Научная статья

Original article

УДК 621.824.32

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЧУГУННЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

OPERATIONAL TESTS OF RESTORED CAST IRON CRANKSHAFTS

Каржаубаев Адил Сагинбекович, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Евразийский технологический университет, г.Алматы

Утемуратов Женис Жаңабаевич, доктор PhD, ассоциированный профессор, Евразийский технологический университет г.Алматы

Карманов Дархан Кабдыкалыкович, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Евразийский технологический университет, г.Алматы

Karzhaubaev Adil Sagynbekovich, adil.karzhaubaev@mail.ru

Utemuratov Zhenis Zhanabayevich, adil.karzhaubaev@mail.ru

Karmanov Darkhan Kabdykalykovich, adil.karzhaubaev@mail.ru

Аннотация: Предлагаемый к публикации материал посвящен решению актуальных вопросов исследования на усталостную прочность восстановленных коленчатых валов. Изношенные коленчатые валы двигателей из высокопрочного чугуна реставрируют различными способами наплавки. Каждый из этих способов имеет свои технологические, технические и экономические преимущества и недостатки. Но общими недостатками всех технологий восстановления являются невысокая усталостная прочность и износостойкость восстанавливаемых валов в

сравнении с новыми. Тем не менее,эти способы продолжают применяться для реставрации коленчатых валов в Казахстане, России и других странах СНГ.

Annotation: The material proposed for publication is devoted to solving topical issues of research on the fatigue strength of restored crankshafts. Worn crankshafts of engines made of high-strength cast iron are restored by various methods of surfacing. Each of these methods has its own technological, technical and economic advantages and disadvantages. But the common disadvantages of all restoration technologies are the low fatigue strength and wear resistance of the restored shafts in comparison with the new ones. Nevertheless, these methods continue to be used for the restoration of crankshafts in Kazakhstan, Russia and other CIS countries.

Ключевые слова: наплавка, микрометраж, коленчатый вал, износ, испытания, порошок.

Keywords: surfacing, micrometer, crankshaft, wear, testing, powder.

Целью настоящих испытаний является определение в эксплуатационных условиях показателей долговечности коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53, восстановленных по технологиям ГосНИТИ и Евразийский технологический университет (ЕТУ), в паре со вкладышами.

Объектом исследования являются коленчатые валы двигателей ЗМЗ-53. Двигатели собирались согласно техническим условиям на капитальный ремонт. В них устанавливались экспериментальные коленчатые валы (новые и восстановленные по технологиям ГОСНИТИ и ЕТУ) и имеющие геометрические параметры, отвечающие требованиям технических условий и рабочего чертежа [1,2].

При эксплуатационных испытаниях коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53 исследуются следующие параметры:

1. Износостойкость коренных и шатунных шеек коленчатых валов, восстановленных широкослойной наплавкой проволокой СВ15ГЮСТЦА с добавками в дугу смеси порошковых материалов по технологии ЕТУ.

2. Износостойкость коренных и шатунных шеек коленчатых валов ЗМЗ-53, восстановленных наплавкой по винтовой линии проволокой СВ15ГЮСТЦА по технологии ГосНИТИ.

3. Износостойкость коренных и шатунных шеек исследуемых серий коленчатых валов в сравнении с новыми, эталонными деталями (относительная износостойкость и сравнительная долговечность исследуемых коленчатых валов).

Эксплуатационные испытания проводились в пять этапов:

1-й этап. Разработка методики проведения исследований и планов наблюдений.

2-й этап. Микрометраж исследуемых валов и сопрягаемых деталей (коренных и шатунных вкладышей, нижней головки шатуна и коренных опор блоков цилиндров); сборка экспериментальных двигателей; контроль сборки и их маркировка.

3-й этап. Организация наблюдений за экспериментальными двигателями в процессе проведения эксплуатационных испытаний. Промежуточный контроль износов коленчатых валов и вкладышей (микрометраж) в ходе испытаний.

4-й этап. Конечный микрометраж деталей экспериментальных двигателей при снятии их с эксплуатационных испытаний.

