

**Н.А. Пухалов, Б.Ф. Тарасенко, В.А. Дробот.**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия*

## **КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ ШЕЕК КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ**

**Аннотация:** В статье проведен анализ существующих технологий капитального ремонта шеек коленчатых валов (КВ) дизельных двигателей КамАЗ-740, составляющих основу парка сельскохозяйственной техники (СХТ). Установлено, что наиболее распространенный в специализированных мастерских АПК (например, в ККЗ «Кубань» Гулькевичиского района) метод шлифования под ремонтный размер приводит к критическому снижению усталостного ресурса. Это обусловлено не только кубическим уменьшением момента сопротивления сечения ( $W_z$ ) при снижении диаметра, что резко увеличивает максимальные нормальные напряжения ( $\sigma_{max}$ ) и вероятность разрушения, но и возникновением прижогов и микротрещин в поверхностном слое вала. Для устранения этих фундаментальных проблем и восстановления номинальной прочности узла разработана инновационная комбинированная технология восстановления шеек стальных КВ (патент RU 2821120 С1). Технология основана на комплексном подходе: она включает предварительное нанесение медного подслоя, использование пастообразной смеси, содержащей антифрикционные компоненты (например, медь и дисульфид молибдена) и твердосплавные порошки (например, нитрид титана) для повышения износостойкости, а также обмотку кремнеземной стеклотканью. Ключевой элемент — программируемый двухчастотный индукционный нагрев. Применение сначала 50 Гц для глубокого прогрева, а затем 5000 Гц для

поверхностного спекания обеспечивает прочное припаивание композитного покрытия к шейке. Данный подход позволяет полностью восстановить номинальный диаметр, обеспечить постоянную "подпитку" поверхности медью в процессе работы, устранить склонность к схватыванию и, как следствие, повысить ресурс работы восстановленных коленчатых валов в сравнении с новыми образцами.

**Ключевые слова:** коленчатый вал, двигатель КамАЗ, капитальный ремонт, износ шеек, сопрокат, наплавка, шлифование, агропромышленный комплекс.

**Abstract:** The article analyzes the existing technologies for overhaul of crankshaft journals of KamAZ-740 diesel engines, which form the basis of the agricultural machinery fleet. It has been established that the most common method of grinding for the repair dimension in specialized workshops of the agro-industrial complex (for example, in the Kuban Concert Hall of the Gulkevichi district) leads to a critical reduction in fatigue life. This is due not only to the cubic decrease in the torque of resistance of the section ( $W_z$ ) with a decrease in diameter, which sharply increases the maximum normal stresses ( $\sigma_{max}$ ) and the probability of failure, but also to the occurrence of burns and microcracks in the surface layer of the shaft. To eliminate these fundamental problems and restore the nominal strength of the unit, an innovative combined technology for restoring the journals of steel KV (patent RU 2821120 C1) has been developed. The technology is based on an integrated approach: it includes the pre-application of a copper sublayer, the use of a paste-like mixture containing anti-friction components (e.g. copper and molybdenum disulfide) and carbide powders (e.g. titanium nitride) to increase wear resistance, as well as winding with silica fiberglass. The key element is programmable dual-frequency induction heating. The application of 50 Hz for deep heating first, and then 5000 Hz for surface sintering, ensures that the composite coating is firmly soldered to the neck. This approach makes it possible to fully restore the nominal diameter, to ensure constant "feeding" of the surface

with copper during operation, to eliminate the tendency to set and, as a result, to increase the service life of the restored crankshafts in comparison with new samples.

**Keywords:** crankshaft, KamAZ engine, overhaul, wear of journals, composite, surfacing welding, grinding, agro-industrial complex.

## ВВЕДЕНИЕ

Двигатели КамАЗ-740 и их модификации составляют основу СХТ-парка. Их коленчатый вал (КВ) — критический узел, подверженный циклическим нагрузкам (изгиб, кручение) и износу. Капитальный ремонт КВ — ключевой этап восстановления агрегата. В мастерских АПК (например, ККЗ «Кубань») ремонт сопряжён с ограничениями в оборудовании, требуя экономически обоснованных решений. Целью работы является обзор и анализ применимости технологий восстановления шеек КВ КамАЗ в АПК с учётом требований прочности (сопромат), что позволит обеспечить максимальный ресурс [1].

