

## АГРОИНЖЕНЕРИЯ

УДК 621.86. 621. 629.3; 669.54. 793

### Тойгамбаев С.К. Выбор рационального способа восстановления деталей машин Choosing a rational way to restore machine parts

**Тойгамбаев С.К.**

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

Toygambayev S.K.,

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical service of Machinery and  
Equipment. K.A. Timiryazev Russian State Agrarian University, Moscow, Russia

***Аннотация.** На сегодняшний день разработан ряд способов восстановления распределительного вала. Например, кулачки распределительного вала можно ремонтировать шлифованием с сохранением профиля кулачка или наплавкой с последующей обработкой до первоначальных размеров. Кулачки шлифуют по копиру на шлифовальном станке. В данной работе представлена методика определения рационального способа восстановления детали*

***Ключевые слова:** кулачок; технологический процесс; технологическое оборудование; распределительный вал; шлифовка.*

***Abstract.** To date, a number of ways to restore the camshaft have been developed. For example, camshaft cams can be repaired by grinding while maintaining the cam profile or by surfacing and subsequent processing to their original dimensions. The cams are ground using a copier on a grinding machine. This paper presents a methodology for determining a rational way to restore a part*

***Keywords:** cam; technological process; technological equipment; camshaft; grinding.*

**Рецензент:** Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент. Доцент  
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Для повышения долговечности восстановленных деталей большое значение имеют научно обоснованные способы и технологические процессы их восстановления. Решение этого вопроса имеет огромное народнохозяйственное значение, особенно в связи с развитием централизованного восстановления деталей на специализированных предприятиях. Выбор оптимального способа является одним из основных вопросов при разработке технологических процессов восстановления изношенных деталей. По технологическому критерию выбор способов производят на основании возможностей их применения для устранения конкретного дефекта заданной детали с учетом величины и характера износа, материала детали и ее конструктивных особенностей. По

этому критерию назначают все возможные способы, которые в принципе могут быть использованы для устранения конкретного дефекта.

По техническому критерию оценивают технические возможности детали, восстановленной каждым из намеченных по технологическому критерию способом, т.е. этот критерий оценивает эксплуатационные свойства детали в зависимости от способа восстановления. Оценка производится по таким основным показателям как: - сцепляемости; - износостойкости; - усталостной прочности;

- микротвердости; - долговечности.

В таблице 1. представлены примерные значения коэффициентов износостойкости, выносливости и сцепляемости, определенные по результатам исследований для наиболее распространенных методов восстановления.

Таблица 1

Коэффициенты износостойкости, выносливости, сцепляемости.

Способы восстановления	Значения коэффициентов		
	Износостойкости ( $K_i$ )	Выносливости ( $K_B$ )	Сцепляемости ( $K_C$ )
Наплавка в углекислом газе	0,85	0,9...1,0	1,0
Вибродуговая наплавка	0,85	0,62	1,0
Наплавка под слоем флюса	0,90	0,82	1,0
Дуговая металлизация	1,0...1,3	0,6...1,1	0,2...0,3
Газопламенное напыление	1,0...1,3	0,6...1,1	0,3...0,4
Плазменное напыление	1,0...1,5	0,7...1,3	0,4...0,5
Хромирование (электролитическое)	1,0...1,3	0,7...1,3	0,4...0,5
Железнение (электролитическое)	0,9...1,2	0,8	0,65...0,8
Контактная наплавка (приварка металлического слоя)	0,9...1,1	0,8	0,8...0,9
Ручная наплавка	0,9	0,8	1,0
Клеевые композиции	1,00	—	0,7
Электромеханическая обработка (высадка и сглаживание)	до 3,00	0,8	1,0
обработка под ремонтный размер	1,0	1,0	1,0
Установка дополнительной детали	1,0	0,8	1,0
Пластическое деформирование	0,8...1,0	1,0	1,0

Исследования ряда авторов и практика ремонтного производства показывают, что оценка способов восстановления деталей чаще всего производится по технико-экономическому критерию (обобщенный критерий), по которому принимают окончательное решение о выборе рационального способа устранения дефекта детали. Прежде всего, он отражает технический уровень применяемой технологии. Для оценки различных способов по данному критерию рассматривают отношение по формуле:

$$\frac{C_{ei}}{K_{di}} \rightarrow \min, \text{ или } \frac{C_{ei} + E_n \cdot K_{ydi}}{K_{di}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $C_{\text{в}i}$  – удельная себестоимость способа устранения дефекта,  $i$ -м способом, руб/м<sup>2</sup>;  $K_{\text{д}i}$  – коэффициент долговечности восстановленной детали  $i$ -м способом;  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент эффективности;  $K_{\text{уд}i}$  – удельные капитальные вложения при устранении дефекта  $i$ -м способом, руб/м<sup>2</sup>.

