

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ОСЕЙ КОЛЁСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Жарникова Лидия Викторовна

магистрант, Восточно-Сибирский государственный университет технологии и управления, РФ,
г. Улан-Удэ

Шурыгин Юрий Леонидович

научный руководитель, доцент, зав. кафедрой "Технология машиностроения,
металлообрабатывающие станки и комплексы", Восточно-Сибирский государственный
университет технологии и управления, РФ, г. Улан-Удэ

Анализ испытаний проводился совместно с инженерами материаловедческой лаборатории
центральная заводская лаборатория Улан-Удэнского ЛВРЗ АО «Желдорреммаш». Фрагмент
оси №6709 с изломом представлен на рисунке 1



Рисунок 1. Фрагменты излома оси колесной пары № 6709

Излом оси № 6709 произошел в поперечном сечении, в зоне галтельного перехода от подступичной части к моторно-осевой шейке оси на расстоянии 20 мм от подступичной части. На поверхности излома оси имеются две магистральные усталостные трещины, развившиеся от поверхности оси вглубь сечения навстречу друг другу с образованием последовательных концентрических линий усталостного развития (рис. 2 направление развития трещин показано красными стрелками). По периметру оси поверхность излома сильно притерта и деформирована (забита), однако конфигурация и направление развития усталостных трещин свидетельствуют о том, что очаги их возникновения находятся в поверхностном слое оси в зоне галтели. При этом зона усталостного развития трещин составляет около 80 %, а зона долома – около 20 % от площади поперечного сечения оси в месте излома. Проведенный магнитопорошковый контроль цилиндрических поверхностей оси вблизи зоны излома, включая галтель, а также прилегающие участки подступичной части и моторно-осевой шейки показал отсутствие на поверхности оси трещин и других дефектов, что также свидетельствует об отсутствии нагрева оси в процессе эксплуатации. Таким образом, результаты визуального анализа и магнитопорошковой дефектоскопии позволяют сделать вывод о том, что разрушение оси № 6709 произошло в холодном состоянии из-за зарождения и развития поперечных усталостных трещин в зоне галтельного перехода между подступичной частью и моторно-осевой шейкой оси с последующим доломом. Кроме этого, визуальный осмотр показал, что вся поверхность галтели, по которой произошел излом, а также прилегающий участок поверхности моторно-осевой шейки шириной до 11 мм имеют следы грубой механической обработки резцом и не подвергались шлифованию.

