

УДК 621.86. 621. 629.3; 669.54. 793

## Тойгамбаев С.К., Карапетян М. А., Омаров Т.С., Абенов А.Т. Технология ремонта коленчатых валов двигателей

Engine crankshaft repair technology.

### Тойгамбаев С.К.

Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия, д.т.н., профессор кафедры технического сервис машин и оборудования.

### Карапетян М. А.

Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия, д.т.н., профессор кафедры технического сервис машин и оборудования.

### Омаров Т.С.

Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия, инженер - экономист кафедры технического сервис машин и оборудования.

### Абенов А.Т.

Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия, аспирант кафедры технического сервис машин и оборудования.

Toigambaev S. K.  
Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Technical Service of Machinery and Equipment.

Karapetyan M. A.  
Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Technical Service of Machinery and Equipment.

Omarov T.S.  
Timiryazev Russian State Agrarian University, Moscow, Russia, Engineer - economist of the Department of Technical Service of Machinery and Equipment.

Abenov A.T.  
Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia, postgraduate student of the Department of Technical Service of Machinery and Equipment.

**Аннотация:** Анализ литературы показывает, что для различных типов валов ремонт способом ремонтных размеров осуществляется в 50...60 % случаев на специализированных ремонтных предприятиях и 65...75 % на предприятиях типа сельхозтехника специализированных мастерских хозяйств. Разработка технологического процесса ремонта коленчатых валов является актуальной и требующей решения. В статье приводится технологический процесс восстановления шеек коленчатого вала.

**Ключевые слова:** коленчатый вал; деффектация; технологический процесс; ремонт; ресурс; прочность; жесткость; износостойкость.

**Abstract:** The analysis of the literature shows that for various types of shafts, repair by the repair method is carried out in 50... 60% of cases at specialized repair enterprises and 65... 75% at enterprises such as agricultural machinery of specialized workshops of farms. Based on the above, the development of the crankshaft repair process is relevant and requires a solution. The article describes the technological process of restoring crankshaft journals.

**Keywords:** crankshaft; deffection; technological process; repair; resource; strength; stiffness; wear resistance.

**Рецензент:** Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

При достижении определённой величины износа шеек, вал необходимо восстанавливать. Восстановления коленчатых валов представляет актуальную и не до конца решённую задачу ремонтного производства. У поступающих в ремонт коленчатых валов при дефектации обнаруживается множество различных дефектов, но при этом до 95 % всех дефектов валов приходится на коренные и шатунные шейки. Поэтому решение вопроса о ремонте шеек коленчатых валов представляет собой наиболее важную задачу. В качестве изделия представителя выбран коленчатый вал (деталь № 511-1005015-20) двигателя ЗМЗ-511 грузового автомобиля ГАЗ-3307, так как ему присущи все вышеперечисленные закономерности. При разработке технологического процесса его ремонта необходимо учитывать оснащение данного предприятия и его технологические возможности.

Коленчатые валы, поступающие в ремонт, подвергаются мойке и дефектации. В процессе дефектации происходит выбраковка валов не подлежащих ремонту. Выбраковочным признаком служит наличие на шейках коленчатого вала кольцевых трещин или трещин выходящих на галтели. Валы, не исчерпавшие свой ресурс и, соответственно, годные к ремонту перешлифовываются на один из шести ремонтных размеров. При этом необходимо отметить, что валы изношенные сверх ремонтных размеров восстанавливаются плазменной наплавкой. Общая схема ремонта коленчатого вала 511-1005015-20 приведена на рисунке 1. Правка вала и его последующая токарная обработка, являются взаимосвязанными операциями, то есть, если нет необходимости в правке вала и его не правят, то и нет необходимости в исправлении центровых фасок. Соответственно токарная обработка не проводится. Годные к ремонту валы подвергаются перешлифовке под один из ремонтных размеров. Сначала шлифуются коренные шейки, затем шатунные (рис.2). Для финишной обработки шеек коленчатого вала обычно применяется полировка, с помощью которой достигается требуемая шероховатость поверхности. В данном случае полировку заменяет алмазное выглаживание, при помощи которого достигается не только требуемая чистота обработки поверхности шеек, но и значительное упрочнение их поверхностного слоя. Сначала упрочняются коренные шейки, затем шатунные. После упрочнения производится мойка коленчатого вала, при которой удаляются продукты обработки вала, такие как стружка, масло, частицы абразива и тому подобное. Завершающей операцией является контроль качества проведённого ремонта

коленчатого вала.

