

Важность выделения факторов пяти порядков, доведенных до элементарных, и их расчета заключается в возможности принятия обоснованных управленческих решений. Это позволяет правильно сформулировать стратегию своего дальнейшего развития, направленную в конечном итоге на завоевание рынка, либо успешного противостояния в жесткой конкурентной борьбе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шеремет, А.Д. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия/ А.Д. Шеремет. – Москва: Инфра-М, 2009. – 365 с.
2. Любушин, Н.П. Экономика организации/ Н.П. Любушин. – Москва: КноРус, 2010. – 303 с.

3. Когденко, В.Г. Экономический анализ/ В.Г. Когденко. – 2-е изд., пер. и доп. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. – 392 с.
4. Савицкая, Г.В. Анализ эффективности и рисков предпринимательской деятельности: методологические аспекты/ Г.В. Савицкая. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 270 с.
5. Вахрушина, М.А. Комплексный анализ хозяйственной деятельности: уч. пособ.; под общ. ред. М.А. Вахрушиной. – М.: учеб. – 2008. – 463 с.
6. Ришар, Ж. Аудит и анализ хозяйственной деятельности предприятия; пер. с фр.; под общ. ред. Л.П. Бельх. – М.: Аудит, ЮНИТИ.Ю, 1997 – 376 с.
7. Анализ хозяйственной деятельности в промышленности: учеб./ В.И. Стражев [и др.]; под общ. ред. В.И. Стражева, Л.А. Богдановской. – 7-е изд., испр. – Мн.: Выш. шк., 2008. – 527 с.

УДК 631.3.02.004.67

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 29.11.2011

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАБОТКИ ШЕЕК КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ПОД ОЧЕРЕДНЫЕ РЕМОНТНЫЕ РАЗМЕРЫ

А.П. Кастрюк, канд. техн. наук, доцент (ПГУ)

#### Аннотация

*Приведен анализ статистического материала по измерению отклонений осей коренных и шатунных шеек коленчатых валов от оси вращения шпинделя шлифовального станка при обработке. Определены доли заготовок, шейки которых могут быть обработаны под очередной ремонтный размер без нанесения восстановительных покрытий. Обоснованы ресурсосберегающие мероприятия по совершенствованию процессов восстановления коленчатых валов.*

*The paper gives analysis of statistical data showing deviation of main and rod journal axes from spindle rotation axis in a grinding machine at work. There has been determined how many blanks can have their journals treated for another repair size without restoring coating. There have been justified the resource-saving measures for enhancing crankshaft restoration.*

#### Введение

Восстановление коленчатых валов предполагает обработку резанием (шлифованием и полированием) их коренных и шатунных шеек под номинальный или ремонтные размеры. Коленчатый вал – ресурсная деталь, достижение предельного состояния которой обуславливает, как правило, капитальный ремонт двигателя. Техническая документация предусматривает для коленчатых валов двигателей разных марок от двух до шести ремонтных размеров их шеек. При исчерпании всех ремонтных размеров возможно или нанесение восстановительных покрытий (наплавочных или напыленных), или установка дополнительных ремонтных деталей (ДРД) с последующей обработкой шеек под номинальный размер. Использование всех ремонтных размеров шеек валов должно обеспечить нормативную амортизационную наработку двигателей с полным использованием долговечности деталей и наименьшим расходом производственных ресурсов (финансовых и энергетиче-

ских). Однако практика показывает, что заготовки в ряде случаев шлифуют через один или несколько ремонтных размеров, при исчерпании которых требуется нанесение покрытий или установка ДРД в виде полуколец. Причинами этого являются:

- большая несоосность коренных шеек валов;
- различные схемы базирования заготовок на разных ремонтных предприятиях;
- стремление рабочих получить большую зарплату за счет увеличения объема восстановительных работ;
- необеспеченность сборочных рабочих мест сопрягаемыми комплектующими деталями (вкладышами коренных и шатунных подшипников) необходимых ремонтных размеров.

Несоосность коренных шеек устраняют поэлементной (инденторной) правкой. На различных ремонтных предприятиях используют различные поверхности заготовки в качестве технологических баз, в том числе двойных направляющих (шейки под шестерню и цилиндрическую поверхность фланца под

маховик) и опорных (отверстие во фланце, фрезерованную площадку на противовесе). Исключение погрешности базирования предполагает использование научно обоснованной схемы базирования, которая должна быть обязательной для всех ремонтных предприятий. Адаптивные схемы базирования коленчатых валов при их восстановлении рассмотрены в работе [1]. В производстве имеет место ориентирование закреплённой заготовки с помощью кувалды, чтобы ось шлифуемой шейки после небольшого перемещения по дуге окружности заняла наиболее близкое положение к оси вращения шпинделя станка. Доля коленчатых валов, восстанавливаемых с нанесением покрытий, чрезмерно большая и достигает 80 %.

