

Расчет прочностных параметров коленчатых валов при усталостных испытаниях с целью обеспечения их надежности

П.В. Сенин, А.И. Фомин

*ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»,
г. Саранск*

Аннотация: в статье рассматривается разработанный комплекс для получения объективной информации в ходе усталостных испытаний коленчатых валов автотракторной техники при чистом изгибе в плоскости кривошипа при динамическом нагружении на резонансном стенде. Представлены данные для ее реализации и результат испытаний коленчатых валов 24–1005011–20 производства ОАО «ЗМЗ».

Ключевые слова: ресурс, динамические параметры, надежность, предел выносливости, коленчатый вал, усталостные испытания, резонансный стенд, режимы нагружения.

В процессе разработки и апробировании технологий восстановления работоспособного состояния коленчатых валов автотракторной техники предусматривается выполнение оценки обширного спектра характеристик и свойств рассматриваемого объекта. Определение усталостной прочности коленчатых валов является достаточно значимой задачей, так как доля отказов отремонтированных двигателей из-за усталостных изломов вала до настоящего времени остается еще достаточно высокой [1].

При определении усталостной прочности коленчатых валов (новых, после эксплуатации и восстановленных [2,3]) возникают определенные трудности, в основном связанные со статической неопределенностью процесса их разрушения из-за рассеяния как их размерных, технологических параметров так и условий эксплуатации двигателя.

В первом случае на надежность вала будут влиять состав материала, процесс получения заготовки (свободная ковка, штамповка и отливка), точность и качество механической обработки вала (точность размеров коренных и шатунных шеек, их несоосность, радиус галтельных переходов, а также шероховатость и волнистость их обработанных поверхностей).

К условиям эксплуатации можно отнести силовое и тепловое нагружение кривошипно-шатунного механизма, условия смазки подвижных соединений.

В связи с этим проведение усталостных испытаний остается достаточно сложной задачей, решение которой требует больших усилий и времени [4].

Применяемые методы оценки уровня накопленных усталостных повреждений и соответственно определения остаточного ресурса коленчатых валов при наработке числа циклов нагружения дают возможность разработать методику диагностирования конструкций коленчатых валов по изменению их динамических характеристик, а также рекомендации по оценке технического состояния валов в любой момент времени. Однако, существует большая трудность в получении объективной информации об оценке долговечности и усталостной прочности валов из-за несовершенства испытательных машин резонансного типа.

Наиболее широкое применение нашла стендовая испытательная универсальная машина ЛП-20 резонансного типа. При этом ее использование сопровождается рядом трудностей: во первых контроль измеряемых параметров ведется вручную, что не может не сопровождаться определенными погрешностями и во вторых при достижении предельного состояния образца (излом вала) нет автоматической остановки стенда, что отображается на фиксации количества циклов нагружения.

При исследовании усталостной прочности натуральных коленчатых валов в МГУ им Н.П. Огарева для обеспечения высокой точности результатов и автоматического режима работы данного типа резонансного стенда произведена его модернизация [5].

Основной принцип механической работы резонансного стенда не подвергался модификации. Работа была проведена в области подачи и

обработки данных получаемых с датчиков и фиксации принятых данных при изломе вала.

Процесс проведения усталостных испытаний осуществляется в три этапа [6-9]. На первом этапе выполняется подготовка коленчатого вала к испытаниям путем установки тензорезисторов для контроля уровня приложенной нагрузки. Для этого на шатунные шейки в плоскости кривошипа клеивались измерительные тензорезисторы и два балансировочных тензорезистора на траверсы станда (рис. 1).



Испытуемая
неподготовленная
шатунная шейка

Шатунная шейка с
вклеенными
измерительными
тензорезисторами

Подготовленная
шатунная шейка к
испытаниям



Монтаж балансировочных тензорезисторов

Рис. 1. – Установка тензорезисторов

Перед началом работы станда выполняется тарировка тензорезисторов. Для этого с помощью нагружающего динамометра сжатия типа ДОСМ-3-0,2 осуществляется статическое нагружение исследуемого кривошипа (рис. 2).

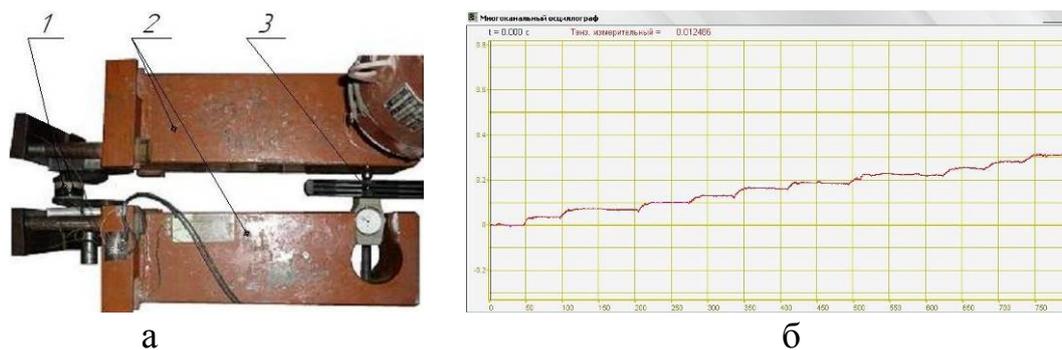


Рис. 2. – Тарировка тензорезисторов

а) 1 – исследуемый отсек коленчатого вала; 2 – траверсы;
3 – динамометр сжатия ДОСМ-3–0,2 б) контроль амплитуды изгибающего момента

Тарировка кривошипа осуществляется индивидуально в независимости от типа исследуемых коленчатых валов.

