

Научная статья

УДК 620.162.3: 621.792

Код ВАК: 4.3.1.

doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-115-126

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ В ШЕЙКАХ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА, ВОССТАНОВЛЕННЫХ ПРИКЛЕИВАНИЕМ СТАЛЬНЫХ ПОЛУКОЛЬЦЕВЫХ НАКЛАДОК

Е.А. Берденников¹ ✉

¹Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина,
с. Молочное, г. Вологда, Россия

✉ dinaminator@yandex.ru

Реферат. К настоящему времени разработано множество способов восстановления коленчатых валов, многие из них связаны с нанесением слоя металла на изношенную поверхность путем наплавки или напыления. Заслуживает внимания метод восстановления шеек коленчатых валов сельскохозяйственных тракторов установкой сварных полуколец. Основным его преимуществом является минимальная температурная деформация вала. В данной работе апробирован клеевой способ установки полукольцевых накладок, актуальность которого обусловлена полным устранением температурного воздействия на восстанавливаемую деталь. Целью данной работы является исследование прочностных характеристик клеевого соединения «шейка коленчатого вала – стальные полукольцевые накладки» при действии касательных усилий. Критерием оценки прочности соединения является момент проворачивания приклеенных накладок относительно шейки вала. Если откинуть вариант аварийного задира, то логично предположить, что максимальный момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала возникает при холодном запуске двигателя, то есть при весьма низких значениях вязкости моторного масла. В данной работе теоретические предпосылки были подтверждены экспериментальными исследованиями, методика которых подразумевала не только определение момента проворачивания приклеенных накладок, но и установление влияния на прочность клеевого соединения таких факторов, как: шероховатость склеиваемых поверхностей; отклонение от цилиндричности внутренних поверхностей накладок; воздействие химически активной среды; воздействие низких температур. Чтобы обеспечить возможность измерения момента проворачивания приклеенных накладок с использованием испытательной машины, были изготовлены опытные образцы, имитирующие клеевое соединение «полукольцевые накладки – шейка вала». Как опытные, так и теоретические значения момента проворачивания приклеенных накладок несоизмеримо выше максимального момента сопротивления вращению коленчатого вала при нормальных безаварийных условиях эксплуатации. Выявлено, что отклонение от цилиндричности склеиваемых поверхностей оказывает существенное влияние на прочность клеевого соединения.

Ключевые слова: прочность, клеевое соединение, коленчатый вал, полукольцевые накладки, сельскохозяйственный трактор

Цитирование. Берденников Е.А. Исследование прочности клеевого соединения в шейках коленчатого вала сельскохозяйственного трактора, восстановленных приклеиванием стальных полукольцевых накладок // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (75). – С. 115–126, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-115-126.

STUDY OF ADHESIVE JOINT STRENGTH IN THE CRANKSHAFT JOINTS OF AN AGRICULTURAL TRACTOR RESTORED BY ADHESION OF STEEL SEMI-RING LININGS**E.A. Berdennikov¹** ✉¹Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin,
Molochnoe, Vologda, Russia✉ dinaminator@yandex.ru

Abstract. To date, many methods have been developed to restore crankshafts, many of them involving the application of a layer of metal to the worn surface by weld deposition or spraying. The method of restoration of crankshaft necks of agricultural tractors by installation of welded half-rings deserves attention. Its main advantage is the minimum temperature deformation of the shaft. In this work the adhesive method of installation of semi-ring linings is tested, the relevance of which is due to the complete elimination of the temperature effect on the restored part. The purpose of this work is to study the strength characteristics of the adhesive joint "crankshaft neck – steel semi-ring linings" under the action of tangential forces. The criterion for assessing the strength of the joint is the moment of rotation of the glued linings relative to the shaft neck. If we exclude the option of emergency scuffing, it is logical to assume that the maximum torque of resistance to crankshaft rotation occurs at cold engine start-up, i.e. at very low values of engine oil viscosity. In this work theoretical assumptions were confirmed by experimental studies, the methodology of which implied not only the determination of the torque of rotation of glued linings, but also the establishment of the influence on the strength of the glue joint of such factors as: roughness of the glued surfaces; deviation from the cylindricality of the inner surfaces of the linings; the impact of a chemically active environment; the impact of low temperatures. In order to make it possible to measure the torque of glued linings using a testing machine, prototypes were made to simulate the adhesive joint "half-ring linings – shaft neck". Both experimental and theoretical values of the torque of the glued linings are incommensurably higher than the maximum torque of resistance to crankshaft rotation under normal accident-free operating conditions. It has been revealed that deviations from the cylindricality of the glued surfaces have a significant effect on the strength of the glue joint.