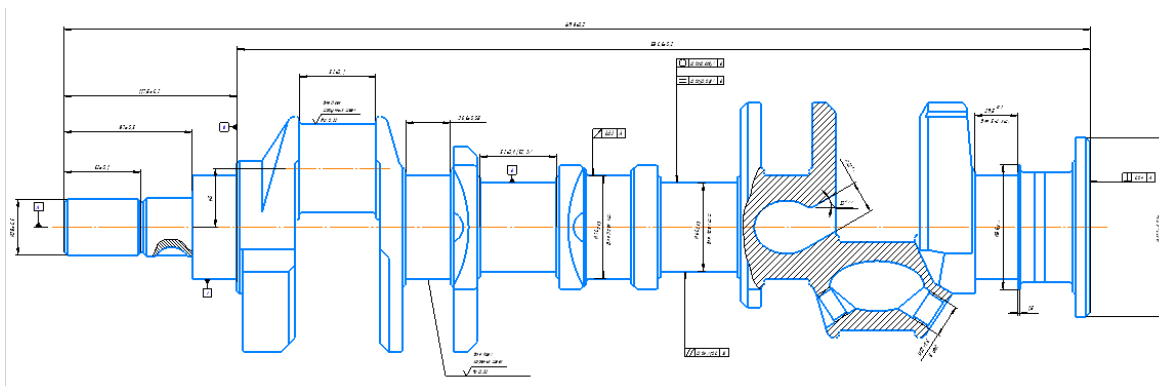


Рис. 1. Коленчатый вал двигателя ЗМЗ-511

*Технологический процесс ремонта коленчатого вала.* Технологический процесс ремонта коленчатого вала методом обработки под ремонтный размер включает в себя следующие операции:

- |                   |                    |                  |
|-------------------|--------------------|------------------|
| 005 Очистная:     | 010 Дефектовочная: | 015 Правочная:   |
| 020 Токарная:     | 025 Наплавочная:   | 030 Наплавочная: |
| 035 Шлифовальная: | 040 Шлифовальная:  | 045 Упрочнение:  |
| 050 Упрочнение:   | 055 Очистная:      | 060 Контрольная  |

Выбор режимов и расчет норм времени выполнения операции

#### 005 Очистная

Содержание: загрузить коленчатый вал в контейнер моечной установки, очистить поверхность коленчатого вала от загрязнений. Оборудование: установка моечная ОМ-14266-ГОСНИТИ. Материалы и режимы: 1 % раствор каустической соды  $t = 90^{\circ}\text{C}$ , водяной пар  $t = 120...130^{\circ}\text{C}$

Нормирование: Технологическая норма времени на операцию определяется по формуле:

$$T_n = T_o + T_{всп} + T_{доп} + (T_{пз}/n), \quad (1)$$

где  $T_n$  – норма времени, мин;  $T_{всп}$  – вспомогательное время, мин;

$T_o$  – основное время, мин;  $T_{доп}$  – дополнительное время, мин;

$T_{пз}$  – подготовительно – заключительное время, мин;  $n$  – количество деталей в партии, шт.

Штучное время на операцию составляет сумма основного, вспомогательного и дополнительного времени /22/, т.е.:

$$T_{шт} = T_o + T_{всп} + T_{доп}, \quad (2)$$

Сумма основного и вспомогательного времени составляет оперативное время,

18

$$\text{т.е. :} \quad T_{\text{оп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{всп}}, \quad (3)$$

Дополнительное время определим из выражения:

$$T_{\text{доп}} = (T_{\text{оп}} \cdot K) / 100 \quad (4)$$

где  $K$  – процентное отношение дополнительного времени к оперативному,  
 $K = 15$ .

$$T_{\text{о}} = 20 \text{ мин.} \quad T_{\text{всп}} = 3,2 \text{ мин.} \quad T_{\text{доп}} = ((20+3,2) \cdot 15) / 100 = 3,5 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{шт}} = 20 + 3,2 + 3,5 = 26,7 \text{ мин.} \quad T_{\text{пз}} = 5 \text{ мин.} \quad T_{\text{н}} = 26,7 + 5 = 31,7 \text{ мин.}$$

010 Дефектовочная: Содержание: установить вал в призмы, проверить наличие дефектов, при наличии на поверхности вала трещин вал браковать. Оборудование: стол для дефектации деталей ОРГ-1468-099А-ГОСНИТИ, магнитный дефектоскоп М217. Приспособление, оснастка, инструмент: призмы П-2-1 ГОСТ-5641-86, секундомер, лупа 6-ти кратного увеличения, выводные контакты, штангенциркуль ШЦ-II-125-0,05 ГОСТ 166-90.