Цель работы заключалась в обосновании возможности обработки шеек коленчатых валов под очередной ремонтный размер без пропуска промежуточных ремонтных размеров, что способствует полному использованию остаточной долговечности детали, заложённой при изготовлении.

### Основная часть

#### Методики, оборудование, инструменты

Исследования проводились на коленчатых валах ремонтного фонда двигателей ЗМЗ-53 при их установке на станки ЗА423, ХШ2-01 и ХШ2-16. Станок ЗА423 оснащён односторонним приводом заготовки со стороны ее носка, а станки ХШ2-01 и ХШ2-16 – двухсторонним приводом заготовки со стороны обоих концов заготовки. Шлифование коренных шеек предусмотрено на неподвижных центрах, а шлифование шатунных шеек – в центросместителях.

Жёсткие центросместители выставлены на станках с минимальной погрешностью из расчета получения нормативного значения радиуса кривошипа  $R = 40 \pm 0,05$  мм. Этот радиус при наладке станков контролируют на обработанной детали цеховыми измерительными средствами.

Коленчатые валы перед установкой на станок предварительно правили на гидравлическом прессе при установке крайними коренными шейками на призмы. С помощью рычажно-зубчатой головки ИЧ-10 в штативе, установленном на столе станка, измеряли смещение осей коренных или шатунных шеек коленчатых валов, установленных на станке, относительно оси вращения шпинделя станка. Это смещение является результатом погрешностей формы шейки и ее расположения относительно рабочей оси вращения детали в двигателе. Погрешность формы шейки образовалась из-за ее изнашивания, а погрешность расположения – по причине неудовлетворительного базирования заготовки во время предыдущего восстановления и деформирования детали при ее эксплуатации. Из измерений, проведенных на каждой заготовке, учитывалось наибольшее значение параметра. Необходимый припуск  $Z$  на шлифование шеек на сторону рассчитывают по формуле В.И. Кована [2, 3]

$$Z = \sum_1^n \left( Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{p_{i-1}}^2 + \Delta_{\phi_{i-1}}^2 + \delta_{\sigma_i}^2 + \delta_{z_i}^2 + \delta_{np_i}^2} \right), \text{ мм}, \quad (1)$$

где  $i = 1 \dots n$  – операции обработки;

$Rz_{i-1}$  и  $h_{i-1}$  – высота неровностей профиля и глубина поврежденного слоя на предшествующем (-ей) переходе (операции), мм;

$\Delta_{p_{i-1}}$  и  $\Delta_{\phi_{i-1}}$  – отклонения расположения и формы обрабатываемой поверхности на предшествующем (-ей) переходе (операции), мм;

$\delta_{\sigma_i}$  и  $\delta_{z_i}$  – погрешности базирования и закрепления заготовки на выполняемом (-ой) переходе (операции), мм;

$\Delta \delta_{np_i}$  – погрешность приспособления, мм.

Угол  $\alpha$  между направлением наибольшего смещения и плоскостью кривошипа при установке вала в секторе значений  $0-90^\circ$ ,  $90-180^\circ$ ,  $180-270^\circ$  и  $270-360^\circ$  определялся глазомерно.

В результате шлифования изношенной шейки вала диаметром  $d_{из}$  ее центр естественно совмещается с осью вращения шпинделя станка. При надлежащем базировании заготовки восстанавливаются нормативные радиус и угловое расположение кривошипа (рис. 1). Для снятия стружки по всей длине окружности шлифуемой шейки при достижении ближайшего ре-

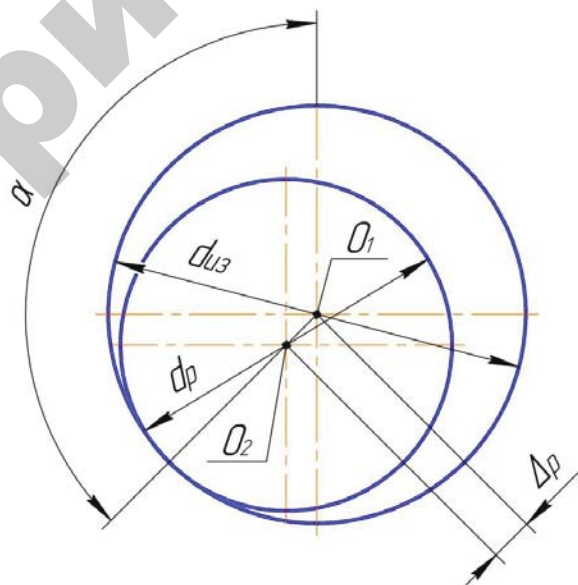


Рисунок 1. Схема расположения контура шатунной шейки вала диаметром  $d_p$  после обработки с центром  $O_2$ , совпадающим с осью вращения шпинделя станка, в контуре изношенной шейки диаметром  $d_{из}$  с центром  $O_1$

