



## Качество поверхности железнодорожных осей

*Выполнен анализ технических требований действующей нормативно-технической документации, предъявляемой к чистоте поверхности железнодорожных осей. Показано, что на долговечность железнодорожной оси оказывают влияние не только протяженность и место расположения, но и соотношение размеров сечения поверхностного дефекта. Ил. 6. Табл. 1. Библиогр.: 6 назв.*

**Ключевые слова:** железнодорожная ось, поверхностные дефекты, магнитопорошковый метод контроля, долговечность

*The requirements of the normative-technical documentation for surface finish of railway axles have been analyzed. It has been shown that not only the length and location, but also the aspect ratio of the cross section of the surface defect influence on durability of the railway axis.*

**Keywords:** railway axis, surfaced effect, magnaflux inspection, durability

Железнодорожные оси работают в условиях циклического нагружения, и усталостные трещины при циклических нагрузках образуются, в первую очередь, в поверхностных слоях металла осей, поэтому состояние поверхности играет важную роль. Все оси должны быть подвергнуты чистовой обработке – упрочнению поверхности путем накатыванием роликами. Такая обработка способствует не только поверхностному упрочнению, но и появлению сжимающих напряжений, которые тормозят развитие усталостных трещин. Нормируется шероховатость поверхности осей, поскольку повышение ровности поверхности оси способствует повышению предела выносливости. Поэтому несплошности в виде надрезов, рисок, царапин, мелких трещин на поверхности чистовых осей являются серьезными концентраторами напряжений [1].

Школьник Л.М. [2] показал, что наличие продольных поверхностных дефектов опасно в осях, передающих крутящий момент (локомотивные оси). Даже мелкие дефекты могут понижать прочность и выносливость осей в результате концентрации около них напряжений.

Действующие нормативные документы предъявляют достаточно высокие требования к качеству железнодорожных осей. В [3] выполнен анализ технических требований национальных, зарубежных и международных стандартов к чистовым и черновым осям. Показано, что наиболее конкретно параметры контроля поверхностных дефектов отражены в ГОСТ 30237-96 «Оси чистовые для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм» (он же является аутентичным переводом Международного стандарта ИСО 1005/3-1982 (Е) «Материалы для подвижного железнодорожного состава. Часть 3. Оси для тягового и прицепного подвижного состава. Требования к качеству») и стандарте Ассоциации американских железных дорог М101 «Оси из углеродистой термо-

обработанной стали».

В 2007 г. (а в 2009 и в Украине) введен в действие ДСТУ ГОСТ 31334-2009 «Оси для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм» взамен ГОСТ 30237-96 и ГОСТ 30272-96.

Однако много несоответствий обнаруживается при прочтении требований к качеству поверхности ДСТУ ГОСТ 31334:2009. Неоднозначным является требование о том, что видимые дефекты не допустимы, но в то же время показано, что наличие рисок глубиной не более 0,03 мм, видимых невооруженным глазом, не считается браковочным признаком. Но, как на глаз определить глубину риска, соизмеримую с десятком мкм (!), в стандарте не указано. Еще более ошибочным является определение вида дефекта при визуальном осмотре либо с применением индикаторного метода магнитопорошкового контроля неразличимых невооруженным глазом (волосовин). Магнитопорошковый метод (ГОСТ 1105-74 «Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод», РД 13-05-2006 «Методические рекомендации о порядке проведения магнитопорошкового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах» [4]) относится к индикаторным, который определяет длину дефекта, но не позволяет определить глубину и ширину поверхностных дефектов, а именно эти параметры являются определяющими вероятностью дальнейшего увеличения и распространения дефекта на весь объем изделия. По внешнему виду невозможно различить такие дефекты, как раскатанное загрязнение, волосовина, раскатанный пузырь, раскатанная трещина, трещина напряжения, закат, царапина, поскольку внешне они идентичны и могут быть одной длины и направления.

