Научная статья

Original article

УДК 621.824.32

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

METHODOLOGY FOR TESTING THE FATIGUE STRENGTH OF CRANKSHAFTS

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

Калиев Ербол Батырханович, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Академия логистики и транспорта, г.Алматы

Тыныбеков Шынболат Кайырбекулы, ассистент, преподаватель, Академия логистики и транспорта, г.Алматы

Karzhaubayev Adil Saginbekovich, adil.karzhaubaev@mail.ru

Kaliev Erbol Batyrkhanovich, adil.karzhaubaev@mail.ru

Tynybekov Shynbolat Kayyrbekuly, adil.karzhaubaev@mail.ru

Аннотация: Предлагаемый к публикации материал посвящен решению актуальных вопросов исследования на усталостную прочность восстановленных коленчатых валов. Многочисленными исследованиями установлено, что применение наплавочных процессов значительно снижает усталостную прочность восстановленных деталей в особенности деталей работающих в условиях знакопеременных циклических нагрузок. Для чугунного коленчатого вала работающего в условиях знакопеременных

циклических нагрузок, восстановленного наплавкой проведение исследований по усталостной прочности обязательно.

Annotation: The material proposed for publication is devoted to solving topical issues of research on the fatigue strength of restored crankshafts. Numerous studies have established that the use of surfacing processes significantly reduces the fatigue strength of restored parts, especially parts operating under alternating cyclic loads. For a cast-iron crankshaft operating under alternating cyclic loads, restored by surfacing, research on fatigue strength is mandatory.

Ключевые слова: коленчатый вал, усталостная прочность, тензодатчик, сила инерции, широкослойная наплавка

Keywords: crankshaft, fatigue strength, load cell, inertia force, wide-layer surfacing

Объектом исследования являются коленчатые валы двигателей ЗМЗ-53 образцы из которых изготавливались без дополнительных технологических воздействий, после восстановления на исследуемом кривошипе коленчатого вала. Исследованию подвергаются три серии коленчатых валов двигателя ЗМЗ-53: эталонная, новые коленчатые валы производства Заволжского моторного завода; восстановленные наплавкой по технологии ГосНИТИ (Государственный научно-исследовательский технологический институт); коленчатые валы двигателя ЗМЗ-53 восстановленные широкослойной наплавкой.

Целью проведения настоящих исследований является определение количественных характеристик усталостной прочности испытуемых коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53 и сравнение их между собой. Это, в конечном итоге, позволит оценить и получить сравнительные результаты по усталостной прочности для испытанных серий коленчатых валов ЗМЗ-53.

Испытания коленчатых валов трёх исследуемых серий на усталость проводились в лаборатории на усталостном стенде 64 «Н», см. рисунок 1.

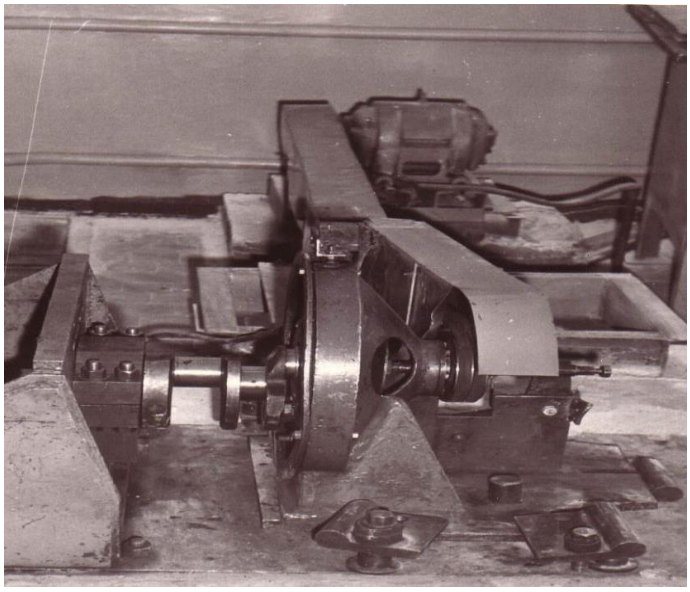


Рисунок 1 – Общий вид стенда для испытаний на усталость

Здесь испытывались коленчатые валы ГАЗ-51, полуоси ЗИЛ-130 и ЗМЗ-53 и др. детали [3, 4]. Поэтому для сохранения преемственности и сопоставимости получаемых данных наших испытаний, вопросы методического и организационного характера приняты без изменений.

Образцы для исследований коленчатых валов двигателя ЗМЗ-53 выбирают из готовых к постановке на двигатель. Для этого целый вал разрезается по средней (третьей) коренной шейке, где проходит плоскость симметрии. Остатки коренной шейки, четвертая и пятая шейки полностью удаляются.

