

# ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.9

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-31-38>

## Анализ технологий восстановления коленчатых валов автотракторной техники

*В.И. Балабанов<sup>1</sup>, Д.В. Добряков<sup>2</sup>*<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Москва, Россия<sup>2</sup> Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований

по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса; р.п. Правдинский, Московская обл., Россия

<sup>1</sup> [vbalabanov@rgau-msha.ru](mailto:vbalabanov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6486-6485><sup>2</sup> [dimasdobr@rambler.ru](mailto:dimasdobr@rambler.ru)

**Аннотация.** Характерными дефектами коленчатых валов ДВС автотракторной техники являются износы поверхностей трения: шеек, торцов, пазов и резьбы, а также остаточные деформации и усталостные трещины. Для устранения дефектов проводится восстановление коленчатых валов с использованием технологических операций по восстановлению формы и расположения, линейных и угловых размеров, а также шероховатости, износостойкости и усталостной прочности элементов и поверхностей коленчатого вала. С целью анализа технологий восстановления коленчатых валов автотракторной техники рассмотрены условия эксплуатации, основные дефекты и виды наплавки и напыления, наносимые с помощью электродугового, газопламенного, детонационного и плазменного (индукционного и плазменно-дугового) методов. Отмечается, что у восстановленных деталей в сравнении с новыми для соответствия показателям надежности соотношение твердости ( $HRC_B/HRC_H$ ) и предела усталостной прочности ( $G_{-1B}/G_{-1H}$ ) должно быть больше единицы. Однако ни одна технология восстановления коленчатых валов в полной мере не отвечает этому показателю, поскольку износостойкость новых коленчатых валов в большинстве случаев выше износостойкости восстановленных деталей. В результате анализа технологий восстановления коленчатых валов особо выделена финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) с применением антифрикционных, износостойких и твердосмазочных покрытий, наносимых на детали различными способами, позволяющая повысить износо- и коррозионную стойкость, сопротивление усталостному износу деталей и улучшить приработку трущихся деталей машин.

**Ключевые слова:** коленчатый вал, изнашивание, восстановление коленчатых валов, ремонт, наплавка, напыление, шлифование, финишная антифрикционная безабразивная обработка

**Для цитирования:** Балабанов В.И., Добряков Д.Ю. Анализ технологий восстановления коленчатых валов автотракторной техники // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 5. С. 31-38. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-31-38>

ORIGINAL ARTICLE

## Analyzing the techniques for restoring crankshafts of automotive vehicles

*V.I. Balabanov<sup>1</sup>, D.V. Dobryakov<sup>2</sup>*<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia<sup>2</sup> Russian Research Institute of Information and Feasibility Studies for Engineering and Technical Support of the Agribusiness Sector; Pravdinsky, Moscow Region, Russia<sup>1</sup> [vbalabanov@rgau-msha.ru](mailto:vbalabanov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6486-6485><sup>2</sup> [dimasdobr@rambler.ru](mailto:dimasdobr@rambler.ru)

**Abstract.** Characteristic defects of internal combustion engine crankshafts of automotive vehicles include wear of friction surfaces – journals, faces, grooves and threads, – as well as residual deformations and fatigue cracks. To eliminate defects, crankshafts are repaired using technological operations to restore the shape and location, linear and angular dimensions, as well as roughness, wear resistance and fatigue resistance of elements and surfaces. To analyze the restoration techniques of crankshafts of automotive vehicles the operating conditions, the authors

considered the main defects and types of surfacing and spraying applied by means of electric arc, gas-flame, detonation, and plasma (induction and plasma-arc) methods. The authors note that to meet reliability requirements, the restored parts should have a ratio of hardness ( $HRC_B/HRC_H$ ) and fatigue strength ( $G_{IB}/G_{IH}$ ) higher than one as compared to new parts. However, no crankshaft restoration technique fully meets this requirement, because the wear resistance of new crankshafts in most cases is higher than that of restored parts. Based on the analysis of crankshaft restoration techniques, the authors determined the following effective ones: the finishing antifriction non-abrasive treatment (FANT) with the use of antifriction, wear-resistant and solid lubricant coatings applied to the parts using various methods. This technique increases wear and corrosion resistance, resistance to fatigue wear, and improves the running-in of the rubbing machine parts.