Целью работы является обоснование и внедрение инновационной комбинированной технологии восстановления шеек коленчатых валов дизельных двигателей КамАЗ-740 в условиях ремонтно-эксплуатационных предприятий АПК. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ технико-экономических ограничений и дефектов традиционных методов восстановления шеек коленчатых валов (шлифования) в условиях ремонтно-эксплуатационных предприятий АПК, используя в качестве примера ККЗ «Кубань» Гулькевичского района.
2. Обосновать необходимость перехода на инновационные методы, восстанавливающие номинальный диаметр и прочностные характеристики вала, с учетом требований сопротивления материалов .
3. Предложить инновационный метод восстановления шеек коленчатых валов в условиях ремонтно-эксплуатационных предприятий АПК.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дефектация — первый и ключевой этап ремонта КВ. В мастерских АПК (ККЗ «Кубань») выявляются типовые дефекты, влияющие на выбор метода восстановления и прочностные характеристики узла. Типичные дефекты в АПК:

1. Износ по диаметру шеек. Превышение допустимого износа приводит к увеличению масляных зазоров, критическому снижению давления в системе смазки и возникновению ударных нагрузок.
2. Овальность и конусообразность шеек. Эти отклонения препятствуют формированию устойчивого гидродинамического масляного клина [1].
3. Изгиб вала (свыше допустимого предела, как правило, 0,05 мм), требующий проведения операции холодной правки на прессовом оборудовании [2].
1. Трещины в зонах максимальной концентрации напряжений, особенно в галтелях и на рабочих поверхностях. Обнаружение данных дефектов осуществляется визуальным контролем, а также с применением магнитопорошковой дефектоскопии или люминесцентного контроля.

Точность замеров диаметров шеек с использованием микрометров и нутромеров определяет необходимость перехода на ближайший ремонтный размер. Применение в ремонте только шлифования ограничено допустимыми ремонтными размерами, превышение которых недопустимо из-за резкого снижения прочности. В таблице 1 представлены Номинальные и типовые ремонтные размеры шеек КВ двигателя КамАЗ-740.

**Таблица 1. Номинальные и типовые ремонтные размеры шеек КВ  
двигателя КамАЗ-740**

Тип шейки	Номинальный диаметр, мм	1-й ремонтный размер (P1), мм	Шаг ремонтного размера, мм	Допустимая конусность и овальность, не более, мм
<b>Коренная</b>	95,000	94,75	0,25	0,005
<b>Шатунная</b>	80,000	79,75	0,25	0,003

Ремонтные операции, связанные с изменением геометрии и структуры поверхности КВ, должны проводиться с учетом требований сопротивления материалов для сохранения ресурса. КВ работает в условиях сложного циклического нагружения (изгиб и кручение), и его усталостная прочность является лимитирующим фактором долговечности [3].

Основная проблема при шлифовании шеек под ремонтный размер заключается в уменьшении диаметра  $d$ , что влечет за собой снижение момента сопротивления сечения ( $W_z$ ). Момент сопротивления для круглой шейки определяется как:

$$W_z = \frac{\pi d^3}{32}$$

Следовательно, уменьшение диаметра шейки приводит к кубическому уменьшению  $W_z$ , вызывая пропорциональное увеличение максимальных нормальных напряжений ( $\sigma_{max}$ ) при неизменном изгибающем моменте  $M_{и}$ . Это напрямую снижает коэффициент запаса прочности и ограничивает число возможных ремонтов [1].

В таблице 2 представлено Снижение момента сопротивления и ресурса при переходе на ремонтные размеры.