В настоящее время, в связи с усилением требований экологической безопасности при ремонте машин вообще и при восстановлении изношенных деталей в частности затрачиваются основные и оборотные средства на эти цели. Поэтому данные затраты необходимо учитывать при разработке технологического процесса восстановления деталей, то есть выбирать оптимальный способ по технико-эколога-экономическому критерию, как можно полнее учитывать все затраты на вышеизложенные мероприятия:

$$K_i = \frac{(C_i + C_{\text{э}i})N_i + E_{\text{н}}(K_i + K_{\text{э}i})}{T_{\text{в}i}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $C_i$  – себестоимость восстановления детали  $i$ -м способом, руб./ед. продукции;  $C_{\text{э}i}$  – затраты на экологическую безопасность при восстановлении деталей  $i$ -м способом, руб./ед. продукции;  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ( $E_{\text{н}} = 0,15$ );  $K_i$  – капитальные вложения на организацию восстановления деталей  $i$ -м способом, руб./ед. продукции;

$K_{\text{э}i}$  – капитальные вложения на организацию работ по экологической безопасности при восстановлении деталей  $i$ -м способом, руб./ ед. продукции;  $T_{\text{в}i}$  – ресурс детали, восстановленной  $i$ -м способом;  $N_i$  – количество восстанавливаемых принятым способом деталей.

Данное выражение представляет собой технико-экономическую модель, позволяющую оценить затраты на получение единицы продукции. Однако лучший с точки зрения затрат вариант может не удовлетворять по производительности или надежности. Однако не всегда верно учитывается качество восстановления детали (технический критерий). Обычно при определении технико-экономического критерия используют любое значение  $T_{\text{в}}$  или коэффициента долговечности, которое обеспечивает тот или другой способ восстановления. В то же время здесь есть некоторые особенности, которые нельзя не учитывать. Ресурс восстановленной детали надо сравнивать не с ресурсом новой детали, а с межремонтным ресурсом агрегата, в который входит деталь. Тогда и коэффициент долговечности надо определять не по отношению к ресурсу новой детали, а по отношению к межремонтному ресурсу агрегата.

Кроме того, за коэффициент долговечности следует принимать только целую его часть (1; 2; 3 и т.д.), если деталь не лимитирует ресурс агрегата и не является

легкосъемной. Если же деталь лимитирует ресурс агрегата или легко может быть заменена (например, рабочие органы машин), то необходимо учитывать любое повышение коэффициента долговечности (1,2; 1,6 и т.д.).

Часто коэффициент долговечности устанавливают путем лабораторных или стендовых испытаний на износостойкость, усталостную прочность и сцепляемость покрытия, то есть факторы, от которых зависят показатели долговечности. При этом коэффициент долговечности определяют как произведение коэффициентов износостойкости, сцепляемости и выносливости. На наш взгляд, это не всегда верно, так как чаще всего одно или два из этих свойств лимитирует ресурс детали, а не все сразу. Так, при восстановлении рабочих органов сельскохозяйственных машин их ресурс определяет только износостойкость. Если даже на ресурс детали влияют два или три свойства, то надо за коэффициент долговечности принимать наименьшее значение из них, а не перемножать их. Изложенная выше методика, основанная на использовании в качестве одного из основных критериев себестоимости восстановления деталей, испытывающей во многом воздействие цен и поэтому далеко не всегда отражающей истинные издержки производства, по существу не учитывает новизну технологического процесса. Новизну технологии надо оценивать таким показателем, который, не подменяя собой стоимостных показателей, корректировал бы их, достоверно измеряя затраты на производство продукции.