**Keywords:** crankshaft, wear, crankshaft restoration, repair, surfacing, spraying, grinding, finishing antifriction non-abrasive treatment (FANT)

**For citation:** Balabanov V.I., Dobryakov D.V. Analyzing the techniques for restoring crankshafts of automotive vehicles. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(5):31-38. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-31-38>

### Введение

Послеремонтный ресурс отечественных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автотракторной техники после капитального ремонта составляет 30...80% от ресурса новых. Например, автомобильная техника поступает на первый капитальный ремонт примерно через 5 лет эксплуатации, в то время как их двигатели уже 2-3 раза ремонтировались. Анализ эксплуатации автотракторной техники показал, что 34...45% отказов приходится именно на двигатели<sup>1</sup> [1-3].

Наиболее сложной и дорогостоящей деталью ДВС является коленчатый вал, тяжелые условия работы которого обуславливают его интенсивное изнашивание. При ремонте ДВС большинство коленчатых валов требует замены. Приобретение новых коленчатых валов на импортную автотракторную технику затруднительно, поэтому актуальным становится их восстановительный ремонт.

Установлено, что отказы кривошипно-шатунного механизма ДВС приводят к падению давления масла в главной магистрали вследствие износа и образованию продольных рисок в подшипниках и шейках коленчатого вала, а также течи моторного масла через уплотнительные устройства<sup>2</sup> [1-3].

Коленчатые валы ДВС автотракторной техники в большей степени подвержены абразивному и усталостному изнашиванию. Изнашивание при «схватывании» проявляется при механическом взаимодействии шероховатостей [4, 5].

Абразивное изнашивание возникает в результате царапающего или режущего воздействия высокотвердых частиц абразива, находящихся в закреплённом виде на сопрягаемых поверхностях вкладышей

и шеек коленчатого вала или в свободном состоянии в составе моторного масла. Абразивные частицы диаметром 1...30 мкм в достаточном количестве присутствуют в окружающей среде, моторном масле или на трущихся поверхностях. Абразивным материалом также могут являться частицы износа поверхностей трущихся деталей, твердых оксидов металлов поверхности, топливного или масляного нагара и др.<sup>3</sup> [5, 6].

Коленчатые валы работают в условиях знакопеременных нагрузок, вследствие чего испытывают уменьшение усталостной прочности. Критическим напряжением для усталостной прочности коленчатого вала является предел выносливости. В отличие от других видов механических характеристик, например, пределов прочности, текучести и упругости, этот прочностной показатель в большой степени определяется состоянием поверхностей трения шеек коленчатого вала.

Напряженность работы коленчатого вала в процессе работы растёт, в том числе, вследствие повышения зазоров между шейками валом и коренными вкладышами по причине неравномерного износа, что в свою очередь приводит к появлению несоосности коренных шеек и коренных опор блока, дополнительному изгибу и снижению запаса прочности.

Для коленчатых валов ДВС наиболее характерными дефектами являются износы различных поверхностей трения, прежде всего – шеек, торцов, пазов и резьбы, а также остаточные деформации и усталостные трещины. Для устранения указанных дефектов проводятся технологические операции по восстановлению формы и расположения, линейных и угловых размеров, а также шероховатости, износостойкости и усталостной прочности элементов и поверхностей коленчатого вала (табл. 1).

**Цель исследований:** анализ технологий восстановления коленчатых валов автотракторной техники.

<sup>1</sup> Черноиванов В.И., Бледных В.В., Северный А.Э., Лялякин В.П., Ольховацкий А.К. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учеб. пособие. Москва-Челябинск: ЧГАУ, 2001. 600 с.

<sup>2</sup> Там же.

<sup>3</sup> Там же

Таблица 1

Основные дефекты и методы ремонта коленчатых валов автотракторной техники<sup>4</sup>

Table 1

Main defects and repair methods of crankshafts of automotive vehicles<sup>4</sup>