Keywords: strength, adhesive joint, crankshaft, half-ring linings, agricultural tractor

Citation. Berdennikov, E.A. (2024), "Study of adhesive joint strength in the crankshaft joints of an agricultural tractor restored by adhesion of steel semi-ring linings", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 115–126. (In Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-115-126.

Введение. К настоящему времени разработано множество способов восстановления коленчатых валов. Многие из них связаны с наращиванием изношенной поверхности шеек – наплавкой или напылением [1–3]. Заслуживает внимания способ приварки разрезной втулки [4] или полукольцевых накладок [5] путем наложения стыкового шва. Данный способ отличается меньшим температурным воздействием на восстанавливаемую шейку по сравнению с наплавкой. Прогрессивные способы отделочной обработки восстановленных шеек связаны с применением модификаторов трения [6, 7]. Их эффективность доказана в сравнении с традиционными приемами финишной обработки.

В ходе исследовательской работы, проводимой на кафедре энергетических средств и технического сервиса Вологодской ГМХА по восстановлению коленчатых валов установкой полукольцевых накладок, разрабатывалась идея о полном исключении термического влияния на шейки коленчатого вала путем создания клеевого соединения.

В результате получены Патент РФ № 2766395 на изобретение «Способ восстановления шеек коленчатых валов путем приклеивания полукольцевых накладок»; Патент РФ № 2791718 на изобретение «Способ восстановления цилиндрических поверхностей деталей путем приклеивания полукольцевых накладок». Следует согласиться, что предложенный способ нуждается в научной проработке, включающей теоретические и экспериментальные исследования.

Цель исследования – определение прочности клеевого соединения при действии касательных усилий в шейках коленчатого вала, восстановленных приклеиванием стальных полукольцевых накладок.

Материалы, методы и объекты исследования. Клеевое соединение шейки вала с полукольцевой накладкой вполне можно рассматривать как нахлесточное, одним из видов деформации которого является сдвиг при кручении [8]. Разумеется, шейки коленчатого вала (помимо касательных усилий) также будут испытывать знакопеременные радиальные нагрузки, вызывающие усталостные напряжения [9, 10]. Здесь следует уточнить, что задачи исследований, поставленные в данной работе, не предусматривают испытание клеевого шва на циклические нагрузки и ограничиваются лишь определением касательного усилия, при котором приклеенную полукольцевую накладку сорвет (прокрутит) относительно шейки вала.

Зададимся базовыми размерами клеевого соединения. Размеры шейки принимаем: диаметр $d = 70$ мм, ширина $b = 40$ мм. При выборе данных размеров учитывались размеры шатунных и коренных шеек коленчатого вала двигателя Д-240, устанавливаемого на самом распространенном в России сельскохозяйственном тракторе Белорус. К шейке приклеены 2 полукольцевые накладки (рис. 1).

