

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПРЕЖДЕВРЕМЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ БУКСОВОГО УЗЛА

Д. М. Мордасов¹, Ю. Г. Фатеев², С. В. Зотов¹

*Кафедра «Материалы и технология», ФГБОУ ВПО «ТГТУ» (1);
ООО «Инженерный центр «Диагност-Т», г. Тамбов (2);
mit@mail.nnn.tstu.ru*

Ключевые слова: буксовый узел; задир; износ; микроструктура; подшипник качения; электроожог.

Аннотация: Проведены исследования микро- и макроструктуры разрушенных деталей подшипников буксового узла, исследован их химический состав, механические и магнитные свойства. Определены причины разрушения подшипников, установлена последовательность выхода подшипников из строя. Даны рекомендации по предотвращению возникновения подобных аварийных ситуаций.

В узлах машин широко применяются крупногабаритные подшипники различных типоразмеров и конструкций, которые воспринимают тяжелые ударные, радиальные и осевые нагрузки при различных скоростях работы и неблагоприятных температурных условиях. Повреждения подшипников могут привести к незапланированной остановке машин и значительным экономическим потерям.

Подшипники качения становятся непригодными для дальнейшей эксплуатации из-за абразивного и усталостного износа, коррозии рабочих поверхностей, перегрева и снижения твердости и последующего разрушения деталей. Окалина и охлаждающая жидкость, проникающие в опору через некачественные уплотнения, недостаточное количество смазки, которая не обеспечивает сохранность масляной пленки – все это вызывает повышенный износ роликов и дорожек качения колец и снижает эксплуатационную стойкость подшипников.

В обычных условиях грамотно выбранный и правильно эксплуатирующийся подшипник имеет 90 % вероятности проработать в течение назначенного срока службы, и 10 % – выйти из строя в результате процессов выкрашивания, которые происходят в условиях естественной деградации [1]. Внутренние причины повреждений, связанные непосредственно с подшипником: плохое качество подшипниковой стали, неточная внутренняя геометрия, дефектные сепараторы и уплотнения подшипника. Внешние причины вызывают более 90 % преждевременных отказов подшипников.

На основании технически правильного заключения о причинах возникновения повреждений следует принимать немедленные меры, которые могут застраховать дефектный узел от аварии и увеличить ресурс работы существующего подшипника в узле.

В работе приведены результаты исследований разрушенных подшипников буксового узла (передний подшипник 36-232726E2M, задний подшипник 36-42726E2M) и упорного кольца.

На рабочей плоскости внутреннего кольца переднего подшипника (рис. 1) имеются многочисленные усталостные раковины, вмятины, образовавшиеся в результате

действия инородных частиц, следы наволакивания металла, шелушения дорожки качения, задиры, а также вмятины, расположенные по краям поверхности катания, совпадающие с шагом роликов.

На дорожке качения, а также на посадочной поверхности имеются цвета побежалости, соответствующие температурам 200...300 °С; следов проворачивания кольца по посадочной поверхности не обнаружено.

На торцах кольца имеются по две диаметрально противоположных области с зигзагообразным эрозионным повреждением поверхности металла (рис. 2). Две смежных области на разных торцах кольца смещены в осевом направлении на 45°. На внутренней поверхности бортов имеются задиры типа «елочка». На рабочей поверхности кольца остались фрагменты выгоревшего сепаратора.

Тела качения переднего и заднего подшипников представляют собой ролики с рациональным контактом («бомбиной») [2, 3]. Образующая ролика выпуклая с отклонением от цилиндричности 0,014_{-0,004}. Все 15 роликов переднего подшипника имеют характерный односторонний износ в виде ползунов (рис. 3).

На семи роликах (см. рис. 3, б) имеются ползуны различной интенсивности, убывающей от центрального ролика к крайним. На торцах роликов имеются задиры типа «елочка». Наиболее интенсивный износ обнаружен в области торца, противоположной основному задиру.

На переднем торце внутреннего кольца заднего подшипника имеются две диаметрально-противоположных области с зигзагообразным эрозионным повреждением поверхности металла (рис. 4).