Возможный дефект <i>Possible defect</i>	Способ установления и средства контроля дефекта <i>Method of defect detection and means of defect control</i>	Рекомендации по устранению дефекта <i>Recommendations on defect elimination</i>
Обломы и трещины <i>Breaks and cracks</i>	Дефектоскоп <i>Fault indicator</i>	Браковать <i>Reject</i>
Изгиб вала <i>Shaft bending</i>	Стенд контроля прогиба <i>Bench deflection control</i>	Править при биении более 0,03 мм <i>Restore if runout exceeds 0.03 mm</i>
Увеличение длины шатунных шеек <i>Increased length of crank-throws</i>	Калибр <i>Gauge</i>	Браковать при увеличении длины более допустимой <i>Reject if the length is longer than permissible</i>
Износ шатунных и коренных шеек. Уменьшение диаметров шеек меньше номинального <i>Wear of crank-throws and main bearing journals. Decreased diameter of the journals (less than the nominal one)</i>	Скоба <i>Clip</i>	Шлифовать шейки под ремонтный размер <i>Grind journals for the repair size</i>
Износ шейки под средний противовес и шестерню привода масляного насоса <i>Worn journals of the middle counterweight and oil pump drive gear</i>	Скоба <i>Clip</i>	Шлифовать шейку под ремонтный размер <i>Grind journals for the repair size</i>
Нарушение взаимного углового расположения относительно 1-й шатунной шейки: 2-й шатунной шейки 3-й шатунной шейки <i>Distorted mutual angular position relative to the 1st crank-throw: 2nd crank-throw 3rd crank-throw</i>	Приспособление для проверки углового расположения шатунных шеек <i>Instrument for checking angular position of crank-throws</i>	Браковать при угловом расположении более +25° <i>Reject at angular position of more than +25°</i>
Изменение радиуса кривошипа менее допустимого <i>Changed crank radius (less than permissible)</i>	Приспособление для замера радиуса <i>Instrument for radius measurement</i>	Браковать <i>Reject</i>
Риски, задиры или износ шейки под манжету <i>Scratching and scoring or wear of the collar areas</i>	Скоба <i>Clip</i>	Шлифовать до устранения рисков и задиров <i>Grind to remove any scratching and scoring</i>
Износ шпоночного паза под задний противовес и распределительную шестерню <i>Worn keyway for the rear counterweight and timing gear</i>	Калибр <i>Gauge</i>	Обработать под ремонтный размер <i>Grind to repair size</i>
Износ отверстия под подшипник первичного вала коробки передач <i>Worn bore for the bearing of the gearbox input shaft</i>	Пробка <i>Plug</i>	Установить втулку <i>Install the bushing</i>
Биение заднего торца коленчатого вала <i>Run-out of the rear end of the crankshaft</i>	Индикаторное приспособление <i>Indicator instrument</i>	Шлифовать до устранения биения <i>Grind until run-out is eliminated</i>
Риски и задиры на опорной поверхности шейки под задний противовес и распределительную шестерню <i>Scratching and scoring on the bearing surface of the throw of the rear counterweight and the distributor gear</i>	Калибр <i>Gauge</i>	Обработать участки износа <i>Grind wear areas</i>

<sup>4</sup>Черноиванов В.И., Бледных В.В., Северный А.Э., Лялякин В.П., Ольховацкий А.К. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учеб. пособие. Москва-Челябинск: ЧГАУ, 2001. 600 с.

## Материалы и методы

Улучшить качество ремонта техники можно применением прогрессивных технологических процессов ремонта, обеспечивающих повышение надежности отремонтированных машин<sup>5</sup> [4, 6].

Повышение ресурса работы, увеличение срока службы коленчатых валов, а следовательно, ДВС в целом, могут быть достигнуты с помощью наплавки защитных покрытий, напыления порошкового материала, электроискровой обработки, электроконтактного напекания (приварки) металлического слоя (порошков, ленты и т.д.), пластического деформирования материала, нанесения электрохимических и химических покрытий, методов диффузионной металлизации<sup>6</sup> [2-4].

Технология электродуговой наплавки в среде защитных газов заключается в подаче под давлением защитного газа в зону горения электрической дуги, в результате столб дуги и сварочная ванна изолируются от атмосферного кислорода и азота. Такая разновидность наплавки значительно снижает ряд несовершенств наплавки под слоем флюса.

Наплавка коленчатых валов в среде защитных газов также имеет ряд недостатков: разбрызгивание металла до 5...10% и перерасход защитного газа; невысокое легирование наплавляемого металла; уменьшение износостойкости наплавленных поверхностей и усталостной прочности валов на 10...20%; необходимость защиты сварщика от интенсивного светового излучения электрической дуги. При этом использование защитных газов так же, как и флюса, при дуговой наплавке имеет ряд технологических трудностей. Отказаться от флюса или защитных газов позволяют технологии применения порошковой проволоки или ленты с соответствующим компонентным составом сердечника<sup>7</sup> [2].

