

Л. И. ВАКУЛЕНКО (Вагонное депо «Нижеднепровск-узел», Днепропетровск),
С. В. ПРОЙДАК, Ю. Л. НАДЕЖДИН (ДНУЖТ)

О ВЛИЯНИИ УРОВНЯ ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС НА ФОРМИРОВАНИЕ ВЫЩЕРБИН

В работе рассмотрены вопросы, посвященные анализу условий формирования повреждений в виде выщербин по поверхности катания при эксплуатации железнодорожных колес различного уровня прочности.

Ключевые слова: железнодорожное колесо, выщербина, углерод, структура, эксплуатация.

В современных условиях неп рерывного роста интенсивности эксплуатации железнодорожного транспорта существенно повышаются требования по его эксплуатационной безопасности. Разработка и практическое использование разнообразных неразрушающих методов контроля комплекса либо отдельных свойств металлических материалов, представляется одним из направлений решения указанной актуальной проблемы. Достаточно широкого распространения получила ультразвуковая дефектоскопия. Однако, по результатам такого анализа достаточно сложно оценить уровень свойств, особенно прочностных.

Использование метода измерения скорости распространения звуковых колебаний в металлических материалах, в частности в углеродистых сталях [1], указывает на перспективность методики для оценки твердости на поверхности катания колёс. В первом приближении, при условии неизменности структурного состояния металла, указанная характеристика (скорость распространения звуковых колебаний) обнаруживает однозначные корреляционные связи с характеристиками внутреннего строения металла [2], уровнем возникающих напряжений при нагружении [3] и т.д.

Целью работы является использование методики измерения скорости распространения звуковых колебаний, для объяснения изменения прочностных свойств металла колеса после формирования выщербины.

Материалом для исследования являлись фрагменты железнодорожных колёс КП-Т и КП-2, отобранные для исследования сформированных выщербин. Твердость металла колёс оценивали по методу Бринелля, скорость распространения звуковых колебаний определяли с использованием прибора ИСП-12 с рабочей частотой 1024 Гц.

В процессе качения железнодорожного колеса по рельсу, кроме нормально действующих напряжений неизбежно присутствует сдвиговая

составляющая [4], величина которой является результатом от совместного влияния многочисленных факторов. Кроме отклонений по параметрам сопряженных подвижных элементов тележки и разности в диаметрах колес колёсной пары, величина площади контакта колесо – рельс, по мере своего увеличения, должна повышать сдвиговую составляющую в общем уровне контактных напряжений. С другой стороны, в процессе интенсивно торможения значительное выделение энергии может быть достаточным для быстрого разогрева тонкого приповерхностного слоя металла по поверхности катания колеса до температур превышающих начало фазовых превращений. В этом случае развитие пластических деформаций со сдвиговой составляющей получает дополнительный стимул. Так, после формирования аустенитной фазы, последующая пластическая деформация может рассматриваться как своего рода дестабилизирующий фактор. С другой стороны, введение дефектов кристаллического строения при пластическом деформировании, будет сопровождаться неизбежным упрочнением участков аустенита. Учитывая, достаточно высокие скорости нагрева металла в приповерхностном слое колеса и малые по длительности выдержки при температуре нагрева, интенсивный последующий теплоотвод может привести к достижению эффекта термомеханического упрочнения. В соответствии с общепринятыми представлениями [4], термомеханический эффект для условий эксплуатации железнодорожного колеса может быть разложен на составляющие. Рассматривая влияние определенной составляющей процесса, можно объяснить суммарный эффект от температурно деформационного воздействия на развитие повреждаемости железнодорожных колёс при эксплуатации. Так, достаточно быстрый разогрев металла колеса по поверхности катания до температур формирования аустенитной фазы [5], сопровождается непрерывным введением дефектов кристалли-

ческого строения за счёт пластической деформации по площади контакта. При этом величина пластической деформации изменяется в широком интервале значений. Указанная характеристика растёт по мере повышения температуры нагрева, обратно пропорциональна уровню прочностных свойств. На пример, для стали с 0,57% углерода в нормализованном состоянии увеличение температуры до 700°C сопровождается снижением предела текучести на 60 – 65%, а временного сопротивления разрушению более чем на 70% [6]. Указанные результаты относятся к условиям однонаправленного деформирования растяжением. При более сложных нагружениях, таких как качение колеса по рельсу, следует ожидать еще большего изменения и прочностных свойств. Подтверждается приведенное положение более значительным изменением соответствующих характеристик. При температуре 700°C реверсивного нагружения, прочностные свойства указанной стали снижаются уже более чем на 80% относительно уровня значений при нормальных температурах испытания. Дальнейшее повышение температуры нагрева, до уровня формирования аустенитной фазы (A_{c3} 748°C для стали с 0,69% С [7]), величина введения дефектов кристаллического строения металла возрастет в еще большей степени. Таким образом, необходимое условие для начала развития эффекта термомеханического упрочнения можно считать реально достижимыми – это наличие структурных изменений аустенитной фазы с частично сохраненным наклёпом. Следующий этап структурных изменений связан с ускоренным охлаждением разогретого металла. С учетом достаточно высокой степени неоднородности распределения деформации на поверхности катания колеса и температуры разогрева металла, в результате ускоренного охлаждения прочностные характеристики будут изменяться в определенном интервале значений. Действительно, если рассматривать условия формирования структуры как зависимые от соотношения между температурой и величиной деформации, состояния металла можно разделить на две разновидности. К первому состоянию следует отнести объёмы металла обода колеса, которые подвержены одновременно нагреву до температур вблизи фазового превращения (A_{c1}) и сохраняют максимальный уровень наклёпа. Как следует из анализа внутреннего строения, металл после нагрева до температур несколько выше A_{c1} будет состоять из примерно 75% аустенита и 25% зерен структурно свободного феррита. В зависи-