**Таблица 2. Снижение момента сопротивления и ресурса при переходе на ремонтные размеры**

Ремонтный размер	Диаметр коренной шейки, d, мм	Относительное снижение $W_z$ (относительно номинала), %	Снижение усталостной долговечности, %
Номинал	95,00	0	0
1-й (P1)	94,75	$\approx 0,8$	$\approx 2-3$
4-й (P4)	94,00	$\approx 3,1$	$\approx 8-10$

Наибольшая опасность усталостного разрушения исходит от концентрации напряжений в зоне галтелей (переходных радиусов). Коэффициент концентрации напряжений ( $K_\sigma$ ) критически зависит от радиуса галтели ( $R_{гал}$ ) и качества обработки поверхности. Несоблюдение проектного радиуса галтели и возникновение рисков при шлифовании резко снижает усталостную прочность, сводя на нет весь эффект от ремонта [4, 5].

При восстановлении шеек КВ (шлифованием или твердосплавной наплавкой) ключевое значение имеет соблюдение режимов, обеспечивающих требуемую шероховатость ( $R_a \leq 0,68$  мкм) и точность геометрических параметров [5].

В практике капитального ремонта двигателей КамАЗ-740 в России и Казахстане применяется несколько ключевых технологических методов восстановления изношенных коренных и шатунных шеек коленчатых валов. Выбор конкретной технологии в условиях ремонтно-эксплуатационных предприятий АПК, таких как ККЗ «Кубань», определяется степенью износа, доступностью оборудования и экономической целесообразностью.

Шлифование является наиболее освоенным и распространённым методом в СРМ. Процесс заключается в абразивной обработке шеек на круглошлифовальных

станках до ближайшего ремонтного размера с использованием ремонтных вкладышей. Его главное преимущество — высокая точность геометрии и чистота поверхности; недостаток — уменьшение диаметра шейки, что снижает момент сопротивления и запас прочности КВ [1, 3].

Методы наплавки (включая твердосплавную и вибродуговую) позволяют восстановить диаметр до номинального размера, сохраняя прочностные характеристики. Исследования подтвердили эффективность твердосплавной наплавки для КамАЗ-740, обеспечивающей износостойкость и повышение твёрдости [4, 5]. Однако наплавка требует строгого контроля режимов сварки для предотвращения коробления и структурных изменений, что, наряду с необходимостью в специализированном оборудовании, делает метод трудноприменимым в условиях ККЗ «Кубань» [6].

Гальваническое наращивание также восстанавливает номинальный размер, но является высокоточным, трудоемким и сложным процессом, требующим специализированных ванн и строгого контроля, что делает его малоприменимым в большинстве сельскохозяйственных ремонтных мастерских [2].

**Таблица 3. Сравнительный анализ технологий восстановления шеек КВ в условиях АПК**

Критерий оценки	Шлифование (Перешлифовка)	Наплавка с шлифованием (напр., Твердосплавная)	Гальваническое наращивание
<b>Конечный размер шейки</b>	Только ремонтный	Номинальный или 1-й ремонтный	Номинальный
<b>Влияние на прочность</b>	Снижение (за счёт $d < d_{ном}$ )	Восстановление номинальной прочности	Минимальное снижение

<b>Сложность оборудования</b>	Средняя (круглошлифовальный станок)	Высокая (сварочное, шлифовальное)	Очень высокая (спец. ванны, контроль)
<b>Экономическая эффективность</b>	Высокая (низкая стоимость, скорость)	Средняя (высокие затраты на оборудование)	Низкая (высокая себестоимость процесса)
<b>Применимость в ККЗ «Кубань»</b>	<b>Высокая</b> (основной метод)	Низкая (требует инвестиций)	Очень низкая