При формировании металлических покрытий целесообразно применять самофлюсующиеся высокоуглеродистые порошковые сплавы (табл. 2), которые достаточно точно и в широких пределах позволяют регулировать химический и фазовый состав наносимых покрытий за счет смешивания порошков с различными свойствами. Покрытия из таких композиций можно наносить как методами газотермического напыления или газопорошковой наплавки, так и индукционным напеканием, электроконтактной

приваркой или другими способами. Например, при плазменной наплавке обрабатываемая деталь включена в цепь тока нагрузки, и плазменная струя одновременно нагревает наносимый материал и поверхность восстанавливаемой детали. Наносимый порошковый материал переносится в зону наплавки плазменной струей с температурой более 20000 К. Данная технология позволяет формировать тонкослойные покрытия на коленчатые, кулачковые и распределительные валы, валы турбокомпрессоров, оси, крестовины карданных шарниров, направляющие станочного оборудования и другие высоконагруженные детали.

Технологический процесс плазменной наплавки порошковых материалов и образования тонкослойных износостойких покрытий более эффективен по сравнению с гальваническими процессами нанесения покрытий. Плазменной наплавкой можно наносить широкий спектр покрытий толщиной 0,2...6,5 мм и шириной 1,2...45 мм. При нанесении легкоплавкого материала имеется возможность проплавления только очень тонких поверхностных слоев без оплавления самой поверхности детали<sup>8</sup> [2].

Различные виды наплавки сопровождаются значительным тепловыделением в основном материале детали, что может приводить к выгоранию легирующих элементов, закалке поверхностных слоев, образованию микротрещин, возникновению трудностей с последующей механической обработкой нанесенных покрытий. С другой стороны, наплавкой под слоем флюса можно получить толщину покрытия более 3 мм, а вибродуговой наплавкой в среде защитных газов – более 2 мм. Вследствие этого при последующей механической обработке покрытия большая часть наплавленного металла отправляется в стружку. В связи с этим для восстановления изношенных шеек коленчатого вала целесообразно использование технологий, сохраняющих твердые фазы металла. К таким технологиям следует отнести электроконтактную приварку (ЭКП) металлической ленты на предварительно подготовленные поверхности шеек и различные способы газотермического напыления<sup>9</sup> [2-4].

Технология ЭКП металлического слоя заключается в приварке его к изношенной поверхности шеек коленчатого вала мощными импульсами тока с одновременным приложением давления. При ЭКП наносимый материал металлической ленты детали расплавляется в результате горения электрической дуги только в точках его контакта

<sup>5</sup>Черноиванов В.И., Бледных В.В., Северный А.Э., Лялякин В.П., Ольховацкий А.К. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учеб. пособие. Москва-Челябинск: ЧГАУ, 2001. 600 с.

<sup>6</sup>Там же

<sup>7</sup>Там же

<sup>8</sup>Там же

<sup>9</sup>Там же

с поверхностью детали, а не по всей толщине покрытия [1, 3].

В зависимости от способа нагрева и диспергирования напыляемых порошковых материалов технологии нанесения покрытий подразделяются на электродуговое, газопламенное, детонационное и плазменное (индукционное и плазменно-дуговое напыление) (табл. 3).

Повышение скорости напыляемых частиц увеличивает запас их кинетической энергии. Например, при детонационном напылении порошковых материалов нагрев и ускорение (повышение кинетической энергии) наплавляемого материала осуществляются за счет энергии взрывного сгорания (детонации) пропан-бутановой смеси. Накопленная энергия затем расходуется на деформирование частиц

и их закрепление на обрабатываемой поверхности, а малое время окисления способствует снижению толщины оксидных пленок, что в итоге уменьшает пористость покрытий и значительно повышает их физико-механические и эксплуатационные свойства<sup>10</sup> [2-4].

Во ВНИИТВЧ им. В.В. Вологодина была разработана технология индукционного напыления, при которой металлическая проволока подается в специальный индуктор, где расплавляется вихревыми токами переменного магнитного поля, расплывается сжатым воздухом и наносится на обрабатываемую деталь. Особенностью индукционного аппарата является высокочастотный индуктор и специальный концентратор тока, которые обеспечивают локальный нагрев и распыление проволоки<sup>11</sup>.