мости от величины паузы между завершением деформации и началом интенсивного охлаждения, неизбежное развитие процессов структурных изменений будет оказывать влияние на последующее формирование комплекса свойств металла. В участках с повышенной степенью деформации и длительной паузой степень разупрочнения будет выше. После ускоренного охлаждения указанные объёмы металла будут обладать меньшим уровнем прочностных свойств по сравнению с менее наклёпанными. Обусловлено это, прежде всего повышенной устойчивостью металла против развития процессов разупрочнения [8]. Нагретые области обода колеса до температур A_{c3} и выше будут уже полностью состоять из аустенита. Прочностные характеристики металла при указанных температурах будут в 2 – 2,5 раза ниже по сравнению с нагревом до A_{c1} . Высокая скорость диффузионного массопереноса, развитие процессов рекомбинации дефектов кристаллического строения будут способствовать формированию значительной структурной неоднородности аустенита. После ускоренного охлаждения со скоростями близкими к критическому значению, полученная мартенсито – бейнитная структура будет обладать свойствами, которые в значительной степени определяются состоянием аустенита.

Для железнодорожных колёс с повышенным содержанием углерода (КП-Т) формирование структур с высокой степенью дисперсности после термического упрочнения обеспечивает достижение повышенного уровня прочностных свойств. В процессе эксплуатации таких колёс, введение дополнительного количества дефектов кристаллического строения неизбежно будет сопровождаться приростом твёрдости металла по поверхности катания. При этом не только темп увеличения прочностных свойств будет выше по сравнению с аналогичной характеристикой для колёс типа КП-2, но и скорость достижения предельно допустимой концентрации дефектов кристаллического строения. Учитывая усталостный характер зарождения трещины, преимущественное направление её роста должно совпадать с максимально действующими касательными напряжениями. Возникающая сдвиговая составляющая в площади контакта колесо – рельс будет дополнительно способствовать ускорению роста трещины. Анализ характера распределения твёрдости металла по поверхности катания исследуемых колёс после формирования выщербины подтверждает приведенные объяснения. Экстремальное

изменение твёрдости указывает, что рост усталостной трещины сопровождается развитием процессов снижения внутренних напряжений (рис.1). При этом необходимо отметить, что чем выше был исходный (до эксплуатации колёс) уровень прочностных свойств металла, тем значительней должно быть разупрочнение после роста трещины. Действительно, если сравнить уровень твёрдости на границе сформированной выщербины к уровню на ее поверхности, величина разупрочнения для колеса КП-Т будет составлять 27-39%, в то время как для КП-2 всего лишь 17%.

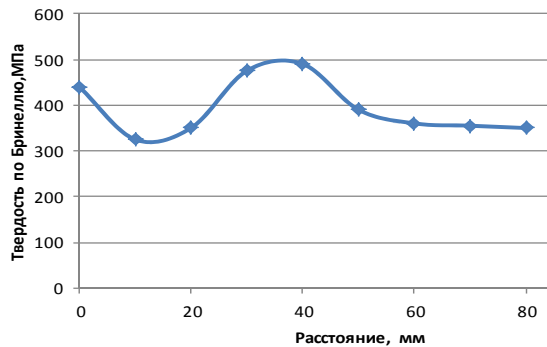


Рис. 1. Изменение твердости при формировании выщербины

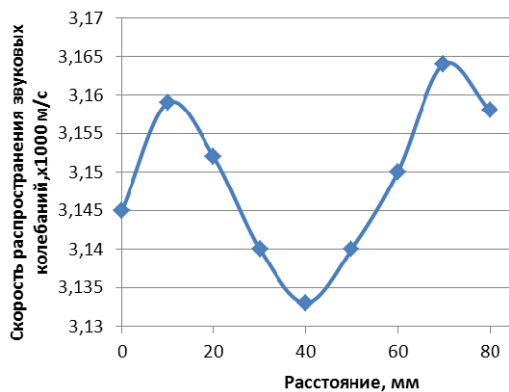


Рис. 2. Изменение скорости распространения звуковых колебаний после формирования выщербины.