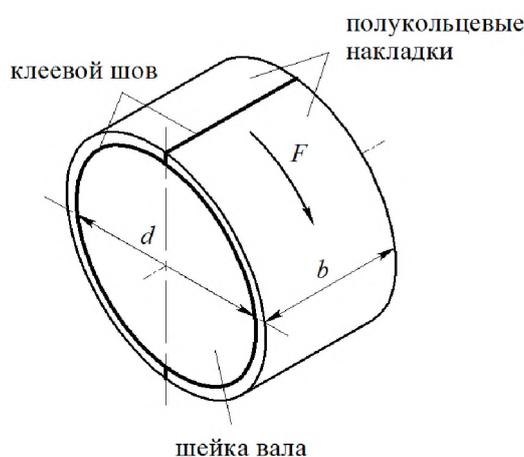


Рис. 1. Схема клеевого соединения
 Picture 1. Adhesive Bonding Scheme

Материал шейки и накладок одинаковый – Сталь 45. Толщиной накладок пренебрегаем. Основным фактор при выборе клея на данном этапе – его доступность и универсальность. Принят эпоксидный клей марки ЭПД, который доступен в розничной сети. В соответствии с источником [11] среднее напряжение сдвига для клея ЭПД при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{ср}} = 8$ МПа.

Касательное окружное усилие, при котором произойдет разрушение клеевой прослойки, а, соответственно, и проворачивание полукольцевых накладок относительно шейки вала, определим по формуле:

$$F = \tau_{\text{ср}} l b, \quad (1)$$

где l – длина нахлестки, соответствующая длине окружности шейки вала, мм.

$$l = \pi d, \quad (2)$$

где d – диаметр шейки вала, мм.

Подставляя имеющиеся данные в формулы 1 и 2, получим: $l = 219,8$ мм; $F = 70336$ Н. Крутящий момент, при котором происходит проворачивание полукольцевых накладок:

$$T = Fd. \quad (3)$$

$$T = 4923 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

В условиях нормальной эксплуатации, исключая вариант аварийного задира, наибольший момент сопротивления вращению коленчатого вала возникает при запуске двигателя в условиях низких температур.

В интервале температур $-25 \dots -30$ °С момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала двигателя ЗИЛ-130 [12] может достигать до $T_c = 40$ кгм (400 Н·м).

Определим момент сопротивления T_{c1} проворачиванию одной шейки вала, условно приняв размеры шеек равными:

$$T_{c1} = \frac{T_c}{n}, \quad (4)$$

где n – общее количество шеек (коренных и шатунных) коленчатого вала ЗИЛ-130.

$$T_{c1} = 44,4 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Следует заключить, что расчетное значение максимального момента сопротивления проворачиванию коленчатого вала несоизмеримо ниже расчетного момента, при котором возможно разрушение клеевого соединения и, соответственно, проворачивание полукольцевых накладок относительно шейки восстановленного вала.

Опытный образец, изображенный на рис. 2, представляет собой стержень 1 с цилиндрическим хвостовиком 2, имитирующим шейку коленчатого вала. К хвостовику приклеены две накладки 3, изготовленные путем разрезания отрезка шестигранника, имеющего продольное отверстие диаметром, равным диаметру хвостовика, и длиной, равной длине хвостовика. Клеевая прослойка (шов) 4 находилась между цилиндрическими поверхностями хвостовика и накладок и в стыках между накладками.

Первая партия состояла из четырех образцов, отличающихся шероховатостью сопрягаемых пар поверхностей «хвостовик – накладки». Изменение шероховатости поверхностей обеспечивалось путем изменения подачи при обработке этих поверхностей на токарно-винторезном станке 1А62, постоянной глубине резания 0,5 мм (при последнем проходе) и частоте вращения 380 об/мин. Измерение параметра шероховатости Rz осуществлялось с помощью набора образцов шероховатостей.