Материал: суспензия магнитная, состав: 25...30 г  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 1 л керосина ГОСТ 18499-83. Режимы:  $U=15 \text{ В}$ ,  $I=150 \text{ А}$ .

Нормирование:  $T_{\text{шт}} = 5 \text{ мин.}$   $T_{\text{пз}} = 3,4 \text{ мин.}$   $T_{\text{н}} = 8,4 \text{ мин.}$

015 Правочная: Содержание: при наличии биения 4-й коренной шейки более 0,20 мм править вал. Установить вал на призмы прессы, выправить вал до биения не более 0,20 мм. Оборудование: пресс гидравлический ОКС-1671 М. Приспособление, оснастка, инструмент: призмы для правки 70-7304-1006, стойка индикаторная 70-8731-105А, индикатор ИЧ 10 кл.1 ГОСТ 577-88.

Нормирование:  $T_{\text{шт}} = 5,6 \text{ мин.}$   $T_{\text{пз}} = 6 \text{ мин.}$   $T_{\text{н}} = 5,6 + 6 = 11,6 \text{ мин.}$

020 Токарная: Содержание: установить вал на токарном станке и исправить центровые фаски. Оборудование: станок токарно-винторезный 1М63. Приспособление, оснастка, инструмент: резец расточной Т15К6, штатив Ш-ПН-8 ГОСТ 10197-85, индикатор ИЧ 10 кл.1 ГОСТ 577-88. Режимы: частота вращения вала  $n = 160 \text{ мин}^{-1}$ , подача ручная.

Нормирование:  $T_{\text{шт}} = 2,5 \text{ мин.}$   $T_{\text{пз}} = 11 \text{ мин.}$   $T_{\text{н}} = 2,5 + 11 = 13,5 \text{ мин.}$

025 Наплавочная: Режимы плазменного напыления взятые на основе опытных данных специализированных предприятий лабораторий плазменного напыления ВНИИТУВИД «Ремдеталь».

*Режимы наплавки.* Сила сварочного тока - 200... 210 А. Напряжение дуги - 30.. .35 В. Скорость наплавки 0,12...0,15 м/мин Ток на деталь- 140... 150 А

Колебатель - 1 Гц. Амплитуда - 7 мм.

*Расход:* Защитного газа аргона - 5.. .6 л/мин. Плазмообразующего газа аргона -

1,5.. .2 л/мин. Транснормирующего газа аргона - 2,5.. .3 л/мин. Штучное время - 25,5 минуты Разряд работ - 4.

030 Наплавочная: Операцию производят.

*Режимы наплавки:* Сила сварочного тока - 200... 210 А. Напряжение дуги - 30...35 В. Скорость наплавки 0,12...0,15 м/мин. Ток на деталь- 140... 150 А Колебатель - 1 Гц. Амплитуда - 7 мм

*Расход:* Защитного газа аргона - 5.. .6 л/мин. Плазмообразующего газа аргона - 1,5.. .2 л/мин. Транспортирующего газа аргона - 2,5.. .3 л/мин. Воды-4...5 л/мин. Штучное время - 36,6 минуты. Разряд работ - 4.

035 Шлифовальная: Содержание: закрепить вал в центросместители, шлифовать поверхности коренных шеек до одного из ремонтных размеров в соответствии с таблицей 3.3, в последовательности 1-2-3-4-5. Оборудование: станок круглошлифовальный 3А423. Приспособление, оснастка, инструмент: центросместители цеховые, круг шлифовальный ПП 750-305-30 Э46 СМ<sub>2</sub>-СК ГОСТ 2424-82, индикатор часового типа ИЧ 10 кл.1 ГОСТ 577-88, микрометр МК 75-2 ГОСТ 6507-88, фартук ГОСТ 12.4.029-86, очки защитные. Материалы: раствор содомыльный 5%.

Режимы: выбор и расчёт режимов работы станка осуществляется по его паспортным данным. 1) глубина шлифования 0,1 мм; 2) скорость вращения 20 м/мин; 3) поперечная подача  $S_{\text{попер}}=0,005$  мм/об; 4) продольная подача при  $\beta=0,2$  и  $B_k=30$  мм

$$S_{\text{пр}} = \beta \cdot B_k, \text{ мм/об} \quad (5)$$

$$S_{\text{пр}} = 0,2 \cdot 30 = 6 \text{ мм/об};$$

$$1) \text{ число проходов: } i = (D_n - D) / (2 \cdot S_{\text{попер}}), \quad (6)$$

