

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

УДК 621.436.004.67

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВАЛОВ, СТЕРЖНЕЙ И ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

канд. техн. наук, доц. А.П. КАСТРЮК  
(Полоцкий государственный университет)

Выполнен анализ технико-экономических моделей себестоимости восстановления валов, стержней и подшипников скольжения агрегатов ремонтируемых машин; определены оптимальные способы восстановления в зависимости от объемов производства. Установлено, что наилучшие показатели износостойкости и усталостной прочности шеек коленчатых валов обеспечивают плазменные покрытия, полученные напылением.

**Ключевые слова:** коленчатые валы, способы восстановления агрегатов ремонтируемых машин, технико-экономические модели, себестоимость.

Определение оптимальных способов восстановления валов, стержней и подшипников скольжения агрегатов ремонтируемых машин в зависимости от объемов производства на основе анализа технико-экономических моделей себестоимости восстановления представляет производственный интерес.

Себестоимость восстановления деталей включает затраты как на подготовку производства (овеществленного труда), так и на текущее производство (живого труда). Общие затраты  $Z$  складываются из стоимости материалов и энергии, определенных их нормами расхода, заработной платы с начислениями, затрат на работу оборудования и амортизационных отчислений:

$$Z = \sum_1^k M_k C_k + \sum_1^n \mathcal{E}_n C_n + H_g \left( C_{ч.р} + C_{м-ч.о} + \frac{K_o E_o}{\Phi_{о.о}} \right),$$

где  $M_k$  и  $C_k$  – норма расхода и цена материала  $k$ -го вида соответственно;  $\mathcal{E}_n$  и  $C_n$  – норма расхода и стоимость энергии  $n$ -го вида соответственно;  $H_g$  – норма времени;  $C_{ч.р}$  – часовая ставка рабочего;  $C_{м-ч.о}$  – стоимость машино-часа работы оборудования;  $K_o$  – капиталовложения в оборудование;  $E_o$  – коэффициент эффективности капиталовложений;  $\Phi_{о.о}$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования. (В связи с текущей инфляцией указанные показатели выражались в долях базовой величины).

**Основная часть.** Наиболее сложные детали типа «вал» – коленчатые валы. Припуски на обработку в процессе их восстановления создают на шейках, их торцах и на поверхности отверстия под подшипник ведущего вала коробки передач.

Большие технологические трудности представляет нанесение покрытий при ремонте коленчатых валов, изготовленных из высокопрочного чугуна. В ремонтной практике применяются или прошли апробацию различные способы нанесения покрытий:

- вибродуговая наплавка в водокислородной среде [1] и в 20%-ном водном растворе глицерина [2]. Способ применяют для восстановления коленчатых валов, обладающих большим запасом усталостной прочности;

- однослойная наплавка под флюсом. Материал наплавочных проволок – Нп30ХГСА, Св-10Х13, Св-12ГС, ОВС и др. В качестве флюсов применяют АН-348А, ОСЦ-45, АН-15, АН-20 и их композиции. Покрытие имеет высокую твердость (56...62 HRC), но содержит поры и трещины;

- двухслойная наплавка проволокой Св-08 под слоем легирующего флюса (АН-348А, графита, феррохрома и жидкого стекла) или порошковой проволокой. Способ производителен, покрытие имеет высокую твердость, но усталостная прочность детали снижается на 25...45%;

- наплавка по оболочке из стальной ленты;

- широкослойная наплавка ферромагнитной шихтой при жестком закреплении детали в процессе нанесения покрытия на шатунные шейки с последующим высокотемпературным отпуском при 650 °С;

- наплавка самозащитной проволокой Св-15ГСТЮСА;

- наплавка под слоем флюса порошковой проволокой [3] с введением в ее состав газообразных компонентов. Состав покрытия близок к составу стали 45;