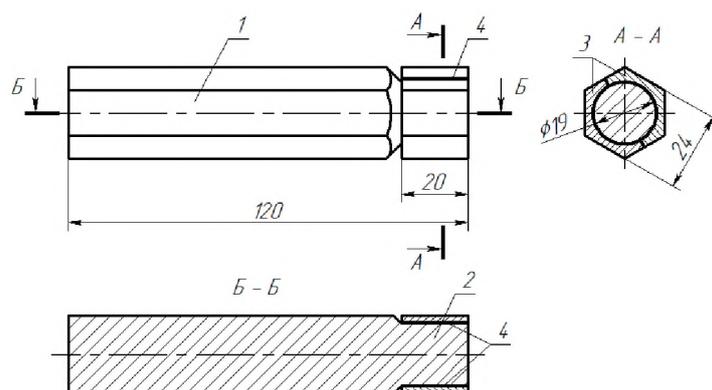


Рис. 2. Опытный образец
 Picture 2. Test Sample

Сверление и растачивание заготовок осуществлялось уже после отрезания от шестигранного прутка, что неизбежно вызывало их деформации при закреплении в трехкулачковом патроне станка. Это было сделано специально, чтобы обеспечить отклонение внутренней поверхности накладок от цилиндричности после растачивания и снятия напряжений от кулачков патрона. То есть первая партия образцов имеет заведомо непостоянную толщину клеевой прослойки по окружности клеевого соединения вследствие наличия отклонения от цилиндричности 0,06...0,08 мм на внутренних поверхностях накладок.

Вторая партия образцов отличалась от первой тем, что растачивание заготовок для накладок в нужный размер осуществлялось до отрезания от шестигранного прутка, то есть усилие закрепления от кулачков патрона не приводило к деформации внутренней поверхности до растачивания. После отрезания заготовки на внутренней поверхности условно отсутствовало отклонение от цилиндричности, вследствие чего обеспечивалось постоянство толщины клеевой прослойки по окружности клеевого соединения.

Третья партия состояла из двух образцов. Склеиваемые поверхности образцов третьей партии обрабатывались иначе.

Хвостовик первого образца подвергался шлифованию на станке 3А423, а заготовка для накладок – внутреннему шлифованию на оправке с использованием шлифовальной шкурки на станке 1А62. Измерение шероховатости проводилось с помощью профилометра TR200.

Шероховатость склеиваемых поверхностей второго образца была получена электроискровой обработкой с использованием прибора ENPO UR-121 (рис. 3).



Рис. 3. Электроискровая обработка поверхности хвостовика
 Picture 3. Electrosparking of the Shank Surface

Четвертая партия состояла из трех образцов, которые были изготовлены для проверки на стойкость к химически агрессивной среде [13] (нагретому моторному маслу) и на морозостойкость.

Первый образец погружался в разогретое до 90 °С моторное масло и после остывания до комнатной температуры находился в нем в течение 15 суток. Второй образец находился более четырех суток на открытом воздухе при температуре до –30 °С. Третий образец сначала вместе с первым подвергался нагреванию и выдерживанию в моторном масле, а затем – охлаждению вместе со вторым образцом.

При испытании опытных образцов, моделирующих клеевое соединение шейки коленчатого вала и полукольцевых накладок, защемленной пары накладок, приклеенных к хвостовику образца, через стержень сообщали крутящий момент с помощью специальной машины для испытания образцов на кручение модели КМ-50-1 (рис. 4). Машина для испытания образцов на кручение также снабжена диаграммным аппаратом.



Рис. 4. Опытный образец перед сообщением крутящего момента
Picture 4. Test Sample before Turning Torque Transmission

Значения момента проворачивания, определенные на опытных образцах, необходимо привести к значениям момента $T_{пр}$, при котором происходило бы проворачивание накладок на образцах, размеры которых совпадали бы с размерами базовой шейки. А именно: диаметр шейки вала $d = 70$ мм, ширина шейки вала $b = 40$ мм. Из формул 1–3 следует, что момент $T_{пр}$ логично определить следующим образом:

$$T_{пр} = T_{ро} k_1^2 k_2 = 27,4 T_{ро}, \quad (5)$$

где $T_{ро}$ – момент проворачивания накладок опытных образцов, Н·м;

k_1 и k_2 – переводные коэффициенты.

$$k_1 = \frac{d}{d_{хв}}, \quad (6)$$

$$k_2 = \frac{b}{l_{хв}}, \quad (7)$$

где $d_{\text{хв}}$ – диаметр хвостовика опытного образца, мм (рис. 1);

$l_{\text{хв}}$ – длина хвостовика опытного образца, мм (рис. 1).

По формулам 6 и 7 $k_1 = 3,7$; $k_2 = 2$.

Результаты исследования. На рис. 5 приведены диаграммы зависимости крутящего момента T_0 от угла поворота приводного устройства φ для образцов первой партии.