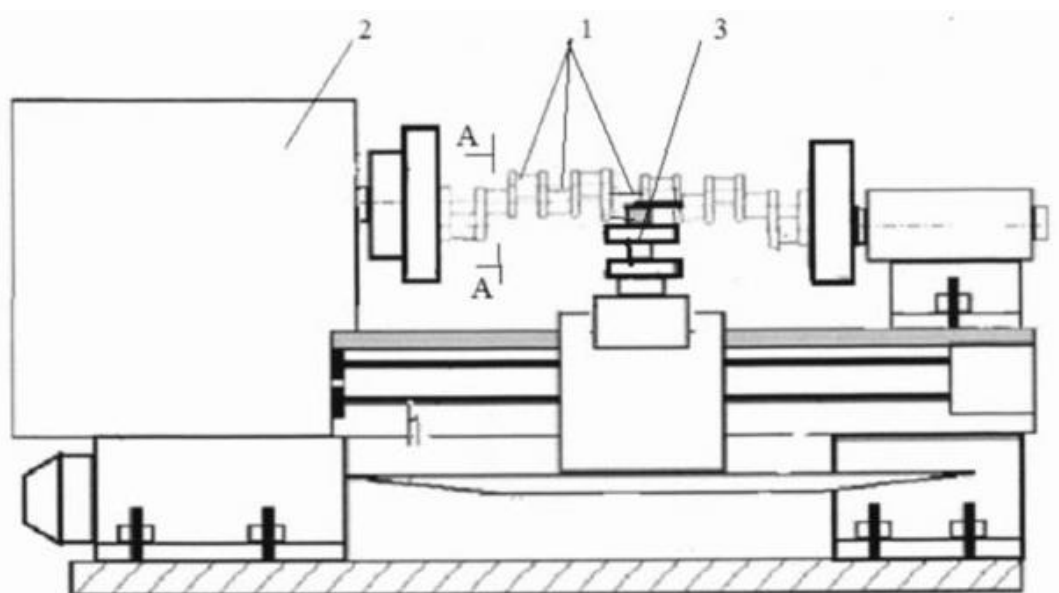
Прогнозирование остаточного ресурса требует оценки коэффициента снижения долговечности ( $K_d$ ), учитывающего изменение сечения, структуры и остаточные напряжения, что особенно актуально для старых моделей [2]. Проведенный обзор подтверждает, что капитальный ремонт шеек КВ КамАЗ-740 в условиях АПК (ККЗ «Кубань») является сложной, но экономически оправданной задачей. В условиях ограниченного оснащения СРМ шлифование под ремонтные размеры — наиболее освоенный и применимый метод, но он критически снижает усталостный ресурс из-за кубического уменьшения момента сопротивления ( $W_z$ ).

Именно для решения этих проблем была разработана и запатентована инновационная комбинированная технология восстановления [7], позволяющая восстановить номинальный диаметр шейки без снижения усталостной прочности. В специализированных мастерских агропромышленного комплекса (АПК), например, в ККЗ «Кубань» Гулькевичского района.

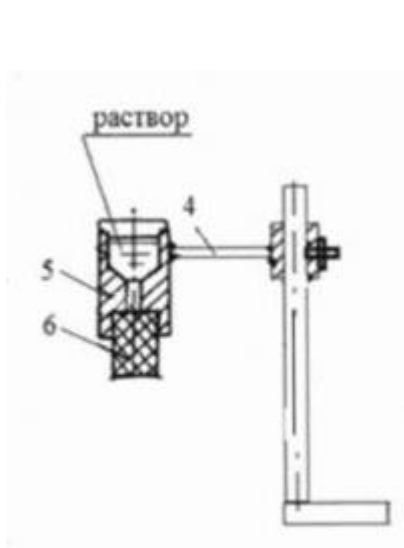
### **ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

Сущность способа поясняется схематично чертежами, где на рисунке 1 на позиции (а) представлен установленный на токарно-винторезном станке