При тарировке и непосредственном проведении испытаний сигналы от тензорезисторов идут на предварительный усилитель с которого направляются на аналого-цифровой преобразователь (рис. 3).



Рис. 3. – Двухканальный усилитель и аналого-цифровой преобразователь

На втором этапе проходят стендовые испытания коленчатых валов при выбранных циклах нагружения. При достижении предельного состояния исследуемого вала (при усталостных испытаниях для определения предела выносливости - излом) с целью установления точного количества циклов нагружения срабатывает устройство автоматического отключения питания резонансного стенда.

На третьем этапе происходит расчет прочностных параметров исследуемого вала. Одной из важных задач на данном этапе является наиболее точное определение предела выносливости, которое зависит от площади поперечного сечения и момента сопротивления сечения излома. До этого расчет представленных параметров выполнялся вручную, для чего требовалось значительное время и несомненно приводило к погрешности.

Для устранения представленных недостатков использовалась следующая методика. По контуру излома щеки вала наносился графит (возможно применение любого компонента способного к нанесению опечатка к контртелу), после чего на данный участок прикладывалась миллиметровая бумага. Далее полученный на бумаге контур излома сканировался и изображение сечения излома щеки импортировалось в разработанную программу на базе программного комплекса LabVIEW, которая представлена на рис. 4.

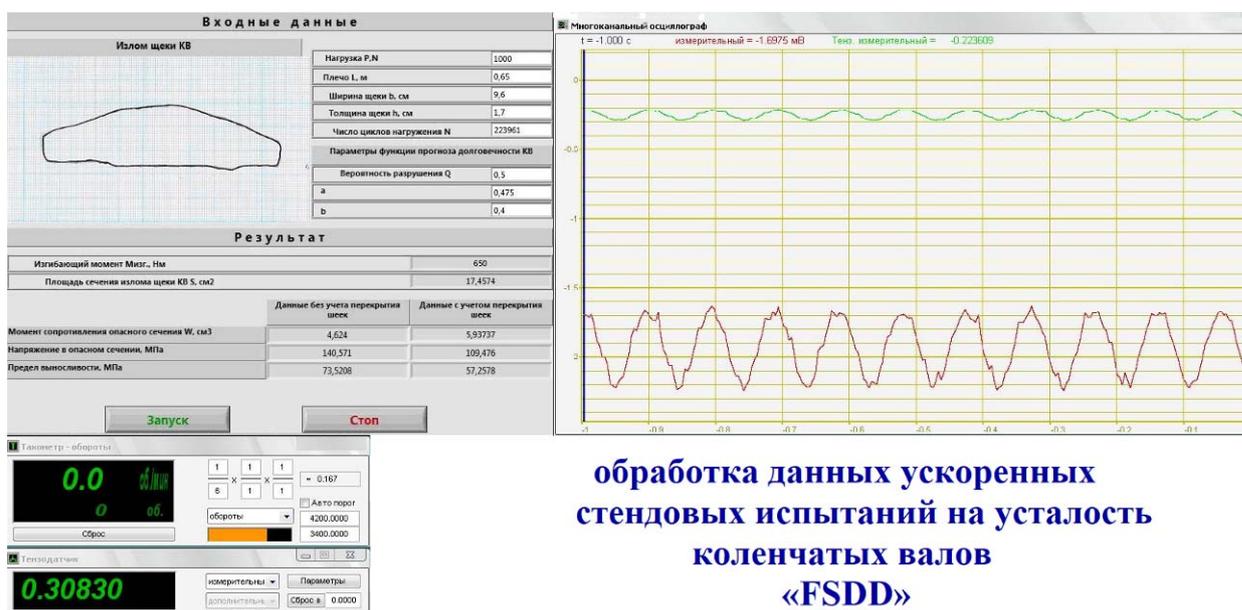


Рис. 4 – Скрин разработанной программы

Полученные в результате экспериментальных исследований значения пределов выносливости коленчатых валов 24–1005011–20 производства ОАО «ЗМЗ» (таблица № 1) хорошо согласуются с представленными в работе [10] данными.

Таблица № 1

Результаты испытаний коленчатого вала на предел выносливости

Объект экспериментальных исследований	Интервал значений, МПа	Среднее значение, МПа
Вал 24–1005011–20 новый (экспериментальные данные)	77...125	102
Вал 24–1005011–20, новый (данные работы [10])	88...121	103
Вал 24–1005011–20, бывший в эксплуатации (экспериментальные данные)	75...110	92
Вал 24–1005011–20, бывший в эксплуатации (данные работы [10])	72...112	92

Таким образом, предлагаемая методика расчета прочностных параметров коленчатых валов позволяет с достаточной степенью точности определять значения их предела выносливости с минимальными показателями трудоемкости, что непосредственно скажется на повышении надежности валов.