По требованиям стандарта М101 поверхность готовых осей осматривается невооруженным глазом без применения каких-либо дополнительных

методов исследования. Согласно этому стандарту недопустимыми являются любые поперечные морщины, трещины или закаты, независимо от их расположения. Отличия от цвета (обесцвечивания, темновые заметки) не являются браковочными признаками. Все наружные продольные дефекты типа волосовин, строчечных включений, морщины и т.д. упомянуты как мелкие продольные несплошности.

Непосредственно в каждом действующем стандарте указано, какие дефекты поверхности являются браковочными, какие дефекты допустимы при соблюдении некоторых условий (размеры, количество, расположение). В первую очередь ограничены размеры допустимых нитевидных дефектов (таблица).

Как видно, единых требований к длине поверхностного дефекта нет, кроме того, совершенно очевидно, что результаты магнитопорошкового метода контроля выявят большее количество дефектов, либо большей длины (если несплошность неоднородна по ширине раскрытия), в сравнении с визуальным осмотром.

Наиболее четко требования к качеству поверхности сформулированы в ГОСТ Р 52942-2008 (ЕН 13261:2003) «Рельсовый транспорт. Колесные пары и тележки. Оси. Требования к изделию», который устанавливает требования к железнодорожным осям, эксплуатируемым со скоростью движения более 200 км/ч, в котором нет разделения продольных поверхностных дефектов на подвиды. Допускаются некоторые продольные дефекты вне галтельных зон, а также запрещаются поперечные дефекты.

Как уже было отмечено, визуально видимые на поверхности чистовых осей дефекты в виде трещин и волосовин, ровно как и обнаруженные при магнитопорошковом контроле, отличить невозможно. На поверхности какого-либо металлопроката внешне различимы только такие дефекты, как углубления, шлифовочные трещины, остатки окалина, рябизна, царапины и заусенцы (согласно рекомендуемым методикам ГОСТ 20847-75 «Прутки, полосы и профили горячекатаные и кованые из сталей и сплавов»). Все остальные виды дефектов как сталеплавильного, так и прокатного происхождения могут быть правильно определены и классифицированы только путем всестороннего изучения поверхностных слоев металла с помощью современных средств и методом исследования [5].

Целью настоящего исследования является оценка влияния дефектов поверхности на долговечность железнодорожных осей. В работе исследованы участки черновых железнодорожных осей с поверхностными дефектами, отбракованными после визуального осмотра. Данные оси были изготовлены как из слитка, отлитого в изложницу, так и из непрерывнолитой заготовки производства ПАО «ДМК».

Поскольку в производственных условиях проводили только визуальный осмотр поверхности осей, и только опытный контролер может рассмотреть нитевидные дефекты на необработанной поверхности, то дополнительно применяли глубокое

травление (соляной кислотой) вырезанных тепловых отбракованных осей и также использовали магнитопорошковый контроль поверхности.

При анализе учитывали, в первую очередь, длину дефекта, обнаруженного при глубоком травлении и магнитопорошковом контроле. Следует отметить, что этот параметр для двух методов является равным. Однако наиболее полно раскрывает характер расположения и реальные размеры поверхностных дефектов металлографический анализ. Кроме этого, металлографический анализ поверхности был проведен в нескольких сечениях, чтобы проследить характер изменения размера волосовины (трещины) по длине. При анализе и определении природы несплошностей были учтены такие параметры, как количество и сучность обнаруженных дефектов, наличие вокруг дефекта неметаллических включений и обезуглероженного слоя, изменения микроструктуры около дефекта, ширина раскрытия, глубина залегания и площадь поперечного сечения, занимаемая дефектом.