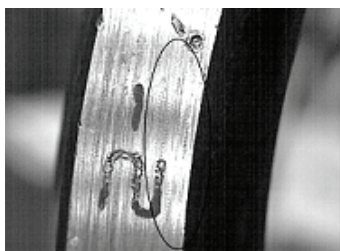


Рис. 1. Внутреннее кольцо переднего подшипника

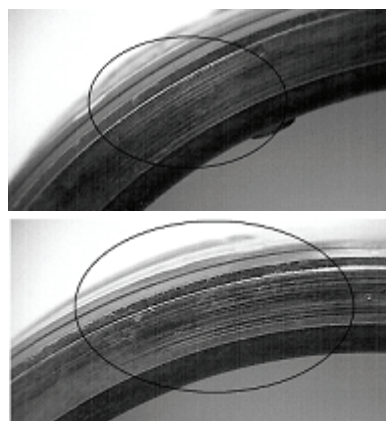


Рис. 2. Эрозионные повреждения торцов внутреннего кольца переднего подшипника

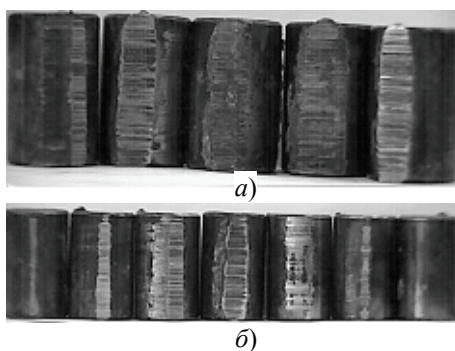


Рис. 3. Износ роликов до (а) и после (б) разрушения сепаратора

Рис. 4. Эрозионное повреждение торцов внутреннего кольца заднего подшипника



Рис. 5. Ролики заднего подшипника
(задиры типа «елочка»)

На роликах заднего подшипника имеются ползуны в начальной стадии их развития. На торцах роликов обнаружены задиры типа «елочка» (рис. 5).

На семи роликах (рис. 6) имеются отколы различной величины. Ролики с наиболее глубокими отколами (№ 3 – 5, рис. 6), кроме того, ролики 3 и 5 имеют поперечное разрушение в верхней части, ролик 4 – поперечное и продольное разрушение.

Плоское упорное кольцо механически не разрушено. Поверхность кольца, контактировавшая с роликами, равномерно изношена. Износ составляет 0,10...0,15 мм, твердость материала кольца 50 HRC.

На поверхности кольца, контактирующей с внутренним кольцом переднего подшипника, имеются две диаметрально противоположных области с зигзагообразным эрозионным повреждением поверхности металла (рис. 7), совпадающие по форме и расположению с аналогичными областями на сопрягаемой детали (см. рис. 2). Области окрашены в различные цвета побежалости – от соломенно-желтого до светло-синего, что соответствует температурам нагрева от 255 до 310° С.

В результате спектрального анализа стали разрушенных роликов, проведенного на спектрометре Bruker, установлено, что по своему химическому составу сталь полностью соответствует марке ШХ15СГ ГОСТ 801–78 [4].

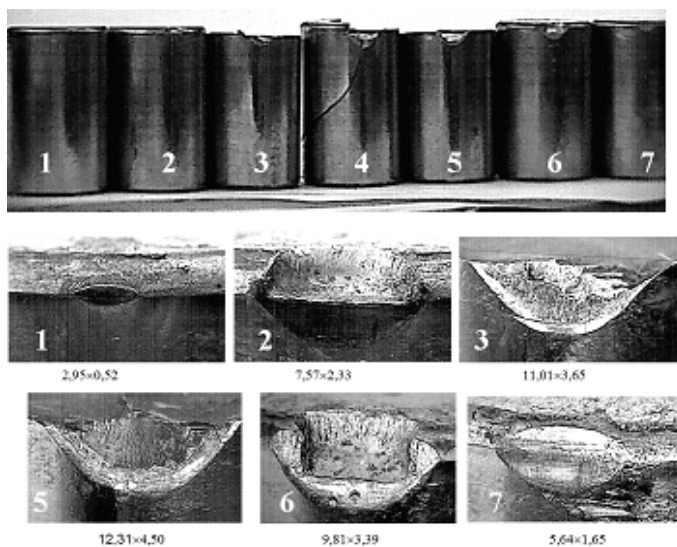


Рис. 6. Ролики заднего подшипника (сколы)