На каждой диаграмме можно выделить 5 характерных участков, соответствующих определенному состоянию клеевого соединения «хвостовик – накладки» (рис. 6).

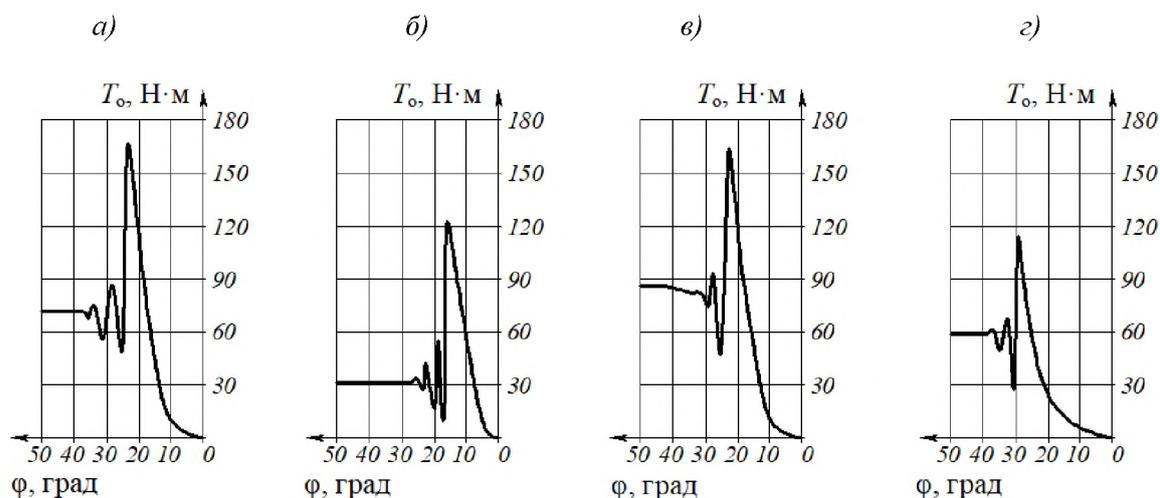


Рис. 5. Диаграммы зависимости крутящего момента от угла поворота приводного устройства при испытании опытных образцов первой партии: а – образец 1; б – образец 2; в – образец 3; г – образец 4

Picture 5. Diagrams of Torque – Drive Rotation Angle Dependence When Testing the First Batch Samples: a – sample 1; б – sample 2; в – sample 3; г – sample 4

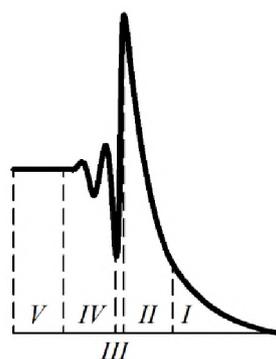


Рис. 6. Участки кривой диаграммы зависимости крутящего момента от угла поворота приводного устройства

Picture 6. Curve Diagram Sections Showing Torque – Drive Rotation Angle Dependence

Участок *I* соответствует возрастанию крутящего момента с относительно малой скоростью. Это обусловлено тем, что для достаточного обжатия опытного образца нижними и верхними захватами скручивающего механизма машины требуется некоторое время.

Участок *II* соответствует интенсивному увеличению крутящего момента до такого значения, при котором происходит разрушение клеевого соединения и проворачивание накладок относительно хвостовика. Пик на диаграммах соответствует этому моменту.

Участок *III* соответствует резкому уменьшению значения крутящего момента, вызванному резким уменьшением момента сопротивления накладок в связи с их проворачиванием.

Участок *IV* соответствует колебаниям мундштука с карандашом в связи и низкой жесткостью диаграммного механизма.

Участок *V* соответствует постоянству (выравниванию) остаточного крутящего момента, равному моменту сопротивления уже провернутых относительно хвостовика накладок, но до сих пор прижимаемых к нему захватами поворотного механизма машины.

Для первой и второй партий образцов построены графики зависимости момента проворачивания T_{po} от шероховатости поверхности (рис. 7).