5-й этап. Обработка полученных первичных данных и составление заключений и выводов. Представление результатов эксплуатационных испытаний.

Все этапы исследований базируются на ГОСТах, регламентирующих микрометраж деталей двигателей, а также планирование, систему сбора и обработки информации, планирование наблюдений при оценке надежности изделий машиностроения.

Обоснование минимального необходимого числа экспериментальных двигателей, основывается на ГОСТ 17510-82, который устанавливает систему сбора и обработки информации, а также планирование наблюдений при оценки надежности изделий машиностроения. При проведении эксплуатационных испытаний коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53 руководствовались

положениями ГОСТ 17510-82, который допускает проводить сбор информации о надежности, как для изделия в целом, так и для его составных частей.

Исходя из этого, представляется возможным построить планы наблюдений не только за коленчатыми валами в целом, но и в отдельности за коренными и шатунными шейками, так как закономерности их износов достаточно хорошо изучены и известны. Это позволяет значительно сократить число экспериментальных двигателей, и, следовательно, трудоемкость и продолжительность эксплуатационных испытаний, что в итоге приводит к минимальным затратам при проведении данной работы.

Далее проводился расчет необходимого количество двигателей.

Учитывая рекомендации по определению минимального числа объектов наблюдения и принимая во внимание результаты работ КазНИПИАТа и др. устанавливающие, что износы шеек подчиняются закону распределения Вейбулла (причем параметры распределения известны), определялось число объектов испытаний:

$$(\sigma+1)^b = \frac{2N}{x^2_{1-\beta;2N}}, \qquad (1)$$

где σ - относительная ошибка среднего значения t^{cp} исследуемой случайной величины с доверительной вероятностью β, принимаемой в нашем случае равной 0,90, β=0,9.

Относительная ошибка рассчитывалась по формуле:

$$\sigma = \frac{t_{\max} - t_{cp}}{t_{cp}}, \qquad (2)$$

где $t_{\max}$ - наибольшее отклонение исследуемой величины, приближенно принимаемое за верхнюю одностороннюю границу [1, 4].

b – параметр распределения Вейбулла (для экспоненциального закона b=1), связанный функциональной зависимостью с коэффициентом вариации V.

Коэффициент вариации определялся по известным формулам, как отношение среднеквадратичного отклонения - σ исследуемой случайной величины к ее среднему значению, b- параметр брался по таблицам 2 и 3 [1, 4].

$$\rho\left(\chi^2 \le \chi_{1-\beta;2N}\right) = \int_0^{\chi_{1-\beta;2N}} f\left(x^2\right) d\chi^2 = 1-\beta, \qquad (3)$$

$\chi^2_{1-\beta;2N}$ - критерий, отвечающий условию, который также определяется по таблицам ГОСТ.

При известных величинах:

- относительной ошибки среднего значения износов шеек коленчатого вала σ = 0,20…0,25;

- коэффициента вариации износов V=0.5…0.8;

- верхней односторонней доверительной вероятности:

$$P_\beta = P_{0.9} \qquad (4)$$

Для получения достоверных данных по износостойкости реставрированных коленчатых валов (среднему сроку службы) минимальное необходимое количество испытуемых шеек должно быть равно:

$$V = 0.50; \quad (0{,}2+1{,}0)^{2{,}100} = \frac{2N}{\chi_{1-\beta;2N}}; \qquad 1{,}47 = \frac{2N}{\chi_{1-\beta;2N}} = \frac{28}{18{,}9}$$

при $b = 2{,}100; \qquad 2N = 28; \qquad N = 14.$ (5)

$$V = 0{,}80; \qquad (0{,}2+1{,}0)^{1{,}260} = \frac{2N}{\chi_{1-\beta;2N}}; \qquad 1{,}26 = \frac{2N}{\chi_{1-\beta;2N}} = \frac{75}{59{,}8}$$

$b = 1{,}260$

при $2N = 1{,}25 \bullet 59{,}8 = 75{,}4; \qquad 2N = 75; \qquad N = 38.$ (6)

Принимая N=38, для испытания коленчатых валов по каждой технологии восстановления необходимо испытание К = 38:13 = 3 трех двигателей.