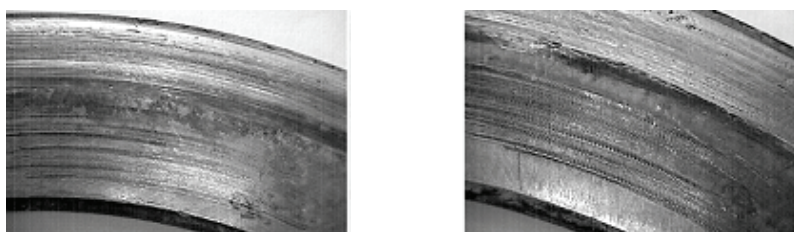


Рис. 7. Эрозионные повреждения плоского упорного кольца

Микроструктура материалов деталей подшипников изучалась при увеличениях $\times 100 \dots \times 500$ на металлографическом микроскопе ММР-2Р и микроскопе DigiMicro 2.0.

Подготовка образцов для исследования включала следующие этапы:

- шлифовка и полировка исследуемых поверхностей;
- травление подготовленных поверхностей 5%-м раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

Исследования проводились на установление соответствия требованиям ГОСТ 801–78 [4] следующих характеристик:

- наличие неметаллических включений в материале;
- пористость;
- карбидная ликвация;
- структурная полосчатость;
- карбидная сетка.

В результате исследований установлено:

– присутствие в стали неметаллических включений в виде оксидов и сульфидов соответствует нормам, установленным ГОСТ 801–78 [4] и не превышает одного балла;

– пористость в исследованных образцах отсутствует;

– карбидная ликвация не превышает одного балла (при норме один балл [4]);

– структурная полосчатость не превышает одного балла (при норме два балла [4]);

– карбидная фаза – мелкозернистая, имеются остатки карбидной сетки по границам бывших аустенитных зерен. Карбидная сетка не превышает нормы [4] три балла и соответствует двум баллам.

При увеличении $\times 210$ изучена структура эрозионных повреждений, показанных на рис. 2, 4, 7. Ширина «дорожки» в нижней части рис. 8 составляет 0,44 мм. Очевидно, что дно области рифления имеет цвет от черного до серого, имеются локальные оплавления металла.

На рисунке 9 представлены результаты металлографического анализа структуры материала внутреннего кольца переднего подшипника (увеличение $\times 500$). Подготовка и травление шлифа осуществлялись в соответствии с описанной выше методикой. Исследованию подвергалась поверхность дорожки качения в непосредственной близости от зоны эрозионного повреждения и на некотором удалении от нее. На рисунке 9, а, б показана микроструктура поверхности качения, наиболее удаленная от торца кольца (на 30 мм). Темные области представляют собой сорбит отпуска, образовавшийся в результате нагрева поверхности. Его неравномерное рас-

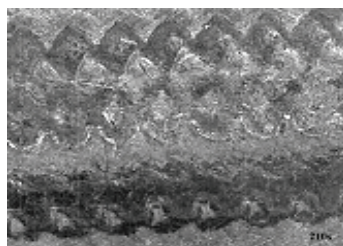


Рис. 8. Структура эрозионного повреждения деталей подшипников

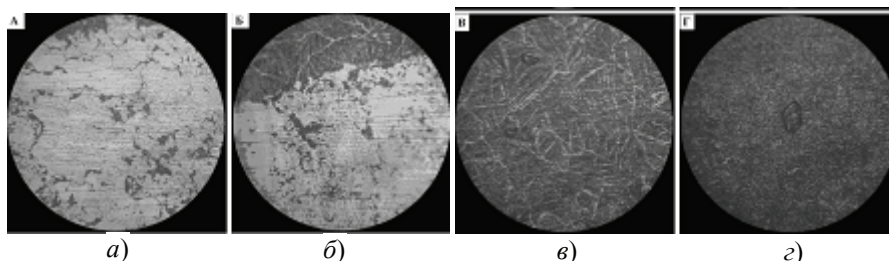


Рис. 9. Микроструктура поверхности качения внутреннего кольца переднего подшипника ($\times 500$)