Следует отметить, что в современных условиях созрела необходимость создания гибких технологий, позволяющих восстанавливать детали с различными ресурсами в зависимости от спроса, а, следовательно, и с различной ценой на них. За последние годы резко снизился выпуск техники и поэтому вопрос восстановления изношенных деталей является актуальным ещё в большей мере.

В связи с этим доктором технических наук, профессором Батищевым А.Н. в работе «Пособие гальваника – ремонтника», предложено оптимизировать технологический процесс восстановления деталей по энергетическому критерию, учитывающему коэффициент долговечности и все затраты энергии, в том числе энергию живого труда, начиная от производства необходимых материалов и до окончательной обработки деталей. Для учета экономических интересов конкретного предприятия предложено оптимизировать способ восстановления деталей по комбинированному (комплексному) критерию, отражающему приведенные затраты, энергоёмкость и коэффициент долговечности.

Так как в настоящее время экологичность инженерных решений является одним из главных критериев их прогрессивности, предлагается ввести в энергетический

критерий коэффициенты экологичности. В этом случае энергетический критерий можно выразить уравнением:

$$K_{эi} = \frac{K_{1i} \cdot K_{2i} \cdot K_{3i} \cdot K_{4i}}{K_{дi}}, \quad (3)$$

где:  $K_{1i}$ ,  $K_{2i}$  – соответственно коэффициенты энергоемкости и трудоемкости технологического процесса восстановления детали  $i$ -м способом;  $K_{3i}$ ,  $K_{4i}$  – соответственно коэффициенты энергоемкости и трудоемкости работ по обеспечению экологической безопасности процесса;  $K_{дi}$  – коэффициент долговечности детали, восстановленный  $i$ -м способом.

В свою очередь, эти коэффициенты определяются по формулам:

$$\begin{aligned} K_{1i} &= G_{вi} / G_{н}, & K_{2i} &= G_{эi} / G_{эн}; \\ K_{3i} &= T_{вi} / T_{н}, & K_{4i} &= T_{эi} / T_{эн}; \end{aligned}$$

где  $G_{вi}$  – удельные затраты энергии на восстановление детали  $i$ -м способом по всему циклу производства, кВт·ч;  $G_{н}$  – удельные затраты энергии на изготовление новой детали, кВт·ч;  $T_{вi}$  и  $T_{н}$  – соответственно трудоемкости восстановления детали  $i$ -м способом и изготовления новой детали, чел·ч;  $G_{эi}$  – удельные затраты энергии на экологические мероприятия при восстановлении детали  $i$ -м способом, кВт·ч;  $G_{эн}$  – удельные затраты энергии на экологические мероприятия при изготовлении новой детали, кВт·ч;  $T_{эi}$  и  $T_{эн}$  – соответственно трудоемкости экологической безопасности при восстановлении детали  $i$ -м способом и изготовлении новой детали, чел·ч.

Из практики известно, что затраты на материалы при восстановлении изношенных деталей составляют около 5-10 % от новых деталей. Поэтому важным показателем совершенства технологического процесса восстановления деталей является материалоемкость. С этих позиций способ восстановления дополнительно можно оптимизировать по формуле (4):

$$g_{mi} = \frac{G_{mi}}{T_i} \rightarrow \min \quad (4)$$

где  $g_{mi}$  – удельные затраты на материалы;  $G_{mi}$  – затраты материала на восстановление детали  $i$ -м способом, кг.;  $T_i$  – ресурс восстановленной детали.

С учетом вышеизложенного на наш взгляд можно внести изменения (откорректировать) выражение (5), где будет учитываться и коэффициент материалоемкости.

$$K_{mi} = \frac{G_{mi}}{G_{mn}} \quad (5)$$

## 12

где  $K_{mi}$  – коэффициент материалоемкости;  $G_{mn}$  – затраты материала на изготовление новой детали, кг.

Поэтому выражение (3) с учетом коэффициента материалоемкости правомерно записать в виде:

$$K_{эi} = \frac{K_{1i} \cdot K_{2i} \cdot K_{3i} \cdot K_{4i} \cdot K_{mi}}{K_{\partial i}}, \quad (6)$$

Рациональный способ восстановления изношенных деталей машин должен быть выбран исходя из минимальных удельных затрат (то есть затрат на единицу наработки). Необходимо выбирать тот способ восстановления, который принесет больший народнохозяйственный эффект, то есть минимум затрат в рублях на единицу наработки восстановления деталей  $\sum G_i / t_i$  (где  $\sum G_i$  – сумма всех затрат при принятом способе восстановления изношенных деталей,  $t_i$  – ресурс восстановленной детали).