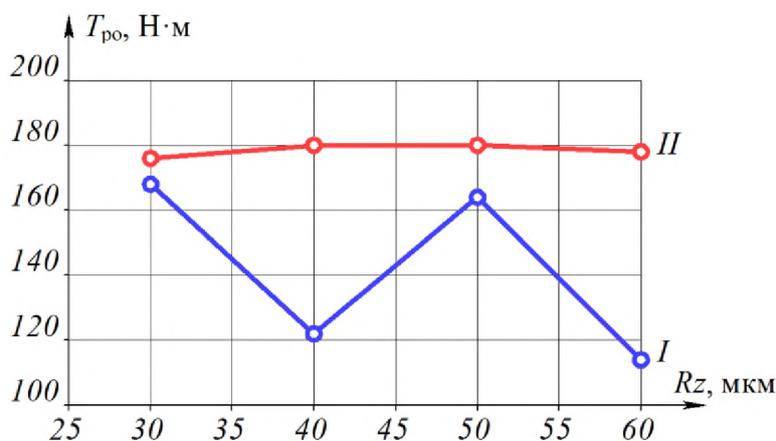


Рис. 7. Зависимость момента скручивания от шероховатости склеиваемых поверхностей:

I – первая партия образцов; *II* – вторая партия образцов

Picture 7. Rotational Moment – Adhered Surface Roughness Dependence

I – first batch of samples; *II* – second batch of samples

Анализируя полученные кривые, следует заключить, что, с одной стороны, явной зависимости момента проворачивания от шероховатости склеиваемых поверхностей в рамках одной, то есть каждой из двух партии образцов, не наблюдается. С другой стороны, значения моментов проворачивания образцов второй партии явно выше, чем у образцов первой партии.

Можно констатировать, что отклонение от цилиндричности (плотность прилегания) склеиваемых поверхностей оказывают существенное влияние на прочность клеевого соединения. Логично предположить, что при действии касательного усилия F из-за деформации среза разрушающие трещины в клеевой прослойке в первую очередь возникают именно на участках с большей толщиной клеевого слоя. Возможно, когезионные связи внутри клеевой прослойки ниже, чем адгезионные связи «клеевая прослойка – накладки» и «клеевая прослойка – шейка вала».

В таблице приведены значения моментов проворачивания накладок при соответствующих значениях шероховатостей склеиваемых поверхностей опытных образцов *третьей* партии.

Таблица. Шероховатость склеиваемых поверхностей и момент проворачивания накладок опытных образцов третьей партии
 Table. Adhered Surface Roughness and Starting Torque of the Test Sample Linings of the Third Batch

Образцы	1	2
Шероховатость поверхности хвостовика Rz , мкм	4,3	23,9
Шероховатость поверхностей накладок Rz , мкм	13,1	15,7
Момент проворачивания T_{po} , Н·м	172	173

Анализируя данные таблицы, следует убедиться, что при значимом расхождении шероховатостей поверхностей испытываемых образцов момент проворачивания накладок практически не изменился. В очередной раз это наводит на мысль об отсутствии значимого влияния шероховатости склеиваемых поверхностей на прочность клеевого соединения, которая, вероятно, обеспечивается в основном в соответствии с молекулярной, а не механической теорией адгезии, как и утверждают многие исследователи [14].

Результаты измерения момента проворачивания T_{po} трех опытных образцов четвертой партии не показали значимого расхождения (рис. 8). Полученные значения также сопоставимы и существенно не отличаются от результатов измерения момента проворачивания образцов второй и третьей партий. Негативного влияния нагретого моторного масла как химически агрессивной среды, а также температуры не ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ на прочность клеевого соединения «хвостовик – накладки» не выявлено.



Рис. 8. Значения момента проворачивания накладок для образцов четвертой партии
 Picture 8. Values of Lining Torque for Samples of the Fourth Batch

Выводы. Сравнивая результаты теоретических и экспериментальных исследований, приходим к выводу, что значения моментов проворачивания приклеенных полукольцевых накладок относительно шейки вала, определенные опытным путем, сопоставимы с результатами теоретических расчетов.