Таблица 2

**Компонентный состав и физико-механические характеристики порошковых сплавов**

Table 2

**Component composition and physical and mechanical characteristics of powder alloys**

Марка Grade	Химический состав, % Chemical composition, %	Твердость, HRC Hardness, HRC	Температура плавления, T <sub>пл</sub> , °C Melting point, T <sub>пл</sub> , °C	Структура покрытия Coating structure
ПГ-СР2	0,4 C; 13,5 Cr; 4,5 Si; 1,8 B; Ni – остальное	40...45	1050	<b>Карбиды и бориды в никелевой основе</b> Carbides and borides in the nickel base
ПГ-СР3	0,3 C; 15,0 Cr; 3,0 Si; 2,4 B; Ni – остальное	50...55	1050	
ПГ-СР4	0,8 C; 16,5 Cr; 3,7 Si; 3,3 B; Ni – остальное	58...62	990	
ПГ-С1	2,9 C; 29,0 Cr; 3,5 Si; 4,2 Mn; 4,0 Ni; Fe – остальное	51	1280...1320	<b>Карбиды хрома в железной основе</b> Chromium carbides in the iron base
ПГ-С27	3,9 C; 26,0 Cr; 1,5 Si; 1,7 Ni; 0,3 W; 2,1 Mn; Fe – остальное	59	1280...1320	
ПГ-УС25	4,9 C; 38,0 Cr; 2,1 Si; 2,5 Mn; 1,4 Ni; Fe – остальное	55	1290...1320	

Таблица 3

**Показатели параметров различных технологий напыления**

Table 3

**Parameter values of different spraying techniques**

Параметр Parameter	Способы напыления / Methods of spraying			
	Электродуговое Electric arc	Газопламенное Gas-flame	Плазменное Plasma	Детонационное Detonation
Производительность технологического процесса, кг/г Process productivity, kg/g	3...50	1...10	3...12	0,1...6,0
Коэффициент использования напыляемого материала Coefficient of utilization of spraying material	0,80...0,95		0,70...0,90	0,30...0,60
Прочность покрытия с подложкой, МПа Strength of coating with a substrate, MPa	до 40	до 50	до 60	до 200
Температура напыляемых частиц, °C Temperature of sprayed particles, °C	до 1800	до 3000		до 4000
Скорость напыляемых частиц, м/с Velocity of sprayed particles, m/s	50...150	20...120	50...400	600...800

<sup>10</sup>Черноиванов В.И., Бледных В.В., Северный А.Э., Лялякин В.П., Ольховацкий А.К. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учеб. пособие. Москва-Челябинск: ЧГАУ, 2001. 600 с.

<sup>11</sup> Там же.

Технология индукционного напыления при минимальном окислении наносимого металла обеспечивают высокую прочность покрытий, но при этом по сравнению другими способами отличается невысокой производительностью процесса, сложностью и высокой стоимостью применяемого оборудования.

Технологический процесс восстановления шеек коленчатых валов методом напыления материала в общем виде включает в себя следующие основные операции: предварительную подготовку наносимого порошка; механическую обработку восстанавливаемой поверхности (нарезание «рваной» резьбы, дробеструйную обработку и обезжиривание); защиту поверхностей, не подлежащих напылению (установку заглушек в масляные каналы вала, нанесение защитного лака); нагрев материала покрытия; нанесение подслоя; нанесение основного покрытия; оплавление нанесенного покрытия; выдержку в термосе; удаление защитных экранов и заглушек, очистку коленчатого вала.

Широкое внедрение технологий напыления в ремонтном производстве ограничивается достаточно высокой стоимостью порошковых материалов, а также возможными отклонениями от требований технологии. При этом следует учитывать, что покрытия, полученные при помощи технологий напыления, работоспособны при минимальной толщине около 0,3 мм.

Многолетний опыт ряда машиностроительных заводов России и зарубежных стран показывает, что при выполнении специфических требований и рекомендаций напыление все чаще применяется для восстановления номинальных размеров деталей<sup>12</sup> [2-4].

Способы напыления порошковых материалов в порядке увеличения удельных затрат на единицу массы покрытия располагаются в следующем порядке: электродуговое – газопламенное – плазменное – детонационное; по удельным затратам на газ: электродуговое – газопламенное плазменное – детонационное; по затратам на электроэнергию: газопламенное – детонационное – электродуговое – плазменное; по затратам на заработную плату с начислениями (трудоемкости): электродуговое – газопламенное – плазменное – детонационное.