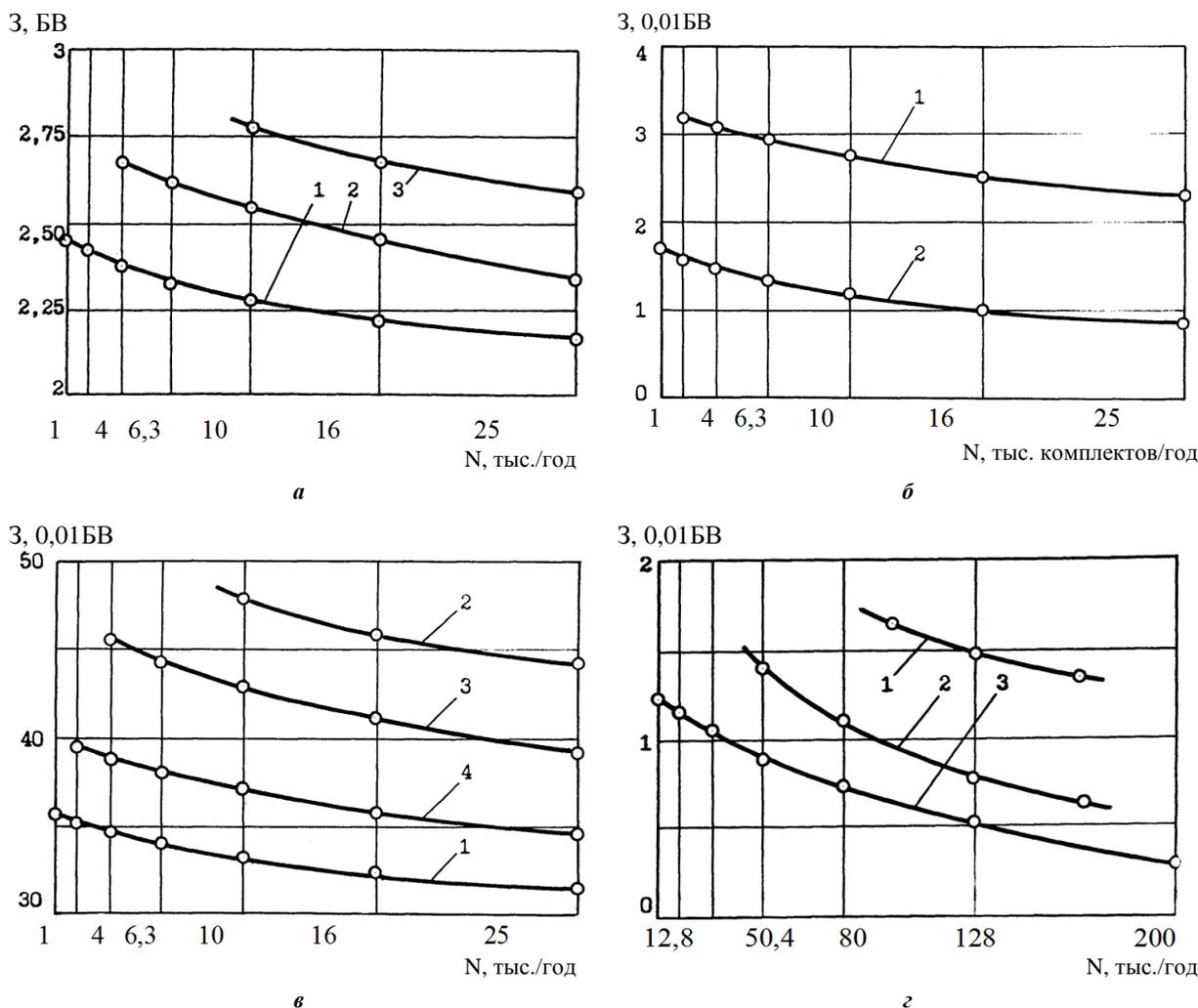
- двухэлектродная наплавка проволоки Св-08 под слоем флюса АНК-18 (70%) и АН-60 (30%);
- металлизирование [4], включающее подготовку поверхности, нанесение спрессованной в полу-штулки композиции (порошки ПЖ2М – 40% и СНГН-55 – 12%, остальное – чугунная стружка) и припекание при температуре 1100...1200 °С в среде водорода;
- нанесение плазменных покрытий [5];
- установка дополнительных ремонтных деталей (ДРД) с закреплением их сваркой [6], пайкой, клеем [7] и силами упругости [8].

Наилучшие показатели износостойкости и усталостной прочности шеек коленчатых валов обеспечивают способы нанесения плазменных покрытий напылением и установки стальных закаленных ДРД.

Припуск на обработку отверстия под подшипник создают запрессовыванием ДРД или наплавкой.

Сравнивались между собой варианты (рис. 1, а): 1 – установка на шейках и закрепление сваркой стальных закаленных ДРД; 2 – наплавка всех поверхностей самозащитной проволокой Св-15ГСТЮЦА; 3 – плазменное напыление трущихся поверхностей.

При всех объемах ремонта (с учетом установленных ограничений) выявлено однозначное соотношение затрат: самый малозатратный способ создания ремонтных заготовок – установка ДРД, а самый дорогостоящий – газотермическое (плазменное) напыление.



- а – коленчатые валы: 1 – установка ДРД, 2 – наплавка, 3 – газотермическое напыление;  
 б – вкладыши коленчатого вала: 1 – нанесение гальванических покрытий, 2 – использование поверхностного слоя металла;  
 в – распределительные валы: 1 – установка ДРД, 2 – наплавка, 3 – газотермическое напыление, 4 – использование поверхностного слоя металла;  
 г – поршневые пальцы: 1 – термопластическая раздача, 2 – нанесение хромового покрытия, 3 – электрогидравлическая раздача

Рисунок 1. – Зависимости затрат  $Z$  в долях базовой величины ( $BB$ ) от объемов  $N$  восстановления деталей

При восстановлении сталеалюминиевых *вкладышей коленчатого вала* на их рабочие поверхности, выполненные из материала АО-20-1 или АО-6, наносят гальванические покрытия.