Установлено, что длина и глубина дефекта может меняться в широких пределах. Так, например, поверхностный дефект образца одной из отбракованных осей (волосовина) имеет длину свыше 40 мм, а глубина залегания его не превышает 0,23 мм (рис. 1 а). Вокруг него не обнаружено грубых неметаллических включений, и такой дефект вполне можно устранить путем затирки наждачной бумагой (т.е. по своим геометрическим параметрам волосовина ничем не отличается от дефекта «риска», вполне допустимым ДСТУ ГОСТ 31334:2009). В то же время на рис. 1 б показан другой дефект (раскатанная трещина) при его длине всего 8 мм, он залегает на глубину 2 мм, и имеет раскрытие почти 0,8 мм

Проведенная в работе статистическая обработка размеров исследуемых поверхностных дефектов показала, что четкой связи между ними практически не наблюдается. Не выявлено абсолютно никакой взаимосвязи длины дефекта с другими его геометрическими размерами (шириной раскрытия, глубиной залегания и площадью поперечного сечения), максимальное значение R2 не превышало 0,127. Таким образом, корреляционный анализ однозначно показал, что использование методов визуального и магнитопорошкового контроля не позволяет определить истинные размеры дефекта по его длине.

Достаточную степень надежности имеет только связь ширины раскрытия с глубиной залегания и площадью поперечного сечения, занимаемой дефектом (рис. 2). Однако методы контроля поверхности, оговоренные действующими нормативными документами, оценить подлинные геометрические размеры дефекта не позволяют.

По требованиям ДСТУ ГОСТ 31334:2009 все чистовые оси подлежат обязательному упрочнению накатыванием роликами в шейках, предподступичных, подступичных и средних частях.

Проведенный анализ показал, что при поверхностном упрочнении происходит смыкание кромок дефекта, и взаимосвязь ширины раскрытия

Таблица. Требования к количеству и длине недопустимых дефектов на поверхности чистовых осей

		ГОСТ 31334 2007 (2009)		М101		ГОСТ 52942-2008	
Часть чистовой оси	Грузовые и пассажирские вагоны; прицепные, вагоны электро- и дизель поездов*	Локомотивы и моторные вагоны электро- и дизель поездов**	Вагоны метрополитена	Оси под роликовые подшипники	Оси грузовые (роликотподшипниковые)	Все другие оси	Оси колесных пар вагонов, локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава, эксплуатируемых со скоростью движения более 200 км/ч
Галтели	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются	Не допускаются
Цилиндрическая часть шейки	Не допускаются, если: - длина отдельной волосовины более 10 мм. Не допускаются, если: - более 3 шт. в любом поперечном сечении; - более 5 шт. всего	Не допускаются, если: - длина отдельной волосовины более 10 мм. Не допускаются, если: - более 2 шт. в любом поперечном сечении; - более 4 шт. всего	Не допускаются. При несученом расположении допускаются без ограничения количества волосовины длиной до 1 мм	Длина отдельного дефекта не более 19,1 мм. Общая длина не более 50,8 мм для отдельных дефектов длиной более 6,4 мм на одном конце оси	Длина отдельного дефекта не более 50,8 мм. Общая длина не более 101,6 мм для отдельных дефектов длиной более 6,4 мм на одном конце оси	12,7 мм. Общая длина не более 76,2 мм для отдельных дефектов длиной более 6,4 мм на одном конце оси	Длина изолированного дефекта не более 6 мм. Не более одного дефекта
Предподступичная и подступичная часть	Не допускаются, если: - длина отдельной волосовины более 25 мм; - более 3 в любом поперечном сечении	Не допускаются, если: - длина отдельной волосовины более 15 мм; - более 2 в любом поперечном сечении	Не допускаются. При несученом расположении допускаются без ограничения количества волосовины длиной до 2 мм	Длина отдельного дефекта не более 12,7 мм. Общая длина не более 50,8 мм для отдельных дефектов длиной более 6,4 мм	На предподступиче не допускаются. Длина отдельного дефекта не более 50,8 мм. Общая длина не более 101,6 мм для отдельных дефектов длиной более 6,4 мм на одном конце оси	По длине не превышают 38,1 мм на одном конце оси	На подступиче длина изолированного дефекта не более 6 мм. Суммарная длина изолированных дефектов не более 15 мм
Средняя часть	Не допускаются, если: - длина отдельной волосовины более 50 мм; - более 3 в любом поперечном сечении	Не допускаются, если: - длина отдельной волосовины более 25 мм; - более 2 в любом поперечном сечении	Не допускаются. При несученом расположении допускаются без ограничения количества волосовины длиной до 2 мм	Длина отдельного дефекта не более 38,1 мм на каждые 304,8 мм оси для отдельных дефектов длиной от 6,4 до 12,7 мм	Длина отдельного дефекта не более 38,1 мм на каждые 304,8 мм оси для отдельных дефектов длиной от 6,4 до 12,7 мм	Длина изолированного дефекта не более 6 мм. Суммарная длина изолированных дефектов не более 15 мм	Длина изолированного дефекта не более 6 мм. Суммарная длина изолированных дефектов не более 15 мм
Примечания	*При несученом и нестрочечном расположении допускаются без ограничения количества волосовины длиной до 3 мм на всех частях осей за исключением галтелей	**При несученом и нестрочечном расположении допускаются без ограничения количества волосовины длиной до 2 мм на шейке и до 3 мм на всех остальных частях осей	-	Оси, содержащие продольные несплошности на теле и превышающие описанные, могут быть доведены шлифовкой и обточкой при сохранении установленных геометрических размеров	Оси, содержащие продольные несплошности на теле и превышающие описанные, могут быть доведены шлифовкой и обточкой при сохранении установленных геометрических размеров	Дефекты считаются изолированными, если расстояние между двумя дефектами, расположенных на одной линии окружности, составляет более 10 мм	Дефекты считаются изолированными, если расстояние между двумя дефектами, расположенных на одной линии окружности, составляет более 10 мм