Как опытные, так и теоретические значения момента проворачивания приклеенных накладок несоизмеримо (более чем в 100 раз) выше максимального момента сопротивления вращению коленчатого вала при нормальных безаварийных условиях эксплуатации.

В результате экспериментов не было выявлено значимого влияния шероховатости сопрягаемых поверхностей на прочность клеевого соединения «шейка вала – полукольцевые накладки». Но заключительный вывод по этому факту делать преждевременно. Важно не только значение, а также и характер микронеровностей, изучение влияния которого требует дополнительных исследований.

Логическим продолжением проделанной работы является исследование влияния на прочность клеевого соединения знакопеременных динамических нагрузок, действующих на шейку вала в радиальном направлении.

Список литературы

1. Шиповалов, А.Н., Юдин, В.М. Восстановление коленчатых валов дизельных двигателей плазменной наплавкой // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2021. – № 1. – С. 9–11, doi: 10.31044/1684-2561-2021-0-1-9-11.
2. Иванов, В.П., Вигерина, Т.В., Голубев, И.Г. Исследование износа коленчатых валов автомобильных двигателей и инновационные технологии их восстановления // Техника и оборудование для села. – 2018. – № 2. – С. 34–37.
3. Voynash, S.A., Gaydukova, P.A., Markov, A.N. (2017) ‘Rational Route Choosing Methodology for Machine Parts Restoration and Repair’, *Procedia Engineering*, vol. 206, pp. 1747–1752, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.708>.
4. Зуев, А.А., Бурдо, Н.А. Повышение качества закалённой ремонтной втулки (РВ) из стали 30ХГСА, локально приваренной на восстанавливаемую шейку коленчатого вала // Известия Международной академии аграрного образования. – 2017. – № 35. – С. 39–43.
5. Berdennikov, E., Popova, T., Burlakov, G. (2023) ‘Research of Technological Parameters of Crankshaft with Journals Rebuilt by Steel Half-Ring Installation’, *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 509, pp. 1177–1186.
6. 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.
7. Сковородин, В.Я., Антипов, А.В. Обоснование параметров силового воздействия при отделочно-антифрикционной обработке шеек коленчатых валов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 51. – С. 258–265.
8. Жилкин, В.А. Численное исследование напряженно-деформированного состояния клеевых соединений металла с металлом, металла с древесиной // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 1(721). – С. 5–19, doi: 10.32683/0536-1052-2019-721-1-5-19.
9. Салахов, Р.Р., Ермаков А.М., Хисматуллин, Р.М. Исследование динамических нагрузок на кривошипно-шатунный механизм грузового автомобиля // Грузовик. – 2022. – № 2. – С. 3–9, doi:10.36652/1684-1298-2022-2-3-9.
10. Nozdrzykowski, K., Chybowski, L., Dorobczyński, L. (2020) ‘Model-based estimation of the reaction forces in an elastic system supporting large-size crankshafts during measurements of their geometric quantities’, *Measurement*, vol. 155, 107543, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107543>.

11. Как правильно развести и использовать клей ЭДП. // Краска Гуру: интернет-портал. URL: <https://kraskaguru.ru/klej/vidy-i-marki/edp.html>.
12. Машенко А.Ф., Медведков В.И. Особенности обслуживания автомобилей при эксплуатации в условиях низких температур // Основы технического обслуживания автомобилей. – М., 1964. – С. 241. – то же: URL: <https://mash-xxl.info/info/587027/>.
13. Родионов, Ю.В., Нугаева, В.О. Результаты исследования показателя степени массопоглощения в агрессивных средах клеевой композиции для восстановления деталей автомобиля // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 8. – С. 127–134. – doi: 10.25198/2077-7175-2019-8-127.
14. Desai C.R., Patel, D.C., Desai, C.K. (2023) ‘Investigations of joint strength & fracture parameter of adhesive joint: A review’, *Materials Today: Proceedings*, ISSN 2214–7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.026>.