Полученные результаты достаточно однозначно подтверждаются изменением скорости распространения звуковых колебаний (V) в металле. Учитывая определённую чувствительность метода к уровню внутренних напряжений, активация звуковых колебаний в тонком приповерхностном слое металла обода колеса позволяет оценить их изменение после формирования выщербины. Сравнительный анализ характера изменения твёрдости (рис.1) и V (рис.2) на поверхности катания колеса и выщербины, указывает на существование взаимосвязи между ними (рис.3). Полученное соотно-

шение подтверждается ранее полученными результатами [1 - 3]. С другой стороны, наблюдаемый характер изменения свойств металла после формирования выщербины указывает на правомочность объяснения эффектов разупрочнения (рис.4) при эксплуатации железнодорожных колёс с различным структурным состоянием и исходным уровнем прочностных свойств.

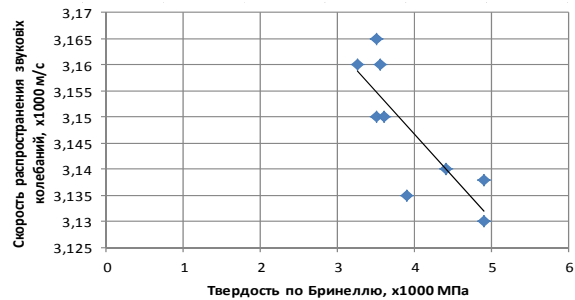


Рис. 3. Взаимное изменение V и НВ.

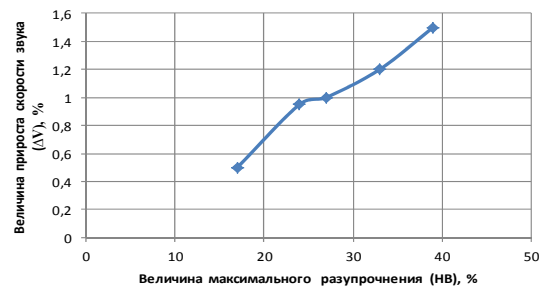


Рис. 4. Взаимное изменение величины разупрочнения металла и прироста скорости звука

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Муравьев, В. В. Влияние термической обработки на скорость ультразвуков в алюминиевых сплавах [Текст] / В. В. Муравьев // Дефектоскопия, 1989, № 11, с. 65-72.
2. Вакуленко, И. А. О влиянии размера зерна феррита и объёмной доли аустенита на зависимость скорости распространения звуковых колебаний от твёрдости стали [Текст] / И. А. Вакуленко, Ю. Л. Надеждин, В. М. Емельянов // Дефектоскопия, 1993. – № 7. – с. 32-36.
3. Вакуленко, И. А. Влияние размера зерна феррита в низкоуглеродистой горячекатаной стали на скорость распространения звуковых колебаний в процессе нагружения. [Текст] / И.А. Вакуленко, О.А. Чайковской, Д.В. Лошкарёв, В. В. Ильющонок. В кн.: Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – Д., 2004, вып. 9, с. 198-202.
4. Кузін, О. А. Металознавство та термічна обробка металів. [Текст] / О. А. Кузін., Р. А. Яцюк. – К.: Основа, 2005. – 324 с.
5. Вакуленко, І. А. Дефекти залізничних коліс [Текст] / І.А. Вакуленко, В.Г. Ануфрієв, М.А. Грищенко. – Д.: Маковецький, 2009, - 112 с.

6. Вакуленко, И.А.. Морфология структуры и деформационного упрочнения углеродистой стали. [Текст]/ И.А. Вакуленко, В.И. Большаков.// Дн-ск; Маковецкий, 2008, - 196с.
7. Шмыков, А.А. Справочник термиста [Текст]/ А.А. Шмыков //М.: ГНТИ, 1952, - 287 с.
8. Бабич, В.К. Деформационное упрочнение ста-

ли. [Текст]/ В.К.Бабич, Ю.П. Гуль, И.Е. Долженков.//М.: Metallurgy, 1972, - 320с.

Поступила в редколлегию 05.03.2012.

Принята к печати 23.03.2012.

Л. І. ВАКУЛЕНКО (Вагонне депо «Нижнедніпровськ-вузел»),
С. В. ПРОЙДАК, Ю. Л. НАДЕЖДІН (ДНУЗТ)

ПРО ВЛИВ РІВНЯ МІЦНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС НА ФОРМУВАННЯ ВІЩЕРБИН

В роботі розглянуті питання, які присвячені аналізу умов формування ушкоджень у вигляді вищебин на поверхні кочення при експлуатації залізничних коліс різного рівня міцності.

Ключові слова: залізничне колесо, вищербина, вуглець, структура, експлуатація.

L. VAKULENKO (Vagone depo Nijnedneprovsk–vuzel)
S. PROIYDAK, Y. NADEJDIN (Lazaryan DNURT)

ABOUT OF INFLUENCE LEVEL STRENGTH RAIL WHEELS ON THE FORMATION DEFECTS

The observed questions of estimate mechanism formation damage behavior is considered to be result of a directional variation in of strengthened and heat metal on the surface roll wheels.

Key words: rail wheel, , damage, carbon, structure, exploitation