Литература

1. Фомин А. И., Комаров В.А., Нуянзин Е.А. Формирование работоспособного поверхностного слоя для обеспечения надежности коленчатых валов автотракторной техники // Техника и оборудование для села. - 2017. - № 5. - С. 26-30.
2. Shkodkin A., Kashirin A., Klyuev O., Buzdygar T. Metal particles deposition simulation by surface abrasive treatment in gas dynamic spraying // J. of Thermal Spray Technology. 2006, Vol.15, No.3. pp. 382-386.
3. Shkodkin A., Kashirin A., Klyuev O., Buzdygar T. The basic principles of DYMET technology // Building on 100 Years of Success: proc. Of the Intern. Thermal Spray Conf. (Seattle. WA, USA). ASM International, 2006. pp. 1-4.

4. Абзалов А.Р., Волкова И.И. Технологические методы обеспечения усталостной прочности упругих элементов // Инженерный вестник Дона. 2014. №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2351.

5. Пат. 101830 Российская Федерация, МПК G 01 M 15/02. Устройство для контроля и оценки деформации коленчатого вала/П. В. Сенин, А. И. Фомин, Е. А. Школкин; Патентообладатель ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева». - 2010136897/28, заявл. 02.09.2010; опубл. 27.01.2011, Бюл. № 3, ч. 4. 1 с.

6. Фомин А. И. Совершенствование технологии восстановления чугуновых коленчатых валов электроконтактной приваркой стальной ленты через промежуточный слой: дис. канд. техн. наук / А. И. Фомин; Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева. -Саранск, 2012. – 202 с.

7. Фомин А. И., Сенин П.В., Денисов В.А. Прочность чугуновых коленчатых валов восстановленных электроконтактной приваркой стальной ленты // Тр. ГОСНИТИ. – 2012. – Т. 109, ч. 2. – С. 117 – 122.

8. Фомин А.И., Нуянзин Е.А. Ускоренные испытания на надежность коленчатых валов // Сельский механизатор. 2016. № 9. С. 38-40.

9. Власкин В.В. Особенности балансировки роторов турбокомпрессоров автотракторных двигателей при ремонте // Инженерный вестник Дона. 2018. №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5409.

10. Денисов В.А. Обеспечение работоспособности и повышение долговечности восстанавливаемого коленчатого вала двигателя ЗМЗ-53. Дисс...канд. техн.наук. 05.20.03. Москва, 1990. – 216 с.

References

1. Fomin A. I., Komarov V. A., Nuyanzin E. A. Technika i oborudovanie dlya sela. 2017. № 5. pp. 26-30.

2. Shkodkin A., Kashirin A., Klyuev O., Buzdygar T. J. of Thermal Spray Technology. 2006. Vol.15. №.3. pp. 382-386.

3. Shkodkin A., Kashirin A., Klyuev O., Buzdygar T. Building on 100 Years of Success: proc. Of the Intern. Thermal Spray Conf. (Seattle. WA, USA). ASM International, 2006. pp. 1-4.
4. Abzalov A.R., Volkova I.I. Inzhenerny`j vestnik Dona (Rus), 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2351.
5. Pat. 101830 Rossijskaya Federaciya, MPK G 01 M 15/02. Ustrojstvo dlya kontrolya i ocenki deformacii kolenchatogo vala/P. V. Senin, A. I. Fomin, E. A. Shkolkin; Patentobladatel` GOUVPO «Mordovskij gosudarstvenny`j universitet im. N. P. Ogareva». 2010136897/28, zayavl. 02.09.2010; opubl. 27.01.2011, Byul. № 3, ch. 4. 1 p.
6. Fomin A. I. Sovershenstvovanie texnologii vosstanovleniya chugunny`x kolenchaty`x valov e`lektrokontaktnoj privarkoj stal`noj lenty` cherez promezhutochny`j [Improvement of the technology of restoration of cast-iron crankshafts by electrocontact welding of a steel tape through an intermediate layer] Mordovskij gosudarstvenny`j universitet im. N. P. Ogareva. Saransk, 2012. 202 p.
7. Fomin A. I., Senin P. V., Denisov V. A. Tr. GOSNITI. 2012. T. 109, ch. 2. pp. 117 – 122.
8. Fomin A.I., Nuyanzin E.A. Sel`skij mexanizator. 2016. № 9. pp. 38-40.
9. Vlaskin V.V. Inzhenerny`j vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5409.
10. Denisov V.A. Obespechenie rabotosposobnosti i povy`shenie dolgovechnosti vosstanavlivaemogo kolenchatogo vala dvigatelya ZMZ-53 [Ensuring efficiency and increasing the durability of the restored crankshaft of the engine ZMZ-53]. Diss...kand. texn.nauk. 05.20.03. Moskva, 1990. 216 p.