Рис. 1. Поверхность и микроструктура участка с дефектом отбракованных полуобработанных осей

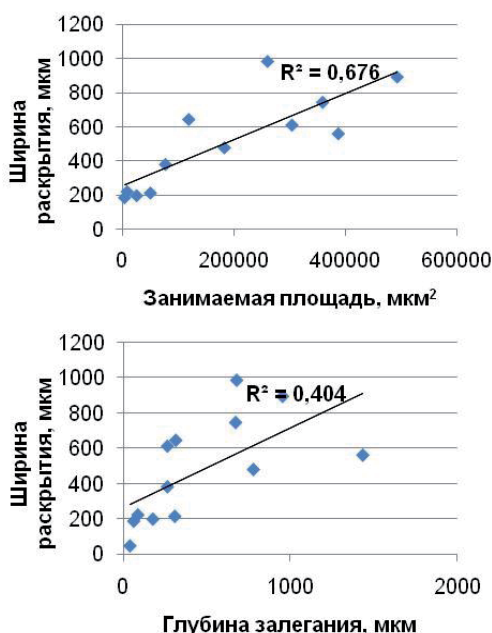


Рис. 2. Взаимосвязь ширины раскрытия поверхностных дефектов с другими показателями их размеров

и глубины залегания в этом случае исключается (рис. 3). Поэтому истинные размеры поверхностного дефекта упрочненных чистовых осей после проведения магнитопорошкового контроля по внешним признакам даже косвенно оценить нельзя.

Чтобы оценить влияние мелких поверхностных несплошностей, независимо от их природы, на выносливость железнодорожной оси совместно с Днепропетровским НУЖТ им. акад. В. Лазаряна, проведено специальное исследование. Обычно прочность конструкции оценивается по напряжениям, возникающим в ней в результате действия квазистатических расчетных нагрузок, но этот параметр не учитывает накопление повреждений при многоцикловом режиме нагружения детали в эксплуатации. Так ось колесной пары в эксплуатации испытывает переменные по величине и интенсивности нагрузки, а количество их приложений превышает 106 раз. Согласно ДСТУ ГОСТ 31334:2009 для осей