References

1. Shipovalov, A.N., Yudin, V.M. Restoration of diesel engine crankshafts by using plasma surfacing. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. [Repair. Reconstruction. Modernization], 2021, no. 1, pp. 9–11. (In Russ).
2. Ivanov, V.P., Vigerina, T.V., Golubev, I.G. Study of automobile engine crankshaft wear and innovative technologies for their restoration. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. [Machinery and equipment for rural areas], 2018, no. 2, pp. 34–37. (In Russ).
3. Voynash, S.A., Gaydukova, P.A., Markov, A.N. (2017) ‘Rational Route Choosing Methodology for Machine Parts Restoration and Repair’, *Procedia Engineering*, vol. 206, pp. 1747–1752, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.708>.
4. Zuev, A.A., Burdo, N.A. Improving the quality of a hardened repair sleeve made of 30KhGSA steel, locally welded onto the crankshaft journal being restored. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya* [Bulletin of the International Academy of Agricultural Education], 2017, no. 35, pp. 39–43. (In Russ).
5. Berdennikov, E., Popova, T., Burlakov, G. (2023) ‘Research of Technological Parameters of Crankshaft with Journals Rebuilt by Steel Half-Ring Installation’, *Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 509, pp. 1177–1186.
6. Skovorodin, V. Ya., Antipov, A.V. Effect of finish and antifriction operation mode in crankshaft journal treatment on the surface roughness parameters. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Saint-Petersburg State Agrarian University], 2017, no. 49, pp. 245–251. (In Russ).
7. Skovorodin, V. Ya., Antipov, A.V. Justification of force parameters in finish and antifriction treatment of crankshaft journals. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University], 2018, no. 51, pp. 258–265. (In Russ).
8. Zhilkin, V.A. Numerical study of the stress-strain state of adhesive metal-to-metal joint and metal-to-wood joint. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction], 2019, no. 1(721), pp. 5–19. (In Russ).
9. Salakhov, R.R., Ermakov, A.M., Khismatullin, R.M., Khafizov, I.R., Razvalyaev, S.V. Study of dynamic loads on the crank mechanism of a truck. *Gruzovik* [Truck], 2022, no. 2, pp. 3–9. (In Russ).
10. Nozdrzykowski, K., Chybowski, L., Dorobczyński, L. (2020) ‘Model-based estimation of the reaction forces in an elastic system supporting large-size crankshafts during measurements of their geometric quantities’, *Measurement*, Vol. 155, 107543, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107543>.
11. How to properly dilute and use EDP glue. // Paint Guru: an online portal. URL: <https://kraskaguru.ru/klej/vidy-i-marki/edp.html>.

12. Mashchenko A.F., Medvedkov V.I. (1964) 'Features of car maintenance during operation at low temperatures', *Fundamentals of car maintenance*, M., p. 241. – The same: <https://mash-xxl.info/article/163330>.
13. Rodionov, Yu.V., Nugaeva, V.O. 'Results of studying the mass absorption degree in aggressive adhesive composition environments for car part restoration', *Intellekt. Innovatsii. Investitsii [Intelligence. Innovation. Investments]*, 2019, no. 8, pp. 127–134. (In Russ)
14. Desai, C.R., Patel, D.C., Desai, C.K. (2023) 'Investigations of joint strength & fracture parameter of adhesive joint: A review', *Materials Today: Proceedings*, ISSN 2214–7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.026>.

Сведения об авторах

Берденников Евгений Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергетических средств и технического сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», <http://orcid.org/0000-0002-8764-7143>, SPIN-код: 7023-3626, Scopus author ID: 57212194112; dinaminator@yandex.ru

Information about the author

Evgeniy A. Berdennikov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Energy Resources and Technical Service department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin, <http://orcid.org/0000-0002-8764-7143>, SPIN-code: 7023-3626, Scopus author ID: 57212194112; dinaminator@yandex.ru

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился и одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. The author of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. The authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07.11.2023; одобрена после рецензирования 13.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 07.11.2023; approved after reviewing 13.02.2024; accepted for publication 26.02.2024.