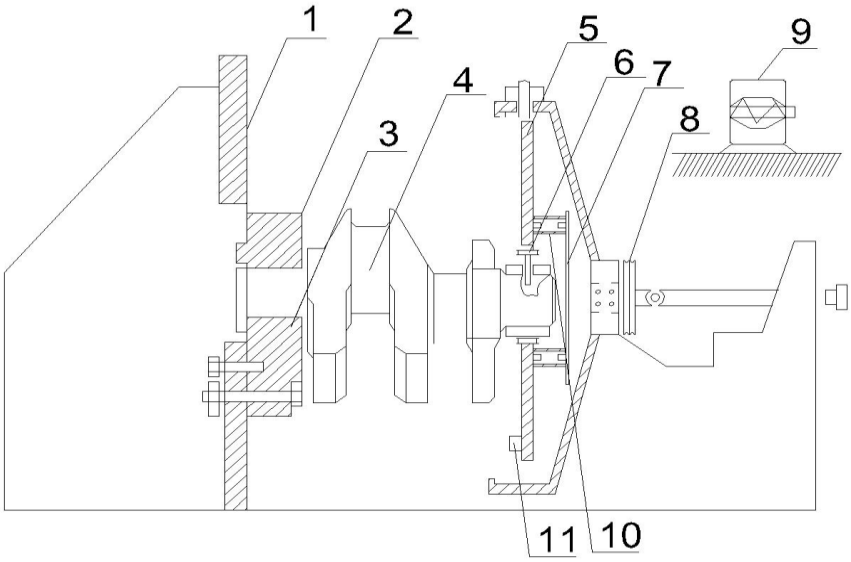
Вблизи плоскости реза допускаются температурные воздействия на вторую и третью шатунные шейки и на третью и шестую щеку. Никаких технологических воздействий на первую и четвертую шатунную, первую и пятую коренную шейки и щёки №1,2,7,8 не допускается. Из одного коленчатого вала, таким образом, получается два одинаковых натурных образца.

Порядок технологических операций при этом был принят следующий: изготовление втулки переднего конца вала и её напрессовки; формирование обточкой и шлифовкой в центрах шейки защемления; разрезание вала по средней, третьей коренной шейке (по плоскости симметрии); маркировка

образцов попарно; удаление фрезерованием (обточкой) остатков шейки и щеки, формуя тем самым шатунную шейку для посадки диска – возбудителя; создание фрезеровкой лыски, удерживающей вал от проворота и сверление отверстия диаметром 8-12мм глубинной 10-12мм под контрящий штифт переходных втулок посадки возбуждающего диска; окончательная маркировка образцов по сериям и внутри серий; магнитный контроль образцов коленчатых валов на наличие трещин.

Испытания проводились на стенде для натурных усталостных испытаний автомобильных деталей, осуществляющем нагружение изгибом от сил инерции детали установленной и надежно закрепленной за один из концов, при вращении силовой плоскости согласно ГОСТ 2860-65 [1].

Принципиальная схема усталостной машины типа 64«Н» показана на рисунке 2.



1- плита стенда; 2- крышки; 3 -зажим; 4- образец коленчатого вала; 5 –диск; 6- подшипник 11706; 7- ведущий диск; 8- ведомый диск; 9- электромотор; 10- эластичные втулки; 11- дисбалансные массы.

Рисунок 2 – Принципиальная схема стенда 64 «Н» для испытаний на усталость

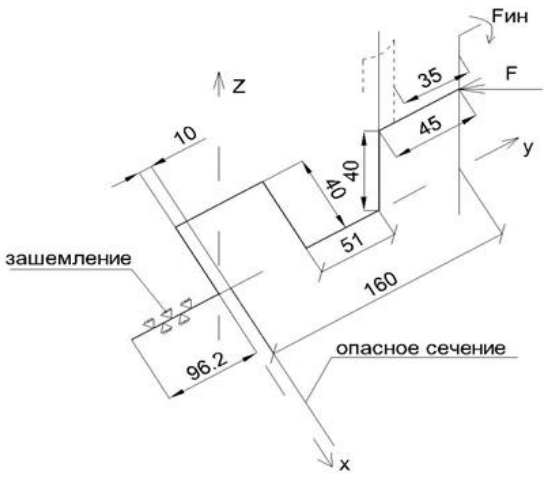


Рисунок 3 – Схема нагружения коленчатого вала ЗМЗ-53 при натурных усталостных испытаниях на машине 64 «Н».

От электромотора через промежуточную опору вращение передается ведущему диску 7, который через две эластичные втулки 10 приводит в движение диск – возбудитель 5. Передаточное отношение привода выбрано близким к единице таким образом, что частота возбуждения равна 25гц (1500об/мин). На диск возбудитель устанавливаются дисбалансные массы 11, величиной которых регулируется сила нагружения детали. Через радиальный двухрядный шариковый самоцентрирующийся подшипник качения №11216 и переходные втулки усилие передается на деталь 4.