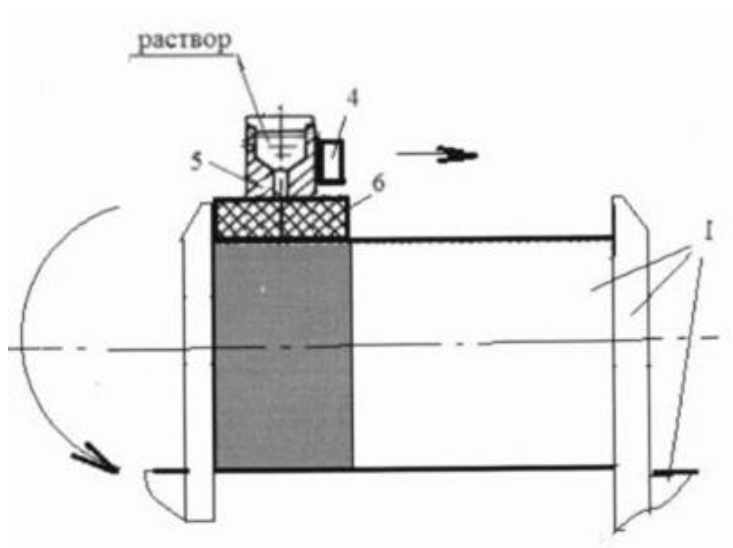
коленчатый вал с шейками, которые надо ремонтировать; на позиции б - приспособление, устанавливаемое в резцедержателе, для меднения шеек тампоном в виде поролона смачиваемого раствором медного купороса в дистиллированной воде и в электролите; на позиции в - процесс меднения шейки коленчатого вала; на позиции г - процесс приготовления и нанесения слоя пастообразной смеси на шейку коленчатого вала; на позиции д - сечение А-А; на позиции е - устанавливаемый в резцедержателе разъемный индуктор; на позиции ж - частотный режим работы генератора ТВЧ; на позиции з - приспособление для шлифования.