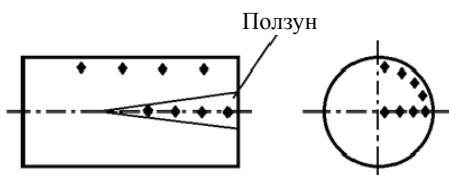


Рис. 10. Схема расположения мест измерения твердости материала ролика

пределение по поверхности связано со структурной неоднородностью материала кольца. На рисунке 9, в, з показана микроструктура поверхности качения в области непосредственной близости к торцу кольца и эрозионному повреждению на нем. В левой части рис. 9, в и в центре рис. 9, з имеются небольшие области с плавными границами, образовавшиеся в результате локального высокотемпературного воздействия.

На рисунке 9, в четко различимы светлые границы, представляющие собой скопления сложных карбидов хрома по границам бывших аустенитных зерен, – карбидная сетка соответствует наивысшему пятому баллу [4]. Темный фон на рис. 9, в – сорбит отпуска. На рисунке 9, з структура также представляет собой сорбит отпуска, однако выделения карбидов не наблюдается.

Для оценки свойств материалов разрушенных деталей проведены механические испытания, в ходе которых на цилиндрической поверхности и торцах роликов заднего подшипника проводились измерения твердости. В соответствии с ГОСТ 22696–77 [5] твердость роликов должна быть в пределах 60...64 HRC. Схема расположения мест измерений твердости показана на рис. 10.

В таблице представлены результаты измерения твердости материала роликов: на поверхности наиболее интенсивного ползуна ролика переднего подшипника, его торце, а также наружной и внутренней поверхности внутреннего кольца переднего подшипника. На рисунке 11 показана схема расположения мест измерения твердости, приведены результаты измерений. На рисунке 12 показана схема расположения мест измерений твердости на наружной поверхности, торце внутреннего кольца переднего подшипника и его посадочной поверхности, приведены результаты измерений.

На приборе миллитесламетре типа ТПУ определена остаточная намагниченность деталей подшипников. Согласно требованиям ГОСТ 520–2002 [6] и ГОСТ 22696–77 [5] ролики и подшипники должны быть размагничены. Согласно приложению 13 к инструкции № ЦТ-330 от 11.06.1995 г допускается остаточная намагниченность не более 1,5 эрстед. Согласно [7] нормы остаточной размагниченности деталей подвижного состава: для колец подшипников – не более 3 эрстед, остальных деталей – 5 эрстед.

Результаты измерения твердости материала роликов, HRC

Цилиндрическая поверхность	Поверхность ползуна	Торцевая поверхность	
		по оси	по окружности
65,0; 65,0; 63,5; 64,5	65,0; 67,0; 59,0; 57,5	61,5; 62,0; 61,0; 62,0	56,0; 57,0; 54,0; 55,0
68,0; 67,0; 65,5; 65,0	65,5; 66,0; 59,0; 57,0	62,5; 61,0; 61,0; 62,0	55,0; 57,0; 54,0; 55,0
63,0; 63,0; 66,0; 63,0	64,5; 65,0; 59,0; 53,0	61,0; 62,0; 63,0; 62,5	57,0; 57,0; 55,0; 56,0
64,0; 64,0; 64,0; 63,5	55,0; 58,0; 55,5; 55,0	65,0; 64,0; 64,0; 64,0	57,0; 59,0; 55,0; 55,0
64,5; 66,0; 63,5; 64,0	61,0; 55,5; 58,0; 55,0	65,0; 64,0; 64,0; 64,0	58,0; 57,0; 58,0; 55,0
64,0; 64,0; 64,0; 63,5	56,5; 56,0; 57,0; 54,0	64,0; 63,5; 65,0; 65,0	60,0; 55,0; 55,0; 55,0