Анализ этих прогрессивных технологий с точки зрения образования тонкослойных износостойких покрытий указывает на их высокую удельную себестоимость, недостаточную производительность, низкую универсализацию, неполную реализацию потенциальных физико-механических характеристик порошковых материалов, невысокую автоматизацию процесса и ряд других недостатков (например,

<sup>12</sup> Черноиванов В.И., Бледных В.В., Северный А.Э., Лялякин В.П., Ольховацкий А.К. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учеб. пособие. Москва-Челябинск: ЧГАУ, 2001. 600 с.

при применении детонационного напыления высокой является шумность процесса), поэтому необходимо их дальнейшее развитие и совершенствование.

Улучшение качества наносимых покрытий ведется в направлении повышения прочности сцепления и плотности благодаря применению устройств для ускорения частиц порошка, установки высокоскоростного газопламенного напыления, использованию новых технических решений, снижающих потери тепловой энергии пламени газопламенной установки и повышающих качество смешивания горючего газа и окислителя, а также нагрева частиц порошка в пламени.

В ремонтном производстве широко распространен метод, заключающийся в шлифовании шеек коленчатых валов под ремонтный размер с нормативным интервалом, как правило, составляющим 0,25 мм. Данный метод ремонта отличается минимальной трудоемкостью и относительной простотой процесса. Недостатками этого метода являются удаление термообработанного поверхностного слоя обрабатываемых шеек, подрез краев галтелей, а также снижение усталостной прочности восстановленных коленчатых валов. В стружку отправляется конструкционный материал вала, и фактически сокращается заложенный в коленчатый вал межремонтный ресурс. При последующей эксплуатации ДВС, после достижения третьего ремонтного размера, наблюдается повышение износа коренных шеек на 15...20% и снижение усталостной прочности до 25% при шлифовании на последний ремонтный размер.

### Результаты и их обсуждение

Российскими учеными В.И. Черноивановым (ГОСНИТИ) и Э.С. Каракозовым (ВНИИТУВИД «Ремдеталь») установлено, что при разработке технологических процессов восстановления деталей и соответствующего оборудования для формирования качественных покрытий следует учитывать ряд условий: термические воздействия не должны приводить к фазовым или структурным изменениям в основном металле; смешивание конструкционных материалов детали и покрытия должно быть незначительным; необходимо исключить возможность изменения химического и фазового состава нанесенного покрытия по сравнению с материалом детали; в зоне контакта должны отсутствовать релаксационные процессы, способные изменить структуру и фазовый состав покрытий<sup>13</sup> [2, 5].

В наибольшей степени требованиям надежности отвечают технологические процессы, у которых отношения твердости ( $HRC_B/HRC_H$ ) и предела усталостной прочности ( $G_{1B}/G_{1H}$ ) восстановленных (в) и новых (н) деталей численно равны или больше единицы<sup>14</sup> [2-4, 7].

<sup>13</sup> Там же

Как показывает анализ данных (табл. 4), ни одна из известных технологий восстановления коленчатых валов в полной мере не удовлетворяет данные показатели. При этом износостойкость новых коленчатых валов также в большинстве случаев выше износостойкости восстановленных деталей<sup>15</sup> [2-4].

Важнейшим условием получения высокой износостойкости шеек коленчатых валов является технология их окончательной (финишной) абразивной обработки, применяемой для обеспечения оптимального параметра шероховатости поверхности (тонкое шлифование, суперфиниширование, полирование и др.).

В промышленности и на транспорте достаточно широко применяется метод ФАБО [5, 7-9]. Сущность ФАБО заключается во фрикционном (при помощи трения) нанесении антиизносных покрытий из пластичных металлов на поверхности обрабатываемых деталей – таких, как коренные и шатунные шейки коленчатого вала и гильзы цилиндров ДВС; различного

вида валики, оси, штоки, пальцы трансмиссии и ходовой части автотракторной техники; резьбовые соединения буровой техники; поверхности качения и реборды колесных пар железнодорожного транспорта и ряд других. Технология применяется для повышения задиристости, снижения интенсивности изнашивания и потерь на трение трущихся поверхностей, а также интенсификации процессов образования защитных «сервоитных» пленок в период приработки после изготовления или ремонта изделий и их дальнейшей эксплуатации [5, 7-9].