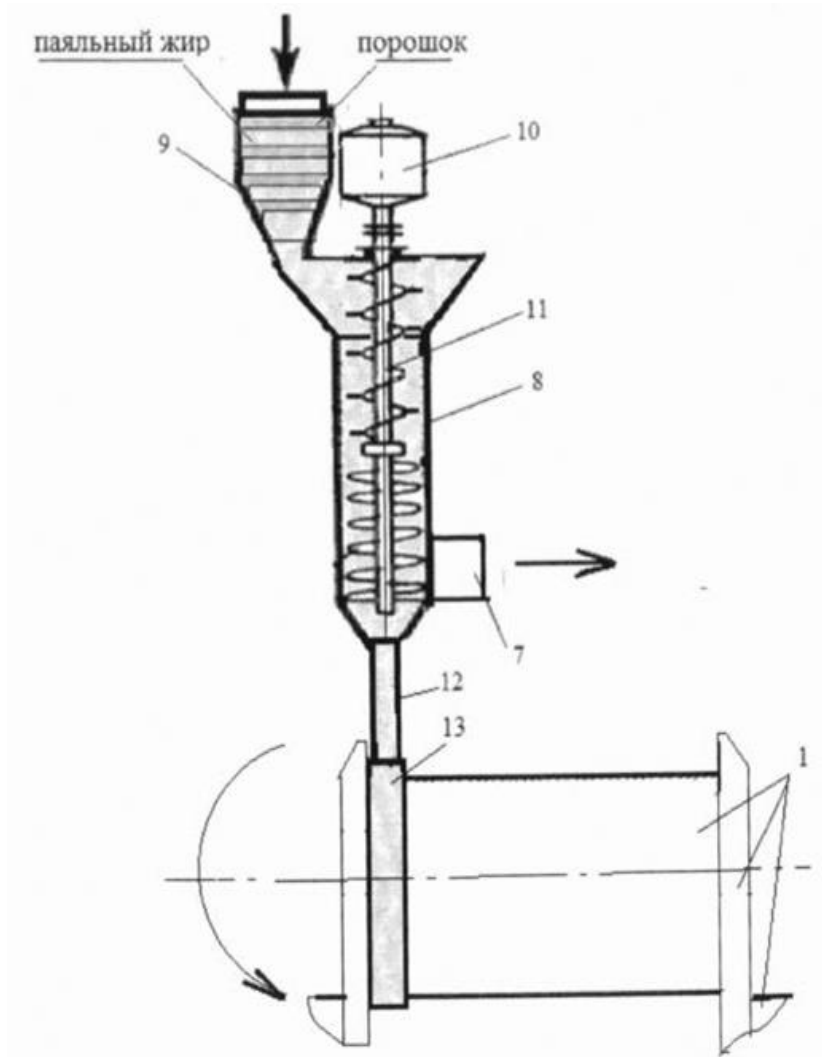
а



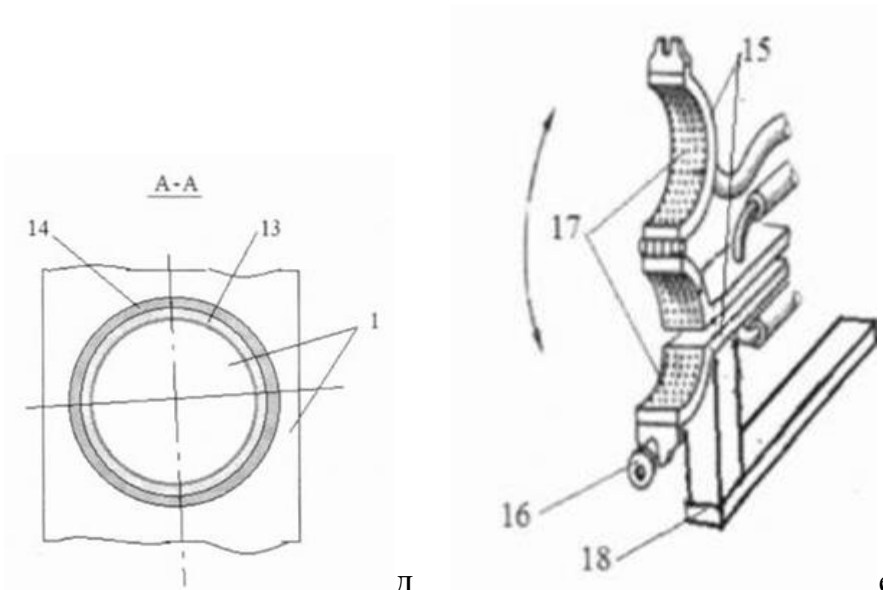
б



в

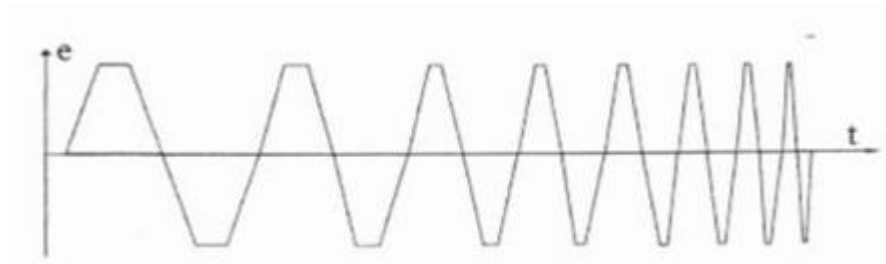


Г

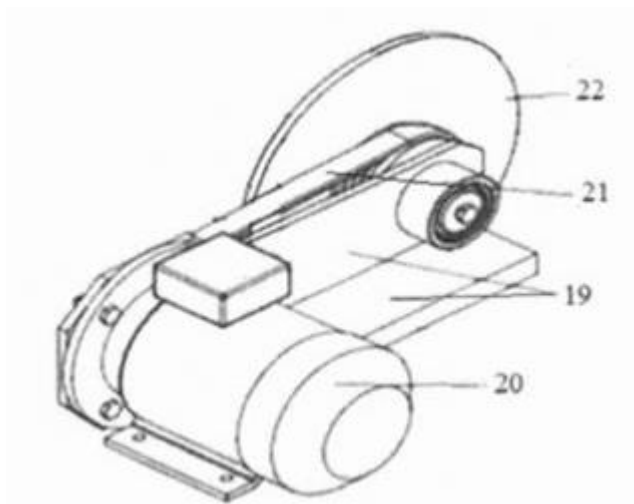


Д

е



Ж



З

Рисунок 1 – Инновационный способ восстановления шеек колінчатого вала

Способ восстановления шеек стальных коленчатых валов включает подготовку поверхности шеек 1 посредством зачистки от коррозии и дробеструйной обработки и установку упомянутого вала на токарно-винторезный станок 2, для обеспечения его вращения. Далее готовят раствор медного купороса в дистиллированной воде и электролите и заливают в приспособление для меднения, которое устанавливают в резцедержателе 3 станка 2. Приспособление для меднения имеет кронштейн 4 для крепления в резцедержателе, емкость 5 с каналом и с поролоновым тампоном 6. Далее каждую шейку 1 вала подвергают меднению, путем ее натирания при вращении вала тампоном 6. Убедившись в качественном без пропусков покрытии, шейку 1 сушат феном, а затем отключают вращение вала. Далее в резцедержателе 3 закрепляют с помощью державки 7 смеситель, имеющий цилиндрический корпус 8, горловину 9, электропривод 10 связанный со шнеком Пи