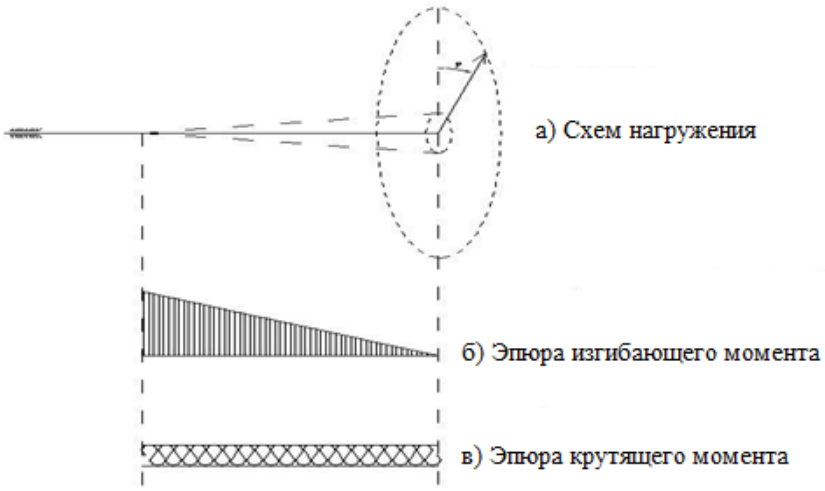


Рисунок 3 – Схема испытаний, заложенная в основу стенда 64 «Н».

В общем случае рассмотренная система представляет консольно защемленную раму, рисунок 2,3 нагруженную на свободном конце сосредоточенной силой $F_{ин}$, имеющей круговое вращение с частотой 25гц. Тип зажима выбран конструктивно с предварительным апробированием. С помощью шести болтов М20 зажим навешивается на несущую плиту 1, имеющую жесткую связь с фундаментом машины. Нижняя половина зажима более жесткая, чем верхняя, и при переборках (смене) образца не снимается. Зажим имеет разъем в горизонтальной плоскости. Надежное защемление обеспечивается при затяжке 4-х болтов М18 крышки 2 и нижней половины зажима с моментом 30 кгм. Зажим обеспечивает защемление шеек образцов из коленчатых валов номинального и всех ремонтных размеров. Предложенная конструкция зажима довольно проста и отвечает требованию надежного защемления испытываемых коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53.

Место расположения опасного сечения определяется реальной схемой защемления, рисунок 3. Оно находится в крайних сечениях шатунной шейки возле защемленной усиленной щеки коленчатого вала на расстоянии, которое можно вычислить по следующей формуле:

$$L = 124 + l_1, \quad (1)$$

где L - плечо приложения нагрузка, мм;

l_1 - длина первого кривошипа от оси штифта до упорного бурта щеки колена, равная 36мм определяемая конструктивно.

В первом приближении принимаем плечо приложения нагрузки равным L=160мм. Учитывая неточность расположения стопорного штифта на образцах при изготовлении, следует величину l_1 сделать контрольной и замерять на всех образцах, так как ее отклонения приводят затем к изменению изгибающего момента действующего на вал.

В силу того, что опасное сечение представляет собой кольцо с размерами Д и d мм (наружный и внутренний диаметры соответственно),

вычисление моментов инерции J_i и сопротивления W_i данного сечения значительно упрощается.

В этом случае ввиду симметричности сечения $J_x=J_y$, следовательно:

$$J_x = J_y = \frac{J_P}{2}, \quad (2)$$

где, J_p - полярный момент инерции равен:

$$J_P = \frac{\pi D^4}{32}\left(1 - c^4\right), \quad (3)$$

где, $c = \frac{d}{D}$,

Наряду с расчетным значениями величины амплитуды колебания свободного конца и силы инерции предусматривается их непосредственное измерение при работе машины. Амплитуда перемещения свободного конца измеряется вибрографом РВ-1, а сила инерции, нагружающая коленчатый вал, с помощью тензодатчиков сопротивления и принимаемой для этих целей серийной аппаратуры.

Как уже отмечалось, эпюры изгибающего и крутящего моментов не меняют своего характера и по форме остаются неизмененными.

Изменяется лишь значение ординаты в опасном сечении. На рисунке 3 построены эпюры указанных моментов от единичной силы. Чтобы получить значение приведенного момента в необходимом сечении, нужно значение ординаты эпюры моментов от единичной силы в необходимом сечении умножить на величину силы нагружения [4].

Действующие напряжения определяются по известным формулам, причем расчет ведется по номинальном напряжениям. Особое внимание обращается на соблюдение условий проведения испытаний, которые изложены в работе [2]. Аналогично проводится математическая обработка результатов усталостных испытаний натурных коленчатых валов двигателя [1].

Таким образом, значения номинального напряжения и числа циклов до разрушения (а также базы испытаний, принятой за $10 \cdot 10$ циклов), заносятся в сводной протокол испытаний данной серии . На основании сводных

протоколов вычисляются пределы выносливости исследованных деталей, строятся графики кривых повреждаемости и вычисляются корреляционные уравнения кривых выносливости с последующим анализом долговечности испытанных серий.

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. - 290s.

© Каржаубаев А.С., Калиев Е.Б., Тыныбеков Ш.К., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022.

Для цитирования: Каржаубаев А.С., Калиев Е.Б., Тыныбеков Ш.К. Методика проведения испытаний на усталостную прочность коленчатых валов// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022