В качестве вывода из всего вышесказанного следует:

1. Рациональный способ восстановления деталей необходимо выбирать, прежде всего, по эколого-техничко-экономическому критерию с учетом кратности их ресурса по отношению к нормативному межремонтному ресурсу агрегата, учитывая энергоемкость и материалоемкость способов восстановления изношенных деталей.

2. Анализ литературы по данному вопросу свидетельствует об отсутствии более эффективного решения проблемы. Вопросы увязки всех выше приведенных факторов для оптимального выбора способа восстановления деталей разработаны слабо как в виду их разноплановости, так и из-за специфики технологических процессов. Возникает необходимость создания обобщенной модели для оптимального выбора и оценки способов и методов восстановления деталей.

Исходя из вышеизложенного, по технологическому критерию для восстановления распределительных валов назначаем следующие способы восстановления: - вибродуговая наплавка; - наплавка в среде  $CO_2$ ; - плазменная наплавка; - газопламенное напыление; - плазменное напыление.

Проверяем по техническому критерию (критерий долговечности  $K_D$ ) выбранные способы восстановления исходя из условия.

$$K_D = K_i \cdot K_B \cdot K_C, \quad (7)$$

$$K_D > 0,8; \quad (8)$$

- вибродуговая наплавка:  $K_D = 1,15 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 1,03$ ;

- наплавка в среде  $CO_2$ :  $K_D = 1,4 \cdot 0,7 \cdot 1,0 = 1,0$ ;

- плазменная наплавка:  $K_D = 1,6 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 1,45$ ;

- газопламенное напыление:  $K_D = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 0,4 = 0,4$ ;

### 13

- плазменное напыление:  $K_D = 1,3 \cdot 0,9 \cdot 0,5 = 0,6$ .

Проверяем по технико-экономическому критерию (см. формулу 1.6) способы удовлетворяющие критерию долговечности т.е.  $K_D > 0,8$ :

- вибродуговая наплавка:  $\frac{C_{ei}}{K_{di}} = \frac{65}{1,03} = 63,11 \text{ руб/м}^2$ ;

- наплавка в среде  $\text{CO}_2$ :  $\frac{C_{ei}}{K_{di}} = \frac{43}{1,0} = 43 \text{ руб/м}^2$ ;

- плазменная наплавка:  $\frac{C_{ei}}{K_{di}} = \frac{37}{1,45} = 25,51 \text{ руб/м}^2$

При вибродуговой наплавке покрытие получается нередко с порами, с неравномерной твердостью и неоднородной структурой, что способствует возникновению значительных растягивающих внутренних повреждений и, как следствие, снижению усталостной прочности на 30-40%. Поэтому применительно к распределительным валам применять этот способ нельзя из-за значительных динамических нагрузок, приходящихся на деталь.

Применение напыления тоже не подходит из-за ряда следующих недостатков: низкая прочность сцепления с основной, не позволяет восстанавливать детали, работающие в условиях ударных нагрузок. С увеличением толщины слоя свыше 1-1,3 мм прочность сцепления снижается. Поэтому, напыление целесообразно применять в первую очередь для восстановления деталей, не подверженных значительным динамическим нагрузкам, изготовленных из чугуна, алюминия, трудно поддающиеся восстановлению другими способами.

При наплавке в среде  $\text{CO}_2$  слои наносятся высокого качества, производительность сравнительно большая, по сравнению с плазменной наплавкой менее качественно. Износостойкость при плазменной наплавке больше, чем при наплавке в среде  $\text{CO}_2$  повышенное разбрызгивание металла до 15%, что сказывается на экономическом показателе восстановления. Он значительно больше, чем при плазменной наплавке. Из сравнений видно, что плазменная наплавка более эффективна, чем наплавка в среде  $\text{CO}_2$  и вибродуговая наплавка, поскольку при данном способе восстановления распределительных валов наибольший коэффициент долговечности нанесенного покрытия при этом себестоимость данного метода минимальна. С целью повышения износостойкости быстро изнашиваемых деталей был выбран способ плазменной наплавки с подачей порошка в сварочную ванну. Износостойкость наплавленных деталей с подачей порошка возрастает в 6-8 раз.