выходной патрубков 12 для нанесения пастообразной смеси состоящей из порошков антифрикционного материала 35-48%, порошков твердосплавных материалов 20-25% и буры с паяльным жиром 32-40%. Такое количество компонентов, входящих в состав пастообразной смеси обеспечивает получение смеси способной лучше восстанавливать и выдерживать большую нагрузку на шейки коленчатого вала. В качестве антифрикционных материалов используют порошок латуни марки Л60-Л63. Далее на вращающиеся шейки коленвала 1 при перемещении смесителя с резцедержателем 3 наносят слой пастообразной смеси 13. Затем шейки обматывают сверху кремнеземной (кварцевой) стеклотканью 14. Далее в резцедержателе 3 устанавливается разъемный индуктор 15, содержащий неподвижные секции и отъемную часть, защелку 16, отверстия для выхода охлаждающей воды 17 и водоподводящие шланги, крепление 18. После чего каждую шейку 1 по очереди размещают в разъемном индукторе, и подвергают некоторое время прогреву для припаивания и спекания слоя 13 пастообразной смеси. Причем слой 14 покрытый кремнеземной (кварцевой) стеклотканью защищает от растекания слой 13 при расплавлении. При этом включение индуктора осуществляют по программе - сначала используется низкая частота для увеличения глубины прогрева, а потом частота повышается, после прогрева производят душевое охлаждение водой из отверстий 17 для возможности переустановки индуктора. В завершении - восстановление поверхности шеек 1 выполняют путем шлифования при их вращении на токарном станке с помощью закрепляемого в резцедержателе 13 приспособления для шлифования, содержащего раму 19, электродвигатель 20, ременный привод 21 и сменные шлифовальные круги 22.

Технологический процесс восстановления изношенных шеек коленчатых валов состоит из следующих последовательных операций, выполнение требований которых гарантирует качество и надежность ремонта коленчатых валов: подготовка шеек 1 коленчатого вала к восстановлению путем зачистки от коррозии и

дробеструйной обработки; установки коленчатого вала на токарно-винторезный станок 2; приготовление раствора медного купороса в дистиллированной воде и электролите; меднение шеек 1 раствором путем натирания тампоном 6 с помощью, установленного в резцедержателе 3 приспособления для меднения; приготовления смесителем и нанесения на шейки слоя 13 пастообразной смеси; обматывание шеек со слоем 13 слоем 14 из кремнеземной (кварцевой) стеклоткани; размещение шеек 1 в разъемном индукторе, закрепленном в резцедержателе 13; разогрев для припайки и спекания слоя 13 путем подключения индуктора к специальному генератору по программе - сначала низкая частота для увеличения глубины прогрева, а потом частота повышается; душевое охлаждение шеек 1 водой; снятие стеклоткани с шеек и их механическая обработка шлифованием до номинального размера.

После окончательной шлифовки на шейке 1 припаянный спеченный слой 13 имеет твердые включения твердосплавного порошка и мягкой основы сплава меди с цинком, которая будет оснащать медью ее поверхность весь эксплуатационный срок, обеспечивая снижение износа, устранение склонности к схватыванию поверхностей, уменьшение времени приработки, увеличение ресурса работы, экономию энергии в результате снижения механических потерь на трение.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Проведен анализ технико-экономических ограничений и дефектов традиционных методов восстановления шеек коленчатых валов (шлифования) в условиях ремонтно-эксплуатационных предприятий АПК, на основе ККЗ «Кубань» Гулькевичского района.

2. Обоснована необходимость перехода на инновационные методы, восстанавливающие номинальный диаметр и прочностные характеристики вала, с учетом требований сопротивления материалов .