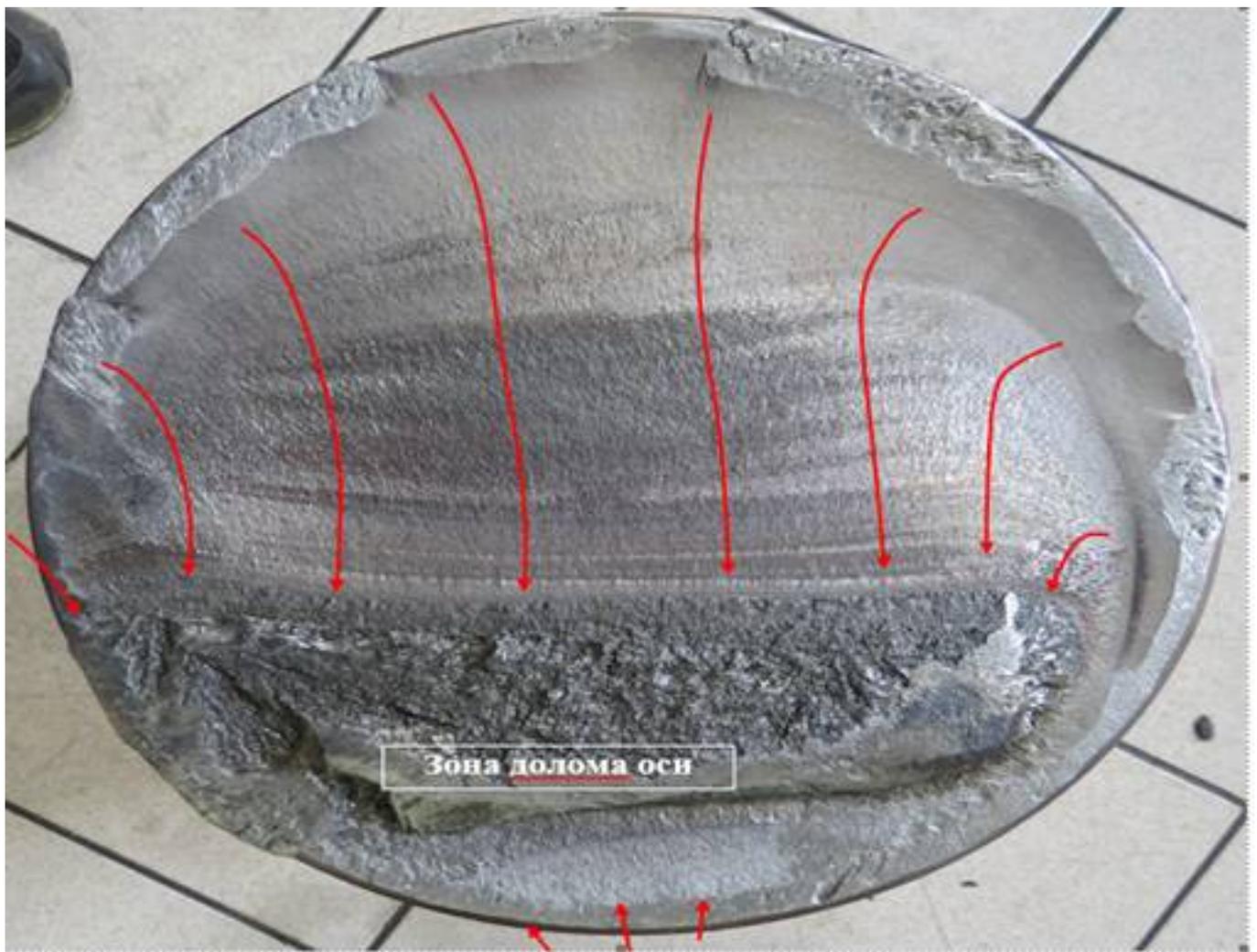


Рисунок 2. Поверхность излома оси № 6709 со схемой развития разрушения

Фактический параметр шероховатости поверхности галтели, определенный с использованием образцов шероховатости по ГОСТ 9378-93, находится между Ra10 и Ra20 (ближе к Ra20), что является грубым нарушением требований ГОСТ 33200-2014 и конструкторской документации, согласно которым шероховатость галтели должна быть не более Ra0,8. Для установления причины разрушения оси, определения химического состава, механических свойств, качества накатывания, оценки загрязненности неметаллическими включениями и анализа макро- и микроструктуры из оси были вырезаны соответствующие образцы. Химический анализ металла оси проводили на оптическом эмиссионном спектрометре «Spectrolab-S» по ГОСТ 18895-97 «Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа». Массовая доля элементов химического состава стали оси представлена в таблице 1

Таблица 1.

Химический состав оси № 6709

Объект исследования	Содержание элементов, %							
	C	Mn	Si	P	S	Ni	C	
№ 6709	0,48	0,70	0,23	0,014	0,032	0,17	0,	
Требования ГОСТ 4728 марка Ос	0,42-0,50	0,60-0,90	0,15-0,35	не более				

				0,040	0,045	0,30	0,
--	--	--	--	-------	-------	------	----

Данные свидетельствуют о том, что химический состав металла оси № 6709 соответствует требованиям ГОСТ 4728-2010 «Заготовки осевые для подвижного состава железных дорог широкой колеи. Технические условия». Определение механических свойств при растяжении проводили на испытательной машине «Schenk 100» по ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытания на растяжение» на цилиндрическом образце диаметром 10 мм с начальной расчетной длиной 50 мм. Испытание на ударный изгиб с определением ударной вязкости КСЧ проводили на маятниковом копре «VEB» по ГОСТ 9454-78 «Металлы. Методы испытаний на ударный изгиб» на образцах типа 1. Данные, полученные при испытании образцов на растяжение и ударный изгиб, приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Механические свойства металла оси № 6709

Объект исследования	Временное сопротивление при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость КСЧ при + 20 °С, Дж/см ²	
			Среднее значение	Минимальное значение
№ 6709	650	23,3	40,2	36,
Требования ГОСТ 3281-81, марка ОС	630-655	не менее		
		19,0	40	30

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что механические свойства оси № 6709 соответствуют требованиям ГОСТ 3281-81 «Оси локомотивные железных дорог широкой колеи. Технические условия». Качество макроструктуры оси оценивали по ГОСТ 10243-75 «Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры» по методу серного отпечатка (метод Баумана) на поперечном темплете, вырезанном из моторно-осевой шейки вблизи места излома. Серный отпечаток снимали путем наложения на поверхность шлифованного темплет фотоаграфической бумаги (унибром по ГОСТ 10752-79), предварительно замоченной в 5%-ном растворе серной кислоты. В результате установлено, что распределение серы по сечению оси равномерное, имеется допустимая точечная неоднородность балла 1. Таким образом, макроструктура оси № 6709 является удовлетворительной и соответствует требованиям ГОСТ 3281-81. Для оценки качества упрочнения накатыванием роликами был вырезан продольный темплет из буксовой шейки, продольный темплет, включающий галтель вблизи излома и часть моторно-осевой шейки. Измерение твердости проводили на твердомере универсальном КВ 3000 фирмы «КВ Pruftechnik» методом Виккерса алмазной пирамидой при нагрузке 10 кгс по ГОСТ 2999-75 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу» от поверхности вглубь оси с шагом 0,5 мм. В соответствии с требованиями ТИ 32 ЦТ-ВНИИЖТ-95 «Технологическая инструкция по упрочнению накатыванием роликами осей колесных пар локомотивов и моторных вагонов» увеличение поверхностной твердости локомотивной оси в результате накатывания должно составлять не менее 20 %, а глубина слоя металла с повышенной твердостью должна находиться в пределах 0,02-0,04 от диаметра упрочняемого сечения оси. Результаты оценки качества накатывания оси № 6709 представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты оценки качества накатывания оси № 6709