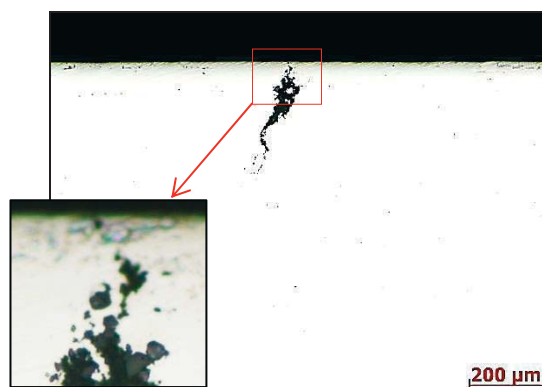


Рис. 3. Микроструктура образца поверхности чистовой оси, отбракованной при магнито-порошковом контроле

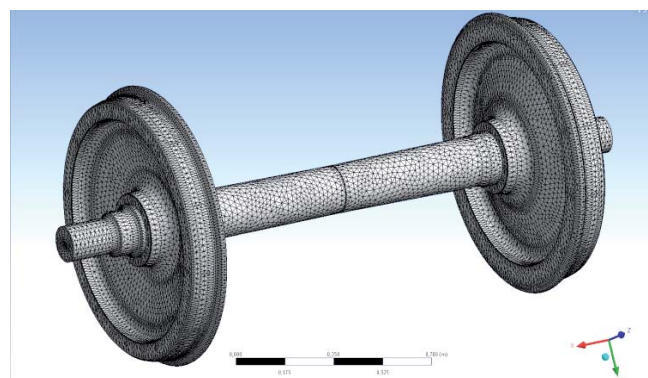


Рис. 4. Конечно-элементная модель колесной пары, общий вид

грузовых вагонов установлен срок эксплуатации вагонной оси по гарантии изготовителя, и он составляет 8,5 лет. В качестве критерия для оценки долговечности и был использован этот срок эксплуатации вагонной оси. Оценка влияния направления и величины раскрытия поверхностных дефектов на вагонную ось выполнялась на основании долговечности, полученной на соответствующей конечно-элементной модели при воздействии знакопеременных нагрузок [6].

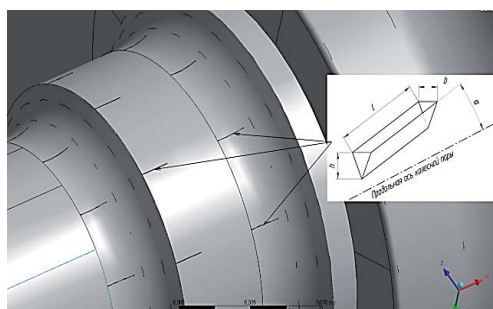
Конечно-элементная модель сформирована в среде Workbench программного комплекса ANSYS из 6-ти угловых объемных элементов, которая содержит 141920 элементов, 244875 узлов (рис. 4). Эти элементы моделируют сопротивление объемным деформациям материала.

Дефекты металлургического производства моделировались как равные треугольные пропилы (рис. 5а), расположенные в средней части оси, на переходе от средней части к подступичной, на предподступичной части и на галтельных переходах. Вокруг дефектов сетка сгущалась до элементов с ребром 0,04 мм (рис. 5б).

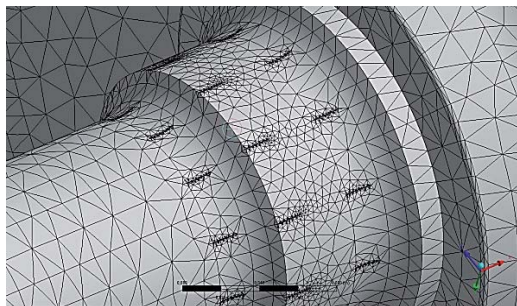
Наличие дефекта приводит к концентрации напряжений, что ведет к снижению долговечности в участке сечения оси, в котором расположен дефект.