3. Применение инновационного способа обеспечит повышение технико-экономических показателей, а именно: улучшение качества нанесенного покрытия, повышение ресурса работы и снижение стоимости восстановленных коленчатых валов в сравнении с новыми.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Блохина И. О. Восстановление и упрочнение коленчатых валов автотракторных двигателей //Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2017. – №. 2. – С. 89-92.
2. Муравьев А. И. Повышение долговечности восстановленных коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53 с учетом особенностей их старения. – 1983.
3. Гоц А. Н. Крутильные колебания коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей: учебное пособие. – 2008.
4. Гуо Н. и др. Ли Ж., Жиа Я., Шен Н., Ю Ж., Жанг В. Влияние режимов шлифования титанового сплава ТС4 на остаточные напряжения в его приповерхностных слоях//Пробл. прочности.–2015.–№ 1.–С. 8–18.
5. Агеев Е. В., Семенихин Б. А. Восстановление коленчатого вала двигателя КамАЗ-740 твердосплавной наплавкой //Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2007. – №. 7. – С. 3-6.
6. Крамарев Е. В., Бондарев А. В. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. – 2022.
7. Патент РФ № 2821120, (51) МПК В23Р 6/00 , С23С 4/129, С23С 4/18. Способ восстановления шеек стальных коленчатых валов / Тарасенко Б.Ф., Дмитриев С.А., Вакуленко О.С. и др.– ФГБОУ ВО "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина", опубл.: 17.06.2024 Бюл. № 17

### **REFERENCES**

1. Blokhina I. O. Restoration and strengthening of crankshafts of autotractor engines. – 2017. – №. 2. – P. 89-92.
2. Muravyov A. I. Improving the Durability of Reconditioned Crankshafts of ZMZ-53 Engines, Taking into Account the Features of Their Aging. – 1983.
3. Gots A. N. Torsional vibrations of crankshafts of automobile and tractor engines: a textbook. – 2008.
4. Guo N., et al. Li J., Jia Y., Shen N., YU ZH., Zhang V. Influence of grinding modes of titanium alloy TS4 on residual stresses in its near-surface layers. Strength.–2015.–No 1.–P. 8–18.
5. Ageev E. V., Semenikhin B. A. Restoration of the crankshaft of the KamAZ-740 engine by hard-alloy surfacing // New materials and technologies in mechanical engineering. – 2007. – №. 7. – P. 3-6.
6. Kramarev E. V., Bondarev A. V. DEVELOPMENT OF DIESEL ENGINE CRANKSHAFT RESTORATION TECHNOLOGY. – 2022.
7. Federation Patent No. 2821120, (51) IPC B23P 6/00, C23C 4/129, C23C 4/18. Method for restoring steel crankshaft journals / Tarasenko B.F., Dmitriev S.A., Vakulenko O.S. et al. – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin”, published: 17.06.2024 Bulletin No. 17

## **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Тарасенко Борис Фёдорович,**  
 доктор технических наук, доцент  
 ВАК,  
 профессор, кафедра тракторов,  
 автомобилей и технической  
 механики, b.tarasenko@inbox.ru

**Tarasenko Boris Fedorovich,**  
 Doctor of Technical Sciences, Associate  
 Professor of the Higher Attestation  
 Commission, Professor, Department of  
 Tractors, cars and technical mechanics,  
 b.tarasenko@inbox.ru

**Drobot Viktor Aleksandrovich**

---

**Дробот Виктор Александрович**  
кандидат технических наук, доцент,  
кафедра сопротивления материалов,  
viktor.drobot.85@mail.ru

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor, Department of  
Materials Resistance,  
viktor.drobot.85@mail.ru

**Пухалов Никита Андреевич**

**Pukhalov Nikita Andreevich**

обучающаяся факультета  
механизации, Кубанский  
государственный аграрный  
университет, город Краснодар,  
Россия, npukhalov@bk.ru

student of the Faculty of Mechanization,  
Kuban State Agrarian University,  
Krasnodar, Russia, npukhalov@bk.ru

---