Частные методики исследования общего и специального характера, используемые при проведении настоящих эксплуатационных испытаний, приводятся ниже. Так как долговечность коленчатых валов оценивается износом

шеек, величина которого не будет превышать в среднем 20 мкм, частные методики разработаны на:

- определение дефектов коленчатых валов и их геометрических параметров;

- микрометраж деталей экспериментальных двигателей согласно ГОСТ 14846-69;

- определение износов с помощью искусственных баз:

а) лунок нарезных прибором УПОИВ – 2;

в) вдавленных отпечатков.

Экспериментальные двигатели собирались в автобусных парках ТОО «РОЗАЛИ ТРАНС» г Алматы.

После полного микрометража основных деталей собирается весь двигатель согласно техническим условиям. Перед укладкой вала производится динамическая балансировка его в сборе с маховиком. Собранный двигатель проходит обкатку по режимам, установленным на заводе для данной модели двигателя, после чего отправляется в автохозяйство.

Подготовка экспериментальных двигателей к эксплуатационным испытаниям осуществляется непосредственно в автохозяйстве и состоит из укомплектования всеми агрегатами необходимыми для обеспечения его работы в нормальных условиях эксплуатации. Особое внимание при подготовке двигателей должно обращаться на состояние системы смазки (в частности, масляного насоса, масляной магистрали и центрифуги) и системы охлаждения. Подготовка включает в себя также, оформление предусмотренной методикой документации на каждый экспериментальный двигатель и инструктаж водителей с напоминанием о том, что в случае любого отказа экспериментального двигателя разборка его и устранение дефекта должна производится в присутствии представителя ЕТУ.

Исходя из требований ГОСТ 17510-82, выбор автохозяйства и места проведения эксплуатационных испытаний производился из того, чтобы все автомашины обеспечивались одинаковыми условиями эксплуатации. С целью получения сопоставимых результатов предусматривалась работа автомобилей с экспериментальными двигателями на равнозначных маршрутах перевозки.

Смена масла, фильтрующих элементов, очистка ротора центрифуги и техническое обслуживание двигателя производились через периоды времени, соответствующие пробегу по инструкции завода-изготовителя. В ходе эксплуатационных испытаний регистрировались все замеченные неполадки и отказы деталей двигателей. При пробеге 55-60 тыс.км планировалось проведение промежуточного замера износа вала и вкладышей. Промежуточный микрометраж приурочивался к очередному ТО (техническому осмотру).

Эксплуатационные испытания двигателей с восстановленными коленчатыми валами проводились при постоянном наблюдении (согласно ГОСТ 17510-82), так как, во-первых, испытывались образцы новой техники, и, во-вторых, определялись основные показатели надежности изделий мелкосерийного и индивидуального производства.

Этим же стандартом предусматривается несколько планов проведения наблюдений, из которых были приняты:

а) для коленчатого вала в целом, шатунных и коренных шеек - план (N,U,N), который трактуется следующим образом: на испытание поставлено N изделий; наблюдения ведутся до возникновения отказа и предельного со-стояния (наибольшего износа), всех изделий. Отказавшие изделия не ремонтируются и не заменяются новыми.

б) для сопрягаемых с коленчатых валом деталей и цилиндр - поршневой группы - план (N,R,T)-то есть наблюдения проводятся в течении времени T, а отказавшие изделия заменяются новыми или ремонтируются. Результаты наблюдений за отремонтированными изделиями включаются в общие данные наблюдений до замены.

Вышеприведенные планы наблюдений заложены в методику эксплуатационных испытаний и находят отражение в частной методике по организации наблюдений за экспериментальными двигателями.

Эксплуатационные испытания экспериментальных двигателей проводились в автобусных парках.

Наблюдение за экспериментальными двигателями осуществлялось согласно таблице 11, главы 3, [1] где учитывается:

- государственный и парковый номер автомобиля;
- номер двигателя и литейный номер блока;
- даты установки и снятия двигателя;
- показания счетчика в момент установки и снятия двигателя;
- учет дефектов и неисправностей двигателя и мероприятий по их устранению.