По технологии НПО «НИИ тракторосельхозмаш» изношенные не менее чем на 0,03 мм трущиеся поверхности предварительно растачивают, затем на них осаждают покрытие из сплава СОС-6-6 толщиной 0,125 мм. Сплав СОС-6-6 состоит из олова (5,5...6,5%), сурьмы (5,5...6,5%) и свинца (остальное).

По второму варианту вкладыши, ранее не восстанавливаемые и имеющие необходимый припуск, могут быть расточены под следующий ремонтный размер по специальной технологии. При всех объемах ремонта (рис. 1, б) использование поверхностного слоя металла более эффективно, чем нанесение восстановительного покрытия.

Припуски на обработку *распределительного вала* создают на поверхностях шеек и кулачков. Шейки наплавляют проволокой Нп-40Х2Г2М в среде углекислого газа. Применяют следующие способы нанесения покрытий на поверхность кулачков.

Закрепление ДРД с помощью высокотемпературной пайки припоем ПМц48 или латунью Л63. Дополнительная ремонтная деталь выполнена в виде пластины из быстрорежущей стали или твердого сплава. В качестве флюса применяют обезвоженную буру [9].

К боковым сторонам кулачков приваривают контактной сваркой ДРД толщиной 2,5 мм из стали 65. Стык заваривают проволокой СВ-08ГСА в среде углекислого газа. Вершину кулачка удаляют шлифованием и наплавляют порошковой проволокой ПП-Нп40Г2СМНТФ [10].

Разработана технология [11] электроконтактной приварки твердосплавных порошков на поверхности кулачков и инструмент для этой цели.

Самый недорогостоящий вид заготовки – без нанесенного покрытия, когда имеются припуски для обработки опорных шеек под ремонтные размеры, а кулачки шлифуют «как чисто». Однако проведенные испытания двигателей УМЗ-451М с распределительными валами, кулачки которых были шлифованы со снятием припуска 1 мм от первоначального профиля, показали, что такие изменения размеров кулачков приводят к снижению мощности двигателя на 20% и к увеличению расхода топлива также на 20% за счет уменьшения параметра «время – сечение» открытия клапанов.

Способы создания ремонтных заготовок с нанесением покрытия по величине относительных затрат (рис. 1, в) образуют ряд: установка ДРД, наплавка, газотермическое напыление.

К деталям типа «стержни» относятся поршневые пальцы, клапаны и др.

Ремонтные заготовки *поршневых пальцев* получают нанесением гальванического покрытия на его трущуюся поверхность, термопластической или электрогидравлической раздачей. Соотношение затрат на создание ремонтных заготовок поршневых пальцев различными способами представлено на рисунке 1, г.

Наименьшие затраты при всех объемах ремонта обеспечивает термопластическая раздача, а наибольшие – раздача с применением электрогидравлической раздачи. Нанесение хромового гальванического покрытия, широко применяемое в производстве, занимает промежуточное место.

Покрытия при восстановлении *клапана* наносят на стержень и фаску головки. Диаметр стержня клапана меньше предельного диаметра вала, подвергаемого наплавке. Эта причина в сочетании с небольшим износом поверхности обусловила нанесение на эту поверхность гальванических покрытий.

Покрытие на фаску клапана наносят: аргонно-дуговой наплавкой из проволоки Св-05Х19Н9Ф3С2; плазменной наплавкой самофлюсующимися порошками на установке ОКС-11192 ГОСНИТИ; дуговой наплавкой сплавами на основе кобальта и никеля ПК-ХН60ВУ, ЭП-616 и ВК3; газопорошковой наплавкой самофлюсующимися хромоникелевыми порошками ПГСР20М; детонационным напылением порошков LW-5 и LC-1D [12]; высокочастотной наплавкой с удержанием расплавленного металла в керамической форме [13].

Наилучшее сочетание технологических воздействий при создании ремонтных заготовок клапанов после исчерпания ремонтных размеров их стержней состоит в нанесении железного гальванического покрытия на стержень и аргонно-дуговой наплавки фаски.