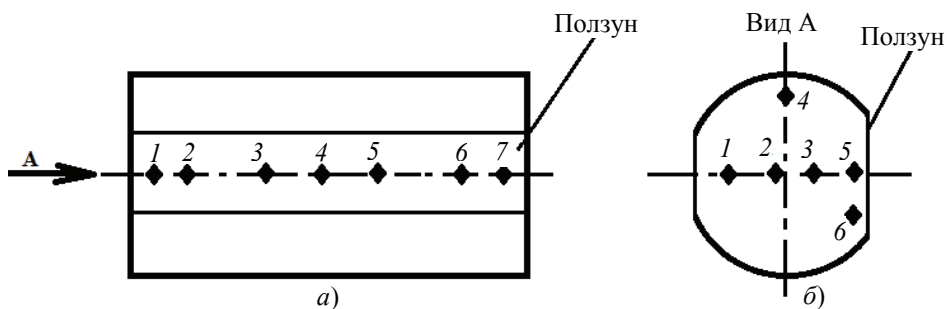


Рис. 11. Схема расположения мест измерения твердости:

a – на поверхности ползуна: 1 – 54 HRC; 2 – 58 HRC; 3 – 53 HRC; 4 – 60 HRC; 5 – 58 HRC; 6 – 59 HRC; 7 – 63 HRC; *б* – на торце ролика с ползуном: 1 – 49 HRC; 2, 4 – 53 HRC; 3 – 53,5 HRC; 5, 6 – 50 HRC

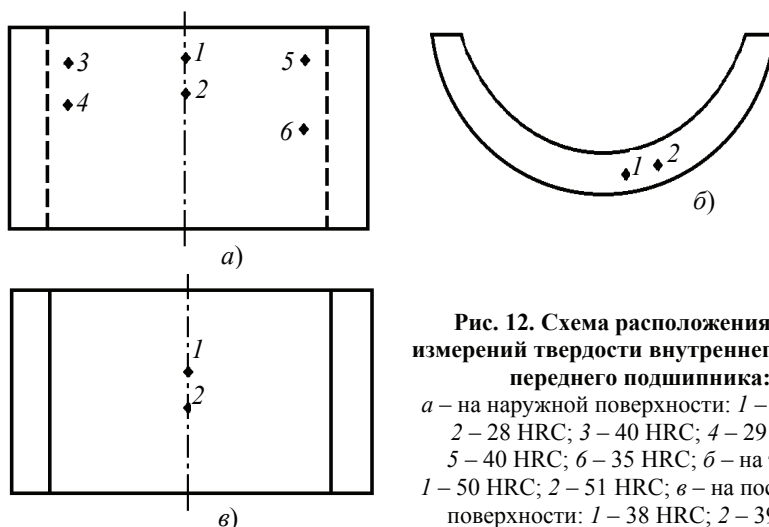


Рис. 12. Схема расположения мест измерений твердости внутреннего кольца переднего подшипника:

a – на наружной поверхности: 1 – 26 HRC; 2 – 28 HRC; 3 – 40 HRC; 4 – 29 HRC; 5 – 40 HRC; 6 – 35 HRC; *б* – на торце: 1 – 50 HRC; 2 – 51 HRC; *в* – на посадочной поверхности: 1 – 38 HRC; 2 – 39 HRC

Остаточная намагниченность наружного кольца заднего подшипника и тел качения обоих подшипников в пределах нормы и не превышает 1,5 эрстед.

Остаточная намагниченность внутреннего кольца переднего подшипника в различных точках поверхности составляет 20...30 эрстед; внутреннего кольца заднего подшипника 15...20 эрстед; упорного кольца 3...15 эрстед; наружного кольца переднего подшипника 2...10 эрстед. Наибольшие значения намагниченности соответствуют размещению измерительного зонда в областях деталей с эрозийным повреждением поверхности (см. рис. 2, 4, 7, 8).