В результате анализа патентов и литературы, триботехнических исследований нами установлено, что применение антифрикционных, износостойких и твердосмазочных покрытий, наносимых на детали различными способами, позволяет повысить износостойкость и коррозионную стойкость, сопротивление усталостному износу и улучшить приработку шеек коленчатых валов ДВС автотракторной техники [7-9].

Оценка способов восстановления коленчатых валов<sup>16</sup> [2]

Таблица 4

Evaluation of crankshaft restoration methods<sup>16</sup> [2]

Table 4

Способы восстановления / Methods of restoration	HRC <sub>в</sub> / HRC <sub>н</sub>	G <sub>-1B</sub> / G <sub>-1H</sub>
Шлифование шеек под ремонтный размер / Grinding of journals for repair size	0,9	0,9
Обточка шеек с постановкой полувтулок / Roughing of journals with the placing of half bushing	1,0	0,6
Автоматическая электровибрационная наплавка / Automatic electro-vibrating surfacing	0,7	0,4
Наплавка в защитных средах / Cladding in protective media	0,9	0,6
Механизированная дуговая наплавка порошковой проволокой с внутренней защитой / Mechanized arc cladding with a flux cored wire having internal protection	0,7	0,4
Электрометаллизация / Arc spraying	0,6	0,9
Гальванические покрытия / Electroplated coatings	0,4	0,5
Наплавка плазменной дугой / Plasma arc cladding	0,9	0,9

## Выводы

1. Наиболее прогрессивными технологиями восстановления шеек коленчатых валов ДВС является плазменное и газопламенное напыление, а самым дешевым и распространенным способом – шлифование под ремонтный размер. Однако недостатками последнего являются удаление термообработанного поверхностного слоя обрабатываемых деталей, подрез краев галтелей и снижение усталостной прочности восстановленных коленчатых валов.

2. Улучшение качества наносимых покрытий (прочности сцепления и плотности покрытия)

может быть достигнуто применением новых технических решений, снижающих потери тепловой энергии, а также использованием новых композиционных материалов с высокими прочностными, антифрикционными и противоизносными свойствами.

3. Повышение задиристости и износостойкости восстановленных поверхностей трения шеек коленчатых валов ДВС может быть обеспечено за счет фрикционно-механического (при помощи трения) нанесения антиизносных, антифрикционных покрытий в процессе ФАБО.

<sup>14</sup>Черноиванов В.И., Бледных В.В., Северный А.Э., Лялякин В.П., Ольховацкий А.К. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учеб. пособие. Москва-Челябинск: ЧГАУ, 2001. 600 с.

<sup>15</sup> Там же.

<sup>16</sup> Там же.

## Список источников

1. Сковородин В.Я., Антипов А.В. Влияние режима отделочно-антифрикционной обработки шеек коленчатого вала на параметры шероховатости поверхности // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017. № 49. С. 245-251. EDN: YOKAYQ
2. Денисов А.С., Погораздов В.В., Тугушев Б.Ф., Горшенина Е.Ю. Технологическое обеспечение качества восстановленных коленчатых валов дизельных двигателей // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. Т. 4, № 1. С. 49-54. EDN: NXCXPD
3. Голубев И.Г., Апатенко А.С., Севрюгина Н.С., Быков В.В., Голубев М.И. Перспективные направления использования аддитивных технологий в ремонтном производстве // Техника и оборудование для села. 2023. № 6 (312). С. 35-38. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-6-35-38>
4. Корнейчук Н.И., Ялякин В.П. Перспективы использования промышленных методов восстановления изношенных деталей машин гальваническими и полимерными покрытиями в современных условиях развития агропромышленного технического сервиса // Труды ГОСНИТИ. 2018. Т. 130. С. 254-264. EDN: YVGNJW
5. Гаркунов Д.Н. Финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) поверхностей трения деталей // Ремонт, восстановление и модернизация. 2009. № 2. С. 10-17. EDN: KNXVUH; 2009. № 3. С. 36-41 EDN: KXIXAZ; 2009. № 4. С. 20-24 EDN: KXIXEV; 2009. № 5. С. 24-29 EDN: KXIXKP; 2009. № 6. С. 38-42 EDN: KXIXRN
6. Сковородин В.Я., Антипов А.В. Влияние режима финишной обработки шеек коленчатого вала на антифрикционные свойства поверхности // Известия Международной академии аграрного образования. 2018. № 41-1. С. 38-43. EDN: YQNAHR
7. Балабанов В.И. Повышение качества отремонтированных двигателей внутреннего сгорания путем реализации избирательного переноса при трении // Вестник машиностроения. 2001. № 8. С. 14-19. EDN: TPBWOX
8. Балабанов В.И., Голубев И.Г., Добряков Д.В. Совершенствование технологического процесса фрикционного нанесения защитных покрытий // Техника и оборудование для села. 2023. № 10 (316). С. 31-34. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-10-31-34>
9. Balabanov V.I., Dobryakov D.V., Alipichev A. Yu. Developing the technology of friction alitising. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(5):52-56. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-52-56>