где  $D_n$  – необработанный диаметр, мм;  $D$  – обработанный диаметр, мм;

$$i = 0,1 / (2 \cdot 0,005) = 10$$

$$2) \text{ число оборотов: } n = 318 \cdot V_{\text{ок}} / D, \quad (7)$$

$$n = 318 \cdot 20 / 69 = 92 \text{ об}$$

$$\text{Нормирование: } T_o = T_o' \cdot n, \quad (8)$$

где  $T_o'$  - основное время на обработку одной шейки, мин;

$n$  - число обрабатываемых шеек.

$$T_o = 1,3 \cdot 5 = 6,5 \text{ мин}, T_{\text{всп}} = 12 \text{ мин. } T_{\text{оп}} = 12 + 6,5 = 18,5 \text{ мин},$$

$$T_{\text{доп}} = 0,09 \cdot 18,5 = 1,7 \text{ мин}, T_{\text{пз}} = 6 \text{ мин}, T_{\text{шт}} = 6,5 + 12 + 1,7 = 20,2 \text{ мин},$$

$$T_n = 20,2 + 6 = 26,2 \text{ мин}$$

040 Шлифовальная: Содержание: закрепить вал в центросместители, шлифовать поверхности шатунных шеек до одного из ремонтных размеров в соответствии с таблицей 3.3, в последовательности 2-3, 1-4. Оборудование: станок круглошлифовальный 3А423. Приспособление, оснастка, инструмент: центросместители цеховые, круг шлифовальный ПП 750-305-30 Э46 СМ2-СК ГОСТ 2424-82, индикатор часового типа ИЧ 10 кл.1 ГОСТ 577-88, микрометр МК 75-2 ГОСТ 6507-88, фартук ГОСТ 12.4.029-86, очки защитные.

Режимы: выбор и расчёт режимов работы станка осуществляется по его паспортным данным.

1) глубина шлифования 0,1 мм; 2) скорость вращения 20 м/мин;

3) поперечная подача  $S_{\text{попер}} = 0,005$  мм/об;

4) продольная подача при  $\beta = 0,2$  и  $B_k = 30$  мм по формуле (5)

$$S_{\text{пр}} = 0,2 \cdot 30 = 6 \text{ мм/об};$$

5) число проходов по формуле (6)  $i = 0,1 / (2 \cdot 0,005) = 10$ .

6) число оборотов по формуле (7)  $n = 318 \cdot 20 / 59 = 108$  об

Нормирование:  $T_o = 2,7 \cdot 4 = 10,8$  мин.  $T_{\text{всп}} = 13,5$  мин.

$$T_{\text{оп}} = 10,8 + 13,5 = 24,3 \text{ мин}, \quad T_{\text{доп}} = 0,09 \cdot 24,3 = 2,2 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{пз}} = 6 \text{ мин.} \quad T_{\text{шт}} = 10,8 + 2,2 + 13,5 = 26,5 \text{ мин}$$

$$T_{\text{н}} = 26,5 + 6 = 32,5 \text{ мин}$$

045 Упрочнение: Содержание: установить коленчатый вал в центросместители, произвести упрочнение поверхности коренных шеек вала алмазным выглаживанием в последовательности 1-2-3-4-5. Оборудование: станок токарно-винторезный 16К20. Приспособление, оснастка, инструмент: центросместители цеховые, двухалмазное копирное устройство для выглаживания собственного изготовления.

Режимы: Радиус алмаза 1,5 мм. Подача 0,04 мм/об.

Сила выглаживания 140 Н. Скорость выглаживания 100 м/мин.

Обработка выполняется за один проход

Нормирование:  $T_o' = 1,7$  мин (на одну шейку).  $T_o = 5 \cdot 1,7 = 8,5$  мин.

$$T_{\text{всп}} = 8 \text{ мин.} \quad T_{\text{оп}} = 8,5 + 8 = 16,5 \text{ мин}, \quad T_{\text{доп}} = 16,5 \cdot 0,09 = 1,5 \text{ мин}$$

$$T_{\text{шт}} = 8,5 + 8 + 1,5 = 18 \text{ мин.} \quad T_{\text{пз}} = 12 \text{ мин.} \quad T_{\text{н}} = 18 + 12 = 30 \text{ мин}$$

### 050 Упрочнение

Содержание: установить коленчатый вал в центросместители, произвести упрочнение поверхности шатунных шеек вала алмазным выглаживанием в последовательности 2-3, 1-4. Оборудование: станок токарно-винторезный 16К20.

Приспособление, оснастка, инструмент: центросместители цеховые, двухалмазное

копирное устройство для выглаживания собственного изготовления.

Режимы: Радиус алмаза 1,5 мм. Подача 0,04 мм/об.