**Закключение.** Обобщение результатов анализа технико-экономических моделей затрат на создание ремонтных заготовок различных деталей ремонтного фонда агрегатов позволило сделать такие выводы:

- оптимальные области применения способов зависят от вида и условий работы деталей, технического состояния исходных заготовок и объемов восстановления. Рекомендации по применению способа должны завершаться оформлением сертификата способа с указанием области его применения, значений достигаемых физико-механических величин, характеризующих эксплуатационные свойства покрытия и гарантийные показатели работки;

- наименьшие затраты на создание ремонтных заготовок обеспечивает использование в качестве припуска поверхностного слоя металла. Это реализуется перераспределением металла из изнашиваемого объема в зону изнашивания и способом ремонтных размеров;

- подготовку процессов создания ремонтных заготовок коленчатых и распределительных валов следует начинать с использования дополнительных ремонтных деталей, закрепляемых сваркой, пайкой, клеем и силами упругости. Эти способы эффективны при малых объемах ремонта (до 5 тыс. агрегатов в год);

- с ростом объемов ремонта изделий повышается эффективность создания ремонтных заготовок нанесением газотермических покрытий и электроконтактного припекания металлических порош, обеспечивающих высокую производительность процессов, хотя и использующих дорогие материалы. Сокращение трудоемкости создания ремонтных заготовок этими способами обеспечивается внедрением производственного специализированного оборудования;

- нанесение гальванических покрытий является самым дорогостоящим процессом при всех объемах ремонта. Его следует применять обоснованно для восстановления деталей с небольшим износом. Способ требует совершенствования в направлениях повышения производительности и уменьшения затрат на материалы;

- разница в затратах на восстановление одной детали различными способами значительная при малых объемах восстановления, она уменьшается при увеличении объемов ремонта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ландо, С. Наплавка коленчатых валов в водоокислородной среде / С. Ландо, М. Брянцев // Автомобильный транспорт. – 1982. – № 12. – С. 43–44.
2. Дюмин, И. Восстановление коленчатых валов / И. Дюмин, В. Шатерников, А. Сумец // Автомобильный транспорт. – 1983. – № 4. – С. 40–41.
3. Мошенский, Ю. Рациональные процессы восстановления и ремонта коленчатых валов двигателей / Ю. Мошенский // Автомобильный транспорт. – 1985. – № 1. – С. 35–37.
4. Романов, А.В. Восстановление коленчатых валов / А.В. Романов, Н.В. Авдеев // Автомобильная промышленность. – 1985. – № 1. – С. 6–7.
5. Соловьев, Б. Какой способ лучше? / Б. Соловьев, М. Егоров, Б. Шерстюк // Автомобильный транспорт. – 1992. – № 9. – С. 24–25.
6. Иванов, В.П. Восстановление коленчатых валов из высокопрочного чугуна / В.П. Иванов, М.М. Баранкевич // Сварочное производство. – 1994. – № 7. – С. 28.
7. Бурумкулов, Ф.Х. Клееварной способ восстановления шеек коленчатого вала / Ф.Х. Бурумкулов, Р.Т. Ташматов // Сварочное производство. – 1993. – № 6. – С. 19.
8. Способ восстановления шеек коленчатого вала : а. с. 1706828 СССР, МКИ В23 Р6/00 / С.И. Габа. – № 4718855 ; заявл. 14.07.89 ; опубл. 23.01.92 // Бюл. изобретений и открытий. – 1992. – № 3.
9. Тер-Даниэлян, Б.И. Восстановление распределительных валов двигателей / Б.И. Тер-Даниэлян, Л.В. Красниченко, Ю.Н. Пономарев // Техника в сельском хозяйстве. – 1986. – № 7. – С. 54.
10. Недригайлов, А.В. Опыт организации работы по восстановлению деталей сельскохозяйственных машин : обзорная информ. / А.В. Недригайлов // Госагропром СССР, ЦНИИТЭИ. – М., 1986. – 26 с.
11. Электрод для контактной сварки : а. с. 1050834 СССР, МКИ В23 К11/30 / С.С. Некрасов, А.В. Поляченко, Г.К. Потапов, А.Ф. Меркулов (СССР). – № 3458956 ; заявл. 29.06.82 ; опубл. 30.10.83 // Бюл. изобретений и открытий. – 1983. – № 40.
12. Башкин, О. Детонационно-газовое напыление фасок клапанов / О. Башкин, Г. Шаповалов // Автомобильный транспорт. – 1983. – № 12. – С. 39–40.
13. Наплавка изношенных фасок клапанов / Г. Ветренников [и др.] // Автомобильный транспорт. – 1990. – № 1. – С. 39–40.

Поступила 22.01.2016

#### TECHNICAL AND ECONOMIC MODELS OF WAYS TO RESTORE SHAFT, RODS AND SLIDE BEARINGS

##### A. KASTRYUK

*The analysis of the technical and economic models of cost recovery shafts, rods and plain bearing units repaired machines is given. The optimal recovery methods depending on the production volumes are made. It is found that the best indicators of wear resistance and fatigue strength of crankshafts necks provide plasma coatings obtained by sputtering.*

**Keywords:** crankshafts, ways to restore the repaired units of machines, technical and economic models, the cost price.