## Информация об авторах

**Виктор Иванович Балабанов**<sup>1✉</sup>, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ; [vbalabanov@rgau-msha.ru](mailto:vbalabanov@rgau-msha.ru)<sup>✉</sup>; <https://orcid.org/0000-0001-6486-6485>; SPIN-код: 1885-6817, Scopus author ID: 7005293644, Researcher ID: L-7456-2017.

**Дмитрий Викторович Добряков**<sup>2</sup>, аспирант; [dimasdobr@rambler.ru](mailto:dimasdobr@rambler.ru).

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49

<sup>2</sup> Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса (Росинформагротех); 141261, Российская Федерация, Московская обл, р.п. Правдинский, ул. Лесная, 60

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 12.04.2024; поступила после рецензирования и доработки 11.09.2024; принята к публикации 14.09.2024

## References

1. Skovorodin V.Ya., Antipov A.V. Effect of the crankpin finishing and antifricition treatment mode on surface roughness parameters. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2017;49:245-251. (In Russ.)
2. Denisov A.S., Pogorazdov V.V., Tugushev B.F., Gorshenina E.Yu. Technological quality maintenance of diesel engines restored crankshafts. *Vestnik Saratovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2010;4(1):49-54. (In Russ.)
3. Golubev I.G., Apatenko A.S., Sevryugina N.S., Bykov V.V., Golubev M.I. Promising paths for the use of additive technologies in the repair industry. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023;6:35-38. (In Russ.)
4. Korneychuk N.I., Lyalyakin V.P. Prospects for the use of industrial methods of repairing worn machine parts electroplating and polymer coating in modern conditions of development of agroindustrial technical services. *Trudy GOSNITI*. 2018;130:254-264. (In Russ.)
5. Garkunov D.N. Finishing antifricition non-abrasive treatment (FANT) of friction surfaces of parts. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2009;2:10-17, 2009;3:36-41, 2009;4:20-24, 2009;5:24-29, 2009;6:38-42. (In Russ.)
6. Skovorodin V.Ya., Antipov A.V. The effect of mode of finishing of crankshaft journals on anti-friction surface properties. *Izvestiya Mezhdunarodnoy Akademii Agrarnogo Obrazovaniya*. 2018;41-1:38-43. (In Russ.)
7. Balabanov V.I. Improving the quality of repaired internal combustion engines by selective friction transfer. *Vestnik Mashinostroeniya*. 2001;8:14-19. (In Russ.)
8. Balabanov V.I., Golubev I.G., Dobryakov D.V. Improving the technological process of frictional application of protective coatings. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023;10:31-34. (In Russ.)
9. Balabanov V.I., Dobryakov D.V., Alipichev A. Yu. Developing the technology of friction alitising. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(5):52-56. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-52-56>

## Author Information

**Viktor I. Balabanov**<sup>1✉</sup>, DSc (Eng), Professor, Head of the Department of Organization and Technologies of Irrigation and Construction Works; [vbalabanov@rgau-msha.ru](mailto:vbalabanov@rgau-msha.ru)<sup>✉</sup>; <https://orcid.org/0000-0001-6486-6485>; SPIN-код: 1885-6817, Scopus author ID: 7005293644, Researcher ID: L-7456-2017.

**Dmitry V. Dobryakov**<sup>2</sup>, postgraduate student; [dimasdobr@rambler.ru](mailto:dimasdobr@rambler.ru)

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

<sup>2</sup> Russian Research Institute of Information and Feasibility Studies for Engineering and Technical Support of the Agribusiness Sector (Rosinformagrotekh); 60, Lesnaya Str., Pravdinsky, Moscow Region, 141261, Russian Federation

## Conflict of interests

Authors declare no conflict of interests and are responsible for plagiarism.

Received 12.04.2024; Revised 11.09.2024; Accepted 14.09.2024.