монтного размера  $d_p$  необходимо, чтобы контур сечения обработанной шейки был вписан в контур сечения изношенной шейки вала. Этому требованию отвечает условие

$$d_{из} - d_p = 2\Delta, \quad (2)$$

где  $d_{из}$  – диаметр изношенной шейки вала, мм;  
 $\Delta$  – геометрическая сумма отклонений расположения и формы обрабатываемой поверхности, мм.

Таким образом, если  $2\Delta \leq \text{РИ}$  (здесь РИ – ремонтный интервал, для коленчатого вала двигателя ЗМЗ-53 равен 0,25 мм), то вал можно обработать под очередной ремонтный размер. Учитывается наибольшее значение  $\Delta$  из всех шеек, потому что по этой шейке будет принято решение о выборе ремонтного размера всех шеек (коренных или шатунных) вала.

При расчете толщины восстановительного покрытия необходимо к припуску на обработку на сторону (1) добавить расстояние  $a$  от поверхности шейки, обработанной под номинальный размер, до изношенной поверхности, на которую наносят покрытие

$$a = \frac{d_n - d_{из}}{2}, \quad (3)$$

где  $d_n$  – номинальный диаметр шейки вала, мм.

Исследования включали измерения отклонений и расчет погрешностей при обработке ремонтных заготовок коленчатых валов резанием, статистическую обработку результатов и их анализ.

### Результаты работы и их обсуждение

Технологическими базами при обработке коренных шеек служат две конические поверхности центровых отверстий, связанные с пятью опорными точками. У заготовки остается одна степень свободы – возможность поворота вокруг оси опорных конусов. При шлифовании шатунных шеек в качестве технологических баз используют поверхности крайних коренных шеек (двойная направляющая база), упорный торец первой коренной шейки (опорная база) и боковая поверхность шпоночного паза под распределительную шестерню (опорная база). На шейку под распределительную шестерню устанавливают угловой делитель, который ориентируется призматической шпонкой. Такие схемы базирования должны применяться на всех предприятиях, которые обрабатывают коленчатые валы под ремонтные или номинальные размеры после нанесения покрытий или установки ДРД.

Шероховатость поверхностей шеек, которые не претерпели задиров и схватывания, не превышает  $Rz$  1,6-2,5 мкм. Поврежденный слой на поверхностях шеек после нормальной эксплуатации не обнаружен

( $h = 0$ ). Погрешности базирования равны нулю по причине совмещения измерительных баз с технологическими, а погрешности закрепления заготовки практически не ощутимы из-за незначительного деформирования опор и материала заготовки в месте контакта с опорами. Погрешности приспособления присутствуют, но путем трудоемких наладочных работ их приводят к минимальному значению, которое находится в пределах ошибки применяемых средств измерений. Таким образом, основное влияние на расчетный припуск при обработке резанием оказывают отклонения расположения и формы обрабатываемой поверхности, определяемые экспериментально (табл. 1, 2). Не рассматривались валы, претерпевшие схватывание шеек со вкладышами.

Анализ результатов показывает, что среднестатистическое смещение оси коренных шеек относительно оси вращения шпинделя станка составляет 0,049 мм, а шатунных шеек – 0,112 мм, что в 2,28 раза больше первого значения. Превышение геометрического центра шатунных шеек в два раза от допустимого значения приводит к росту дисбаланса и динамических нагрузок в 1,6-2,2 раза и снижению ресурса двигателя на 30 % из-за нарушения рабочего цикла, при этом снижается его топливная экономичность. Если смотреть на коленчатый вал со стороны носка и следить за распределением смещения осей коренных шеек различных валов относительно оси шпинделя станка, то окажется, что следы осей равномерно распределены по угловым секторам. Оси шатунных шеек преимущественно смещены вдоль радиуса кривошипа, что обусловлено жесткой конструкцией центростемителей и возможностью регулирования углового положения заготовки при ее базировании.

Вероятность обработки коренных шеек под очередной ремонтный размер (без пропуска ремонтного размера) близка к единице. Значение этого параметра для шатунных шеек составляет 0,21. Следовательно, необходимы отдельные подходы к восстановлению коренных и шатунных шеек. Коренные шейки, хотя и больше изношены, но имеют меньшие отклонения расположения. Они лучше поддаются шлифованию под очередной ремонтный размер и требуют меньшего объема нанесения покрытий. При восстановлении шатунных шеек коленчатого вала получают как нормативный диаметр шеек, так и нормативное расположение шатунных шеек по радиусу и углу кривошипов.