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований структуры и свойств материалов разрушенных деталей позволяет сделать следующие выводы:

- химический состав материалов соответствует требованиям нормативно-технической документации;

- отклонений в структуре роликов не выявлено, однако имеются отклонения в структуре внутреннего кольца переднего подшипника. Карбидная сетка (см. рис. 9, в) соответствует наивысшему пятому баллу (при норме три балла). Структура «сорбит отпуска» может сформироваться при температурах 550...600 °С. Учитывая, что внутреннее кольцо посажено с натягом на массивный вал, являющийся теплоотводом, достижение такой температуры возможно только при мощном локальном нагреве. Анализ фотографий (см. рис. 9, *a* – *з*) указывает на то, что именно такой мощный тепловой импульс имел место, так как сорбитная структура наблюдается только в области, приближенной к торцу кольца;

– разрушение переднего подшипника и скачкообразное одностороннее увеличение нагрузки на задний подшипник спровоцировали механический удар в область верхней части внутреннего кольца заднего подшипника с образованием вмятин на нем. Аналогичные вмятины образовались и на семи роликах (см. рис. 6), причем эти локальные деформации явились концентраторами напряжений и источниками дефектов, которые привели к отколам различной величины. Наиболее «пострадавший» ролик 4 в момент разрушения находился в наивысшей точке оси вращения. Основной удар пришелся на него. Далее силовое воздействие распределилось на ролики 1 – 3 и 5 – 7 по убывающей;

– аварийное перераспределение нагрузки вызвало перекосяк колец заднего подшипника и смещение поверхности катания к его передней части, о чем свидетельствуют усталостные раковины на дорожке качения внутреннего кольца заднего подшипника. Кроме того, образовавшиеся вмятины привели к переходу от режима качения к скольжению и образованию ползунов на поверхностях роликов заднего подшипника. О повышенной нагрузке на ролики заднего подшипника свидетельствуют величины твердости (см. таблицу), превышающие нормативные требования (60...64 HRC). Несмотря на то что ролики работали в условиях существенного превышения температуры (особенно в области торцов и ползунов) и должен был произойти отпуск металла, из-за повышенной циклической нагрузки произошел его наклеп, что привело к увеличению твердости.

Состояние деталей переднего подшипника позволяет сделать вывод о том, что износ деталей обусловлен переходом от режима качения к скольжению. Следует отметить, что в режим скольжения перешли все ролики одновременно. При этом сепаратор был еще цел, о чем свидетельствует одинаковый односторонний износ всех роликов (см. рис. 3). Находясь на своих местах в сепараторе, ролики переднего подшипника начали скользить по поверхности качения внутреннего кольца с образованием ползунов. Это привело к повышению температуры, выгоранию сепаратора и группированию роликов в нижней части подшипника. Образование, в дополнение к имеющимся с другой стороны на семи роликах ползунов различной интенсивности, обусловлено их переворотом при смещении в нижнюю часть подшипника после разрушения сепаратора.

Разрушение переднего подшипника происходило равномерно без каких-либо экстремальных превышений нагрузки, о чем свидетельствует отсутствие сколов на роликах, а также отсутствие наклепа на них – пониженная твердость поверхностей (см. рис. 11, 12) роликов и внутреннего кольца, обусловленная отпуском металла при нагреве. Вмятины на внутреннем кольце (см. рис. 1) образовались после разрушения сепаратора, вызвавшего нарушение геометрии подшипникового узла. Образованию вмятин способствовало существенное различие в твердости тел качения и внутреннего кольца (~ в 2 раза), возникшее в результате термического влияния. Отсутствие вмятин в центральной части дорожки качения внутреннего кольца обусловлено геометрией роликов (бочкообразностью). На момент образования вмятин уже была изношена центральная часть наиболее нагруженных роликов, поэтому контактное давление в этой области было меньше, а наибольшее значение оно принимало по краям, где контакт роликов с кольцом минимальный.

Наиболее вероятной причиной нарушения режима работы переднего подшипника является нарушение масляного слоя, и, во вторую очередь, – попадание инородных частиц. Нарушение масляного слоя под действием повышенной температуры в рассматриваемом случае не вызывает сомнений.

Для выяснения причин образования эрозионных повреждений (см. рис. 2, 4, 7, 8) деталей буксового узла проанализируем их магнитные свойства. При проведении магнитных измерений определялась остаточная намагниченность, которая оказывает существенное влияние на качество и эксплуатационные показатели подшипников. Она вызывает их повышенный износ из-за удержания ферромагнитных

частиц на поверхности трения, препятствует вымыванию со смазкой продуктов износа и посторонних частиц. Кроме того, остаточная намагниченность вызывает появление паразитных электрических токов, приводящих к электроэрозионному разрушению деталей подшипников и их нагреву.