--

Контролируемый параметр	Часть оси		
	Буксовая шейка	Моторно-осевая шейка	
Увеличение поверхностной твердости оси в результате накатывания, %	5,2	22,0	
Требования ТИ 32 ЦТ-ВНИИЖТ-95	≥20		
Глубина слоя металла оси с повышенной твердостью, доля от диаметра оси	0,01	0,03	
Требования ТИ 32 ЦТ-ВНИИЖТ-95	0,02-0,04		

Данные свидетельствуют о том, что качество накатки оси № 6709 не соответствует требованиям ТИ 32 ЦТ-ВНИИЖТ-95, в частности на буксовой шейке накатка проведена некачественно, а в зоне галтели, по которой произошел излом, накатка не проводилась. Анализ загрязненности неметаллическими включениями стали оси по методу Ш1 (на шести шлифах по среднему баллу для каждого вида включений) проводился в соответствии с ГОСТ 1778-70 «Сталь. Металло-графические методы определения неметаллических включений» и показал наличие сульфидов балла 3,5 и силикатов хрупких балла 2. ГОСТ 4728-2010 не регламентировал требований к загрязненности осевой стали неметаллическим включениями, однако содержание неметаллических включений в металле оси № 6709 находится на удовлетворительном уровне. Микроструктуру металла оси № 6709 исследовали на продольных и поперечных шлифах, вырезанных из фрагмента галтели в зоне излома оси у поверхности и на глубине.

Шлифы изучали на инвертированном микроскопе Axio Observer A1m (Carl Zeiss) при увеличении $\times 100$, $\times 200$ и $\times 500$ до и после травления 4%-ным раствором азотной кислоты в спирте в соответствии с ГОСТ 8233 «Сталь. Эталоны микроструктуры». Микроструктура основного металла оси – типичная для осевой стали феррито-перлитная с размером зерна соответствующим 6 баллу по ГОСТ 5639 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна» ГОСТ 3281 не регламентировал требований к величине зерна осевой стали, однако размер зерна стали оси № 6709 является удовлетворительным. Учитывая, что поверхность излома по периметру оси сильно деформирована и забита, анализ микроструктуры поверхностного слоя не позволил исследовать очаги зарождения усталостных трещин непосредственно в изломе, однако подтвердил отсутствие следов пластической деформации (накатки) поверхностного слоя в зоне галтели оси. Как известно, галтели оси являются зонами повышенного уровня напряжений в эксплуатации и их качественная механическая обработка, равно как и упрочняющая накатка роликами, являются важнейшими условиями обеспечения усталостной выносливости и надежности оси. Некачественная механическая обработка поверхности галтели с грубой шероховатостью на уровне Ra20 и отсутствие упрочняющей накатки роликами в совокупности существенно снизили предел выносливости оси № 6709, что привело к возникновению и развитию усталостных трещин в эксплуатации с последующим разрушением оси в месте галтельного перехода от подступичной части к моторно-осевой шейке.

По результатам проведенного исследования фрагментов оси № 6709 установлено:

1. Химический состав, механические свойства и качество макроструктуры металла оси удовлетворяют требованиям ГОСТ 4728 и ГОСТ 3281.

2. Качество механической обработки поверхности галтельного перехода от подступичной части к моторно-осевой шейке не соответствует требованиям ГОСТ 33200-2014 и конструкторской документации (параметр шероховатости галтели находится на уровне Ra20, при норме не более Ra0,8).

3. Качество упрочнения накатыванием оси не соответствует требованиям ТИ 32 ЦТ-ВНИИЖТ-95 (упрочнение накатыванием в зоне галтели не проводилось).

4. Разрушение оси произошло в холодном состоянии вследствие зарождения и развития поперечных усталостных трещин в зоне галтельного перехода между подступичной частью и моторно-осевой шейкой оси с последующим доломом.

5. Причиной возникновения усталостных трещин является некачественная механическая обработка поверхности галтели и отсутствие ее упрочняющей накатки роликами, что привело к существенному снижению предела усталостной выносливости оси в эксплуатации.

Список литературы:

1. ГОСТ 33200-2014 Оси колесных пар железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия.

2. ГОСТ 18895-97 «Сталь. Метод фотоэлектрического спектрального анализа».

3. ГОСТ 4728-2010 «Заготовки осевые для подвижного состава железных дорог широкой колеи. Технические условия».

4. ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытания на растяжение».

5. ГОСТ 9454-78 «Металлы. Методы испытаний на ударный изгиб».

6. ГОСТ 3281-81 «Оси локомотивные железных дорог широкой колеи. Технические условия».

7. ГОСТ 10243-75 «Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры».

8. ГОСТ 2999-75 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по «Виккерсу».

9. ТИ 32 ЦТ-ВНИИЖТ-95 «Технологическая инструкция по упрочнению накатыванием роликами осей колесных пар локомотивов и моторных вагонов».

10. ГОСТ 1778-70 «Сталь. Металло-графические методы определения неметаллических включений».