**Таблица 1. Распределение коленчатых валов по смещению оси средних коренных шеек относительно оси вращения шпинделя станка**

Смещение оси, мм	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	>0,10
Количество валов	0	0	1	4	6	9	8	4	4	3	2

**Таблица 2. Распределение коленчатых валов по наибольшему смещению оси шатунных шеек относительно оси вращения шпинделя станка**

Смещение оси, мм	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
Количество валов	2	4	6	7	7	6	4	3	2	3	2
Смещение оси, мм	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	>0,30
Количество валов	1	2	2	0	1	0	1	0	1	0	1

Требование обеспечивает зажигание рабочей смеси в цилиндрах двигателя через равные промежутки времени и меньшую вибрацию работающего двигателя.

При первом заводском восстановлении детали (после ее шлифования в мастерских) сначала возвращают ось шатунных шеек в положение, соответствующее нормативным значениям радиуса и угла кривошипа, т.е. исправляют брак в базировании на предыдущих восстановлении, а затем достигают размера, соответствующего очередному ремонтному размеру.

Однообразные схемы базирования восстанавливаемой детали на всех ремонтных предприятиях обеспечат большую долю валов, обработанных под очередной ремонтный размер шеек.

Измерение твердости материала шеек валов номинального и ремонтных размеров не выявили значимой разницы ее значений. Износостойкость восстановленных шеек как одно из основных эксплуатационных свойств детали может быть существенно повышена химико-термической обработкой и (или) закалкой. В последнее время внимание исследователей привлекает применение азотирования и карбонитрации [4], которые обеспечивают значимый прирост долговечности деталей.

#### Заключение

Геометрические отклонения коренных шеек от номинального расположения меньше соответствующих параметров шатунных шеек. Коренные шейки при каж-

дом восстановлении детали могут шлифоваться под очередной ремонтный размер. Если принять меры по совершенствованию базирования заготовки на всех ремонтных предприятиях, начиная с первого восстановления детали, то возможно будет шлифование и шатунных шеек под очередной ремонтный размер. Внедрение результатов работы в производство позволит уменьшить в 2-4 раза объем работ по нанесению восстановительных покрытий (наплавкой или напылением) или использованию ДРД.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов, А.Г. Совершенствование восстановления коленчатых валов методом ремонтных размеров: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.Г. Степанов; ВСХИЗО. – Балашиха, 1992. – 20 с.
2. Кован, В.И. Основы технологии машиностроения / В.И. Кован. – М.: Машгиз, 1959. – 494 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х томах. – Т. 1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
4. Школкин, Е.А. Повышение межремонтного ресурса чугунных коленчатых валов конструктивно-технологическими способами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Е.А. Школкин; Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. – Саранск, 2011. – 18 с.

УДК 621.43.001.4

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 9.11.2011

## СНИЖЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ ОБКАТОЧНО-ТОРМОЗНОГО СТЕНДА

В.Я. Тимошенко, канд. техн. наук, доцент, А.В. Новиков, канд. техн. наук, доцент,  
Д.А. Жданко, канд. техн. наук (БГАТУ)

#### Аннотация

*Рассмотрены вопросы снижения удельной металлоемкости обкаточно-тормозных устройств, перспективы разработки, создания и производства таких современных отечественных устройств и оснащения ими предприятий технического сервиса АПК.*

*Questions of decreasing in specific metal consumption of running-brake mechanisms, prospects of working out, creation and manufacture of such modern domestic devices and installing the equipment at the enterprises of technical service of agrarian and industrial complex are considered here.*

#### Введение

Финишной операцией ремонта двигателей и механизмов трансмиссии является обкатка, в процессе которой происходит приработка трущихся поверхностей деталей, а также испытание двигателей с целью определения их основных комплексных технико-экономических показателей – мощности и расхода топлива. Большинство используемых в настоящее время для этих целей обкаточно-тормозных стендов не только исчерпало свой ресурс, но и устарело морально,

так как ремонтные предприятия республики были оснащены ими более 20 лет назад. Повышение единичной мощности тракторов и самоходных комбайнов привело к уменьшению их численности и потребности в ремонте. Однако возникла потребность в ремонте и испытаниях двигателей мощностью свыше 300 кВт, которыми оснащены современные комбайны, работающие на полях Республики Беларусь. Ремонтное производство к этому не готово и, прежде всего, из-за отсутствия обкаточно-тормозных устройств большой мощности.