Намагниченность деталей может возникнуть как на стадии изготовления подшипника (не полное размагничивание деталей подшипника после соответствующих технологических операций), так и в процессе эксплуатации (прохождение через подшипник электрического тока).

Характерными признаками электроэрозионных повреждений являются:

- сильная остаточная намагниченность деталей;
- треки (следы), ветвящиеся или почти прямые неглубокие (до 0,2 мм) отпечатки электрического разряда на поверхностях деталей;
- отпечатки на поверхности контуров прилегающей детали;
- наличие прижогов на поверхностях деталей в виде точечных углублений, покрытых черным налетом продуктов высокотемпературного окисления масла;
- наличие электроэрозионных каверн, нередко покрытых теми же продуктами окисления масла (асфальтены, карбены, карбоиды, возникающие при окислении масел в электрическом разряде, не растворяются в органических растворителях – спирте, ацетоне, бензоле, толуоле).

В силу значительного повреждения тел качения переднего подшипника обнаружить следы прохождения и поражения их электрическим током не представляется возможным.

Тем не менее, описанные выше факты указывают на то, что через наружное кольцо переднего подшипника, упорное кольцо и внутренние кольца подшипников проходил электрический ток, а области эрозии, показанные на рис. 2, 4, 7, 8, есть ни что иное, как электроожоги [8]. Локализованное изменение микроструктуры внутреннего кольца переднего подшипника – сорбит отпуска, также подтверждает наличие мощного теплового потока, вызванного прохождением электрического тока. Кроме того, становятся очевидными причины существенного различия в твердости тел качения и дорожки качения внутреннего кольца переднего подшипника – электрический ток преимущественно протекал через внутреннее кольцо, которое подверглось большему температурному влиянию, повлекшему изменение микроструктуры и уменьшение твердости.

Таким образом, наиболее вероятной причиной разрушения переднего подшипника является прохождение через него электрического тока, что приводит к локальным повреждениям деталей, накоплению продуктов эрозии и износа в рабочей области качения, нарушению масляного слоя (в том числе и за счет нагрева проходящим током и наведенными вихревыми токами), изменению режима работы подшипника от качения к скольжению, выгоранию сепаратора.

К сопутствующим осложняющим факторам относятся:

- возможное попадание влаги в смазку;
- неоднородная микроструктура внутреннего кольца переднего подшипника;
- напряженные режимы работы узла.

Причиной разрушения заднего подшипника является скачкообразное повышение на него нагрузки при разрушении переднего подшипника.

Результаты проведенных механических испытаний, макро- и микроанализа и магнитных измерений могут быть использованы для корректировки технологии сборки подшипникового узла колесной пары и идентификации причин выхода подшипников из строя.

Список литературы

1. Галаев, В. И. Эквивалентная жесткость системы «нелинейная упругая опора с зазором – вал роторной машины» / В. И. Галаев // Вест. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2002. – Т. 8, № 4. – С. 644 – 648.

2. Гайдамака, А. В. Роликоподшипники букс вагонов и локомотивов: моделирование и усовершенствование : монография [Электронный ресурс] / А. В. Гайдамака. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2011. – 312 с. – Режим доступа : <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/2839> (дата обращения: 29.10.2015).

3. Инструктивные указания по эксплуатации и ремонту вагонных букс с роликовыми подшипниками : 3-ЦВРК : утв. МПС РФ 12.03.1998 : введ. 01.04.2001. – М., 2001. – 71 с.

4. ГОСТ 801–78. Сталь подшипниковая. Технические условия. – Введ. 1980–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 13 с.

5. ГОСТ 22696–77. Подшипники качения. Ролики цилиндрические короткие. Технические условия. – Введ. 1982–03–16. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 17 с.

6. ГОСТ 520–2002. Подшипники качения. Общие технические условия. – Введ. 2003–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 2009. – 53 с.