Сила выглаживания 140 Н. Скорость выглаживания 100 м/мин

Обработка выполняется за один проход

Нормирование:  $T_o' = 2,5$  мин (на одну шейку)  $T_o = 4 \cdot 2,5 = 10$  мин.

$T_{всп} = 8$  мин.  $T_{оп} = 10 + 8 = 18$  мин.  $T_{доп} = 18 \cdot 0,09 = 1,6$  мин.

$T_{шт} = 10 + 8 + 1,6 = 19,6$  мин.  $T_{пз} = 12$  мин.  $T_n = 19,6 + 12 = 31,6$  мин.

055 Очистная: Выполняется аналогично операции 005.

060 Контрольная: Содержание: произвести комплексный контроль коленчатого вала: контроль геометрических параметров шеек, формы и расположения поверхностей, шероховатости поверхности шеек, их твёрдости. Оборудование: стол для дефектации деталей ОРГ-1468-099А-ГОСНИТИ. Приспособление, оснастка, инструмент: скобы СР 15-100, СР 100-125; индикатор часового типа ИЧ 10 кл.1 ГОСТ 577-88; лупа 6-ти кратного увеличения; микрометр МК 75-2 ГОСТ 6507-88; образцы шероховатостей ГОСТ 9378-85; твердомер ТК-2М ГОСТ 23677-89.

Нормирование:  $T_{шт} = 2$  мин.  $T_{пз} = 1$  мин.  $T_n = 2 + 1 = 3$  мин.

Норма времени на весь технологический процесс ремонта коленчатого вала 511-1005015-20 двигателя ЗМЗ-511, мин

$$T_n = \sum T_n, \quad (9)$$

где  $\sum T_n$ - сумма норм времени на выполнение каждой операции технологического процесса

$$T_n = 31,7 + 8,4 + 11,6 + 13,5 + 26,2 + 32,5 + 30 + 31,6 + 31,7 + 3 = 220,2 \text{ мин} = 3,7 \text{ ч}$$

Таким образом, в данном разделе рассмотрена наиболее приемлемая схема технологического процесса ремонта коренных и шатунных шеек коленчатого вала двигателя ЗМЗ-511, рассмотрена каждая операция этого технологического процесса. Представлены содержания этих операций, применяемое оборудование, приспособления и инструмент, выбранные по данной технологии ремонта. Также в рассмотренном выше разделе проведён расчет режимов и норм времени на каждую операцию технологического процесса, установлено, что норма времени на весь технологический процесс ремонта данной детали составляет 3,7 часа.

## Выводы

Предлагаемая технология восстановления коленчатого вала позволяет снизить себестоимость ремонта. Конструкция приспособления для алмазного выглаживания позволяет повысить эксплуатационные показатели восстанавливаемых коленчатых валов. Все технологические и конструктивные решения обоснованы инженерными расчетами. Техничко-экономические расчеты показали целесообразность предлагаемого метода ремонта коленчатых валов двигателей. Срок окупаемости капитальных вложений на ремонт автомобильных двигателей в условиях инновационного научно-производственного центра при годовой программе 44 приведенных ремонтов составляет 0,4 месяцев.

## Библиографический список

1. Апатенко А.С. Влияние срока службы машин на их эксплуатационную надежность при выполнении мелиоративных работ // Техника и оборудование для села. 2013. № 10. С. 4-6.
2. Варнаков В.В., Стрельцов В.В., Попов В.Н., Карпенков В.Ф. Организация и технология технического сервиса машин: учебник. М.:«КолосС», 2007. 278 с.
3. Мочунова Н.А., Карапетян М.А. Вопросы оптимизации производственных процессов в ремонтном производстве сельскохозяйственного парка. / Международный технико-экономический журнал. - М.; 2017. № 6. 101-106с.
4. Тургиев А.К., Карапетян М.А., Мочунова Н.А. К вопросу определения буксования ведущих колес трактора./ Естественные и технические науки. 2010. № 5 (48). С. 570-572.
5. Тойгамбаев С.К. Повышение надежности изготовления резьбовых соединений. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2013. № 3 (59). С. 45-46.
6. Тойгамбаев С.К. Технология производства транспортных и технологических машин природообустройства./ Учебник / Москва. 2020. 484с.
7. Karpuzov V., Golinitzkiy P., Cherkasova E., Antonova U., Toygambaev S. Development of knowledge management process at the enterprise of technical service of the agro-industrial complex. В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2020. С. 12031.
8. Улюкина Е.А., Апатенко А.С., Гусев С.С., Андреев А.А.. Эксплуатационные материалы./ Практикум. Москва, 2022. 188с.