В процессе эксплуатации не допускается обезличивание экспериментальных двигателей. Учет пробега автомобилей с экспериментальными двигателями осуществляется по путевым листам по показаниям спидометров. Через каждые 30 тыс. км (по спидометру) автохозяйство снимает автобус с экспериментальными двигателем с линии, для проведения замеров шатунных и коренных шеек коленчатого вала, и сопрягаемых с ними вкладышей. В случае вынужденной разборки двигателя после 10 тыс. км пробега автомобиля снова проводятся аналогичные замеры. Осуществление замеров и определение износов шеек коленчатых валов осуществляется согласно методике, изложенной в данной главе. Замена вкладышей коренных и шатунных подшипников производилась под наблюдением работника ЕТУ.

В случае выхода двигателя из строя, на снятый двигатель прикреплялась бирка, на которой указывались:

- дата снятия двигателя;
- показания спидометра в момент выхода;
- номер акта и дата его составления.

Выводы

По результатам эксплуатационных испытаний трех серий коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53 новых, эталонной серии и восстановленных наплавкой по технологиям ЕТУ и ГосНИТИ, можно сделать следующие обобщающие выводы:

-предложенную методику эксплуатационных испытаний следует признать пригодной для оценки долговечности восстанавливаемых деталей и двигателей в целом;

-износостойкость коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53, восстановленных наплавкой по технологии ЕТУ, находятся на уровне износов новых деталей (1,3%), а по шатунным шейкам на 3,75% превышает её;

-износостойкость коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53, восстановленных наплавкой по технологии ГосНИТИ, составляет 57,75% для коренных и 52,40% для шатунных шеек относительно новых эталонных коленчатых валов.

Использованные источники:

1. Восстановление чугунных коленчатых валов методом широкослойной наплавкой: Монография / Каржаубаев Адил Сагинбекович. Алматы: 2015.
2. Мендебаев Т.М., Каржаубаев А.С. Результаты натурных усталостных испытаний коленчатых валов двигателя ЗМЗ-53. ТОО Издательство «Бастау», журнал «Вестник с/х науки Казахстана». Алматы.: №6, 2007.
3. Бисекен А.Б., Каржаубаев А.С. «Сравнительные исследования усталостной прочности чугунных коленчатых валов». «Исследования, результаты». Научный журнал. Алматы.: №5, 1990. – 56-69 с.
4. Мендебаев Т.М., Каржаубаев А.С. Восстановление чугунного коленчатого вала широколойной наплавкой. ТОО Издательство «Бастау», журнал «Вестник с/х науки Казахстана». Алматы.: №6, 2007. – 60-62 с.
5. Авчинников Б.Е. Усталостная прочность поверхностно упроченных деталей, Труды ВВИА, вып.1183. – М. , 1997. - 290с.

Sources used:

1. Restoration of cast-iron crankshafts by wide-layer surfacing: Monograph / Karzhaubaev Adil Saginbekovich. Almaty: 2015.
2. Mendebaev T.M., Karzhaubaev A.S. Results of full-scale fatigue tests of the crankshafts of the ZMZ-53 engine. Publishing house "Bastau" LLP, journal "Bulletin of agricultural science of Kazakhstan". Almaty.: No.6, 2007.

3. Biseken A.B., Karzhaubaev A.S. "Comparative studies of fatigue strength of cast-iron crankshafts". "Research, results". Scientific journal. Almaty.: No.5, 1990. – 56-69 p.
4. Mendebaev T.M., Karzhaubaev A.S. Restoration of cast-iron crankshaft by wide-layer surfacing. Publishing house "Bastau" LLP, journal "Bulletin of agricultural science of Kazakhstan". Almaty.: No.6, 2007. – 60-62 p.
5. Avchinnikov B.E. Fatigue strength of surface-hardened parts, Proceedings of the VVIA, issue 1183. – M. , 1997. -290c.

© Каржаубаев А.С., Утемуратов Ж.Ж., Карманов Д.К., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022.

Для цитирования: Каржаубаев А.С., Утемуратов Ж.Ж., Карманов Д.К., ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЧУГУННЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022