Плазменная наплавка дает значительный эффект при восстановлении деталей (распределительных валов). При этом плазменной наплавкой можно наплавлять не только дорогие сплавы на основе никеля и кобальта, но и детали на основе железа. Преимуществом способа плазменной наплавки является его пригодность к автоматизации с применением электронной системы регулирования плазменного процесса. Плазменная наплавка обладает такими важными преимуществами, как высокая производительность, широкая возможность легирования слоев наплавки, большой диапазон регулирования теплоты в основных и наплавочных металлах, возможность применения любых наплавочных металлов. Плазменная наплавка является высокоэффективным технологическим процессом, позволяющим значительно сокращать расход дефицитных и дорогостоящих материалов, улучшать эксплуатационные свойства и повышать работоспособность соединения. По своим технико-экономическим показателям плазменная наплавка превосходит другие способы наплавки как за счет уменьшения расхода наплавляемого металла, так и за счет повышения работоспособности детали. Высокая производительность наплавки обеспечивается и при применении в качестве присадочных материалов порошков. Так при плазменной наплавке с вдуванием порошка в струю производительность составляет до 6 кг в час. Особо следует подчеркнуть, что плазменная наплавка с применением в качестве присадочного металла порошка особенно целесообразно при необходимости получения слоя наплавки малой высоты и обеспечивает при этом значительную экономию наплавленного металла по сравнению с другими способами наплавки.

### **Выводы**

Перечисленные положительные стороны способов наплавки не только существенно расширяют технологические возможности их применения, но и позволяют получать значительный экономический эффект за счет наплавки слоев с минимальной глубиной проплавления и сохранения, первоначальных физико-механических свойств при меньшем количестве наплавочного металла: изготовление деталей из низкоуглеродистых сталей с поверхностями, упрочненными твердыми сплавами, вместо дорогих легированных сталей, применение износостойких порошковых сплавов, повышающих срок службы наплавленных деталей, уменьшения припуска на механическую обработку.



### Библиографический список

1. Андреев А.А., Апатенко А.С., Улюкина Е.А., Гусев С.С. Самоочищающийся фильтр. Патент на полезную модель RU 205889 U1, 11.08.2021. Заявка № 2021113888 от 17.05.2021.
2. Гусев С.С., Боярский В.Н. Регенерация отработанных моторных и гидравлических масел при эксплуатации автотракторной и сельскохозяйственной техники. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2015. № 2. С. 76.
3. Гусев С.С. Восстановление качества отработанных нефтяных масел с помощью пгс-полимеров на сельскохозяйственных предприятиях. / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. Москва, 2006.
4. Гусев С.С. Физико-химическая очистка отработанных минеральных масел с помощью полимерных материалов./ Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2006. № 6. С. 4.
5. Евграфов В.А., Апатенко А.С., Новиченко А.И. Применение организационно – экономических методов при формировании парка машин в производственных организациях агропромышленного комплекса./ Монография. Москва. 2014. С. 128.
6. Тойгамбаев С.К., Дидманидзе О.Н. Определение трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта грузовых автомобилей. / International Journal of Professional Science. 2021. № 1. С. 65-73.
7. Тойгамбаев С.К., Романюк С.Н. Восстановление долговечности бронзовых втулок сельскохозяйственных и транспортных машин. Международный технико-экономический журнал. 2013. № 4. С. 67-70.
8. Тойгамбаев С.К., Дидманидзе О.Н., Гузалов А.С. Проектирование стенда для диагностики состояния тормозной системы автомобиля камаз-65117. / Международный технико-экономический журнал. 2020. № 6. С. 63-72.
9. Тойгамбаев С.К., Дидманидзе О.Н., Апатенко А.С., Парлюк Е.П., Севрюгина Н.С. Работоспособность технических систем. Учебник для ВУЗов по изучению дисциплины / Москва, 2022. С-379.
10. Тойгамбаев С.К. Восстановление бронзовых втулок скольжения центробежной заливкой с применением электродугового нагрева. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. № 7. С. 28-32.