На оси колесной пары выделено пять участков для оценки долговечности (рис. 6).

Для рассматриваемых участков железнодорожной оси без дефектов определены значения долговечности. Эти значения использованы в качестве критериев



а



б

Рис. 5. Имитация дефектов на модели колесной пары (а) и уплотнение конечно-элементной сетки вокруг дефекта (б)

при анализе снижения долговечности. Геометрические размеры поверхностных дефектов выбраны в широких пределах изменения длины, ширины раскрытия и глубины залегания. Результаты расчета влияния дефектов различного направления и расположения показали, что недопустимыми на поверхности железнодорожной оси являются все поперечные и продольно направленные дефекты на галтельных переходах.

Отклонение направления дефекта от продольной оси приводит к снижению долговечности на участке, где расположен дефект. В качестве критериев оценки влияния равнонаправленных дефектов на долговечность оси необходимо учитывать как их протяженность и место расположения, так и соотношение размеров сечения дефекта. Долговечность ниже допустимых значений на предподступичной части оси снижают только особо крупные дефекты с сечением свыше 1x2 мм и длиной более 15 мм, которые отбраковываются при контроле черновых осей.

**Выводы**

Ни визуальный, ни магнитопорошковый методы контроля не позволяют определить истинные размеры и природу дефекта по его длине, поэтому применение терминов поверхностных дефектов в нормативной документации при описании методов контроля является не совсем корректным, поскольку только полный анализ позволяет определить тип дефекта поверхности железнодорожных

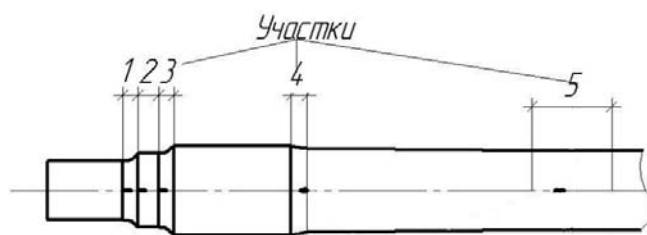


Рис. 6. Участки оси колесной пары, для которых производится оценка влияния дефектов на долговечность оси: 1 – галтельный переход от шейки оси колесной пары к предподступичной части; 2 – предподступичная часть оси колесной пары; 3 – галтельный переход от предподступичной части оси колесной пары к подступичной части; 4 – переход от подступичной части оси колесной пары к средней части; 5 – средняя часть оси колесной пары

осей. Считаю целесообразным в новой редакции ДСТУ ГОСТ 31334-2009 все обнаруженные при магнитопорошковом методе контроля дефекты поверхности железнодорожных осей не разделять на виды, а отнести к поверхностным несплошностям, по аналогии с зарубежной нормативной документацией на данный вид металлопродукции.

Определяемая при магнитопорошковом контроле длина поверхностного дефекта по своей сути не отражает всю опасность, которую несет несплошность на теле оси, поскольку при оценке влияния равнонаправленных дефектов на долговечность оси необходимо учитывать как их протяженность и место расположения, так и соотношение размеров сечения дефекта.

**Библиографический список**

1. Золотаревский В. С. Механические свойства металлов. – М.: МИСИС, 1998. – 400 с.
2. Школьник Л. М. Повышение прочности железнодорожных осей подвижного состава. – М.: Транспорт, 1964. – 224 с.
3. Требования национальных, зарубежных и международных стандартов к качеству железнодорожных осей. / А.Р. Пименов, В.В. Несвет, Д.П. Кукуй // Металл и литье Украины. – 2006. – № 7-8. – С. 67–73.
4. РД 13-05-2006 «Методические рекомендации о порядке проведения магнитопорошкового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах»
5. Качество поверхности металла / А.И. Строганов, Г.А. Хасин, А.Н. Черненко, А.С. Дробышевский. - М.: Металлургия, 1985. - 128 с.
6. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996.

Поступила 30.11.2012