7. Лаптева, И. И. Неразрушающий контроль деталей вагонов / И. И. Лаптева, М. А. Колесников. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. – 103 с.

8. Классификатор дефектов и повреждений подшипников качения : ЦВТ-22 : утв. ОАО «РЖД» 07.12.07. – М., 2007. – 116 с.

A Study of the Causes of Premature Failure of Axle-Box Unit Bearings

D. M. Mordasov¹, Yu. G. Fateev², S. V. Zotov¹

*Department of Materials and Technologies, TSTU (1);
Engineering Center “Diagnost-T”, Tambov (2);
mit@mail.nnn.tstu.ru*

Keywords: axle-box; electric burn; microstructure; rolling bearing; scuffing; wear.

Abstract: We conducted the studies of micro- and macrostructure of the destroyed parts of axle-box bearings and investigated their chemical composition, mechanical and magnetic properties. The causes of destruction of bearings were defined; the sequence of bearing failures was established. Recommendations on preventing the occurrence of similar accidents were made.

References

1. Galaev V.I. *Transactions of Tambov State Technical University*, 2002, vol. 8, no. 4, pp. 644-648.

2. Gaidamaka A.V. *Rolikopodshipniki buks vagonov i lokomotivov: modelirovanie i usovershenstvovanie: monografiya* (Roller bearing axle boxes of carriages and locomotives: modeling and perfection: a monograph), Khar'kov: NTU «KhPI», 2011, 312 p, available at: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/2839> (accessed 29 October 2015).

3. MПС RF, *Instruktivnye ukazaniya po ekspluatatsii i remontu vagonnykh buks s rolikovymi podshipnikami* (Guidance for operating and repairing the Bucs with rolbearing faces), Moscow: 71 p.

4. ГОСТ 801–78. *Stal' podshipnikovaya. Tekhnicheskie usloviya* (Bearing Steel. Technical conditions), Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1978, 13 p.

5. ГОСТ 22696–77. *Podshipniki kacheniya. Roliki tsilindricheskie korotkie. Tekhnicheskie usloviya* (Rolling bearings. Short cylindrical rollers. Technical conditions), Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1982, 17 p.

6. GOST 520–2002. *Podshipniki kacheniya. Obshchie tekhnicheskie usloviya* (Rolling bearings. General specifications), Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2009, 53 p.

7. Lapteva I.I., Kolesnikov M.A. *Nerazrushayushchii kontrol' detalei vagonov*, Khabarovsk: Izdatel'stvo DVGUPS, 2012, 103 p.

8. OAO «RZhD» *Klassifikator defektov i povrezhdenii podshipnikov kacheniya* (Qualifier of defects and damage of bearings), Moscow: 116 p.

Forschungen der Gründe der vorzeitigen Zerstörung der Lager des Buchsenknotens

Zusammenfassung: Es sind die Forschungen der Mikro- und Makrostruktur der zerstörten Details der Lager des Buchsenknotens durchgeführt, es ist ihre chemische Verbindung, die mechanischen und magnetischen Eigenschaften untersucht. Es sind die Gründe der Zerstörung der Lager bestimmt, es ist die Reihenfolge des Ausgangs der Lager außer Betrieb bestimmt. Es sind die Empfehlungen nach der Verhinderung des Entstehens der ähnlichen Notfälle gegeben.

Recherche des causes de la destruction prématurée des roulements du noeud de dérapage

Résumé: Sont effectuées les études de micro – et macrostructure des pièces détruites des roulements du noeud de dérapage; est étudiée la composition chimique, mécanique et les propriétés magnétiques. Sont définies les raisons de la destruction des roulements, est établie la séquence de la mise des roulements en panne. Sont données les recommandations pour prévenir l'apparition de ces situations d'urgence.

Авторы: *Мордасов Денис Михайлович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материалы и технология», ВПО «ТГТУ»; *Фатеев Юрий Геннадьевич* – технический директор, ООО «Инженерный центр «Диагност-Т», г. Тамбов; *Зотов Сергей Владимирович* – магистрант кафедры «Материалы и технология», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Червяков Виктор Михайлович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническая механика и детали машин», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
