневого зазора (для некоторых моделей двигателей), а в эксплуатации — более точно распознавать причины неисправностей двигателей, т. е. может служить средством диагностирования.

Было установлено, что у двигателей после ремонта с ненарушенными характеристиками деталей КШМ надпоршневой зазор у большинства составляет 1,5–1,7 мм. У двигателей до первого ремонта — 1,4–1,6 мм.

Таблица 2

Вариант	Величины надпоршневых зазоров, мм	Цилиндры
I	1,1–1,2	1–6
II	1,4–1,6	1–6
III	1,7	1–6
IV	1,1–1,2	1–3
	1,4–1,6	4–6
V	1,8–1,9	1–6
VI	2,6–2,8	1–6

Необходимо отметить, что надпоршневой зазор менее указанных значений (1,5–1,7 мм) до 1,1–1,2 мм способствует улучшению показателей двигателей.

Средством для сохранения у деформированных коленчатых валов после шлифования радиусов кривошипов в допустимых пределах является разработанная автором статьи новая технология под названием «поэлементная холодная правка» (ПХП) [2], которая позволяет качественно восстановить при ремонте или улучшить при изготовлении все геометрические характеристики коленчатых валов, обеспечивая:

- > соосность всех рабочих поверхностей коренных шеек и концов валов с высокой точностью (остаточное биение — 0,01–0,02 мм и более);
- > геометрию кривошипов и их радиусы в пределах допусков рабочего чертежа завода-изготовителя;
- > длину коленчатого вала в допусках ТУ на изготовление;
- > уравновешенность коленчатых валов, выполненную заводом-изготовителем;
- > стабильность результатов восстановленных геометрических характеристик — отсутствие «памяти»;
- > упрочнение — повышение усталостной прочности деформированных кривошипов в 2–3 раза;
- > увеличение ресурса восстановленных валов на 40–90 %;
- > работоспособность упорных подшипников (оптимальные зазоры);
- > отсутствие течи смазки через сальники.

Таблица 3

Показатели	Интервалы изменения надпоршневого зазора, мм			
	1,1–1,2	1,4–1,6	1,8–1,9	2,6–2,8
Давление газов в конце сжатия, МПа	4,2	4,0	3,9	3,5
Давление газов в конце сгорания, МПа	8,0	7,7	7,5	—
Удельный расход топлива, г/кВт·ч	238	244	252	—
Температура отработавших газов, °С	595	635	648	—
Дымность отработавших газов, %	32	38–40	45–60	—

Технология ПХП основана на обработке валов большим давлением (приложением больших усилий).

Применение ранее же существующих методов правки коленчатых валов недопустимо, так как при их использовании:

➤ происходит разупрочнение валов: снижение усталостной прочности, появление трещин в наиболее слабых зонах — галтелях и полочки;

➤ имеет место возвращение валов в исходное искривленное состояние, т. е. валы обладают «памятью»;

➤ не восстанавливаются все геометрические характеристики коленчатых валов и, прежде всего, кривошип и их радиусы.

Следует отметить, что в Москве имеется несколько сервисных центров, которые производят капитальный ремонт двигателей отечественного и зарубежного производства, используя коленчатые валы с восстановленными или улучшенными (для спортивных двигателей) в НАМИ геометрическими характеристиками, по

указанной технологии ПХП, и не имеющие в течение многих лет рекламаций.

Таким образом, для решения вопроса повышения качества двигателей и улучшения их показателей необходимо исключить у коленчатых валов, деформированных в процессе ремонта или эксплуатации, нарушения геометрических характеристик: соосности служебных поверхностей, положения поверхностей, радиусов кривошипов и длин путем их восстановления в пределах ТУ, ремонт с использованием технологии ПХП, а также контроль и обеспечение оптимального надпоршневого зазора (объема сжатия) в каждом цилиндре при сборке двигателей с использованием устройств, разработанных в НАМИ.

#### Литература

1. Буравцев Б., Буравцев С., Бурэ В., Узаров Ю. Измерение надпоршневого зазора // Автомобильный транспорт — 1982. — № 5. — С. 30–32.

2. Буравцев С.К. О способе поэлементной холодной правки коленчатых валов // Двигателестроение. — 1998. — № 2. — С. 34–37.



Александр Андреевичу

Иванченко

50 лет

*24 Февраля 2006 года исполнилось 50 лет*

*Иванченко Александру Андреевичу, г.т.н.,*

*заведующему кафедрой Судовых энергетических установок*

*Санкт-Петербургского Государственного Университета Водных Коммуникаций, (МВЛТА)*

*члену редакционной коллегии журнала «Двигателестроение»*

Круг профессиональных интересов Александра Андреевича определился в 14-летнем возрасте, когда он получил свои первые навыки несения вахты в машинном отделении в качестве моториста и на мостике судна в качестве рулевого-моториста. Далее была учеба на судомеханическом факультете Ленинградского института водного транспорта, работа на Калининградском судоремонтном- судостроительном заводе Западного пароходства МРФ РСФСР, служба в вооруженных силах, работа в достроечном цехе Балтийского судостроительного завода им. С. Орджоникидзе.

С момента поступления в 1981 г. в аспирантуру ЛИВТа, Александр Андреевич до настоящего времени связывает с ним свою творческую жизнь, развивая и преумножая традиции научных школ своих учителей и наставников — профессоров Хандова З.А., Сомова В.А., Тузова Л.В., Малого П.А., Чиняева И.А., Худякова Б.Д. и др. в области совершенствования конструкции, эффективных и экологических характеристик энергетических установок судов.

Результаты научных исследований, выполненных с участием и под руководством Иванченко А.А., нашли отражение более чем в 100 научных трудах и учебных пособиях.

Не считаясь с большой нагрузкой в университете, А.А. Иванченко находит время и для участия в работе Диссертационного Совета, в секциях Научно-технического Совета Морского Регистра Судостроения и Российского Союза Судовладельцев.

Активная профессиональная и общественная деятельность А.А. Иванченко отмечена правительственными наградами и наградами общественных организаций.

*Коллектив Санкт-Петербургского Государственного Университета Водных Коммуникаций и редакция журнала «Двигателестроение» поздравляют Александра Андреевича с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, счастья и новых творческих успехов.*