

УДК 624.07

Н.Х. Раковская¹, Б.С. Ковальский²

¹Международный Славянский университет, Харьков

²Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ХОДОВЫХ КОЛЕС МНОГООСНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ АГРЕГАТОВ

Изложены экспериментальные исследования в области сухого контакта высоконагруженных ходовых колес железнодорожных агрегатов.

высоконагруженные ходовые колеса, железнодорожные агрегаты

Введение

Эксперименты в области контактной задачи проводятся различно. В одних случаях объектом исследования является площадка контакта, в других – "сближение" [1], в третьих – относительные деформации в зоне контакта [2]. Наряду с этими опытами, имеющими целью проверку теоретических расчётов, большое внимание уделяется изучению поведения контактирующих тел в условиях качения и скольжения. Такие эксперименты, обычно связанные с оценкой износостойкости разных материалов, при разных нагрузках, при разных соотношениях качения и скольжения, при разных условиях смазки были проведены Трубиным, Петрусевичем, Серенсом, Грозиным, Вейем, Бакингом, Мерриттом и др.

В исследованиях Г.К. Трубина [3, 4] большое внимание уделено влиянию смазки на условия трения и напряжённое состояние в контакте. По существу, все специалисты в области зубчатых зацеплений изучают "смазанный" контакт, учитывая двоякую роль смазочного слоя. Во-первых, при достаточной скорости вращения зубчатых колёс слой смазки заметно перераспределяет давление на контактной площадке (А.И. Петрусевич [5, 6], Д.С. Коднир [7] и др.). Во-вторых, попадая в трещины (микротрещины), смазка повышает напряжения в зоне контакта (С.Вей [1], Г.К.Трубин [3, 4] и др.) и вызывает разрушение рабочей поверхности.

Механика разрушения в контакте сложна и не может быть объяснена только расклинивающим

влиянием смазки. Это очевидно особенно тогда, когда мы переходим к сухому контакту, когда перекачивание происходит без смазки [8 – 13]. Этот случай, представляющий собой интерес при анализе работы ходовых колёс на рельсе, освещен в литературе слабее других, и объём посвященных ему экспериментов, по мнению авторов, явно недостаточен. Поэтому соотношения, принятые в практике расчёта зубчатых и червячных передач, не могут быть непосредственно перенесены в область сухого контакта. Это относится, по-видимому, и к области подшипников качения [4], где роль смазки иная, чем в зубчатых колёсах.

Приведенные соображения делают необходимым накопление экспериментальных данных и уточнение наших представлений о работе упругих тел в условиях сухого контакта.

Основная часть

Как правило, у специалистов агрегатов малые скорости движения и очень большие нагрузки на ходовую часть. Что же касается специальных железнодорожных агрегатов, то при скорости движения до 100 км/час часто наблюдается выход из строя колесных пар, раньше регламентированного пробега по причине выщербинки металла поверхности катания колес [10]. На тележках агрегатов применены типовые колеса МПС по ГОСТ 9036-76 из стали для колес по ГОСТ 10791-81. На каждое колесо имеется сертификат, удостоверяющий соответствие свойств стали требованиям ГОСТ и ТУ. Все колеса изготовлены в Нижнем Тагиле.

В практике эксплуатации вагонов парка МПС «выщербины» являются распространенным дефектом. Нормами МПС установлены допускаемые размеры выщербин (длина до 50 мм, глубина 10 мм) и устраняются они путем переточки колес без предъявления рекламаций заводу-изготовителю. На специальных агрегатах такое решение недопустимо.

Осевые нагрузки агрегатов с бракованными колесами составили: агрегата 272 – 232,5 кН; агрегата 199 – 150кН; – агрегатов 277, 278 – 280 кН, т.е. средние допустимые нагрузки колесных пар значительно ниже допускаемых нормами МПС, кроме агрегата 272. Необходимо отметить, что на колесных парах агрегата 277 выщербин связаны с белыми пятнами на поверхности катания (цвет закаленной структуры стали – мартенсиз, образующейся после разогрева тормозными колодками и последующего резкого охлаждения). На агрегате 272 такой связи не обнаружено. Таким образом, имеют место выщербин на колесах с различной нагрузкой, имеющих и не имеющих тормоза (колесные пары агрегата 199 тормоза не имеют), испытывающих и не испытывающих влияние работы разгружающего устройства. Для выявления причин выхода из строя колес были проведены металлографические исследования.

Колесо № 82-2-7603-8-2981-119 эксплуатировалось около 3 лет. Толщина обода – 79 мм, толщина гребня – 32,3 мм, неравномерный прокат – 0 мм. Химический состав: углерода – 0,53%; марганца – 0,65%; кремния – 0,27%; фосфора – 0,012%; серы – 0,018%; хрома – 0,07%; никеля – 0,07%; меди – 0,10%. По поверхности катания колеса на длине примерно 200 мм и ширине 45 мм расположены выщербин глубиной до 10 мм. Распространение твердости по сечению обода колеса (рис. 1) соответствует минимальному уровню требований ГОСТ 10-91-81. Характер развития контактно-усталостных трещин и неметаллические включения вблизи них показаны на рис. 2 и 3. Включения по своему составу сложные, состоят из окислов кальция, алюминия, титана, вкрапленных в силикатную основу. Эти включения относятся к группе недеформирующихся силикатов балла 4 шкалы ГОСТ 1778-70.

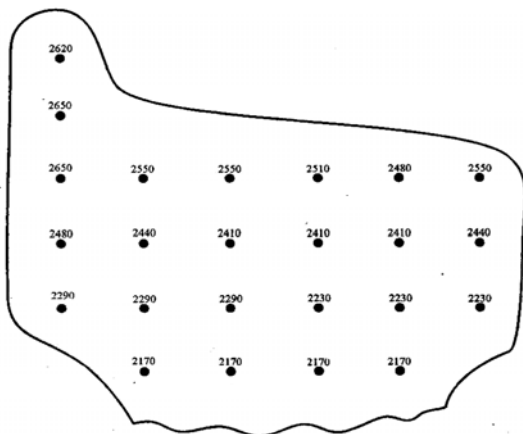


Рис. 1. Распространение твердости по сечению обода колеса № 82-2-7603-8-2981-119

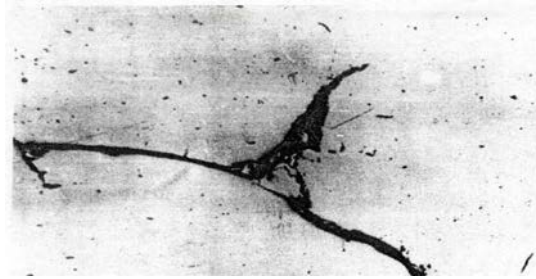


Рис. 2. Развитие контактно-усталостных трещин на колесе № 82-2-7603-8-2981-119 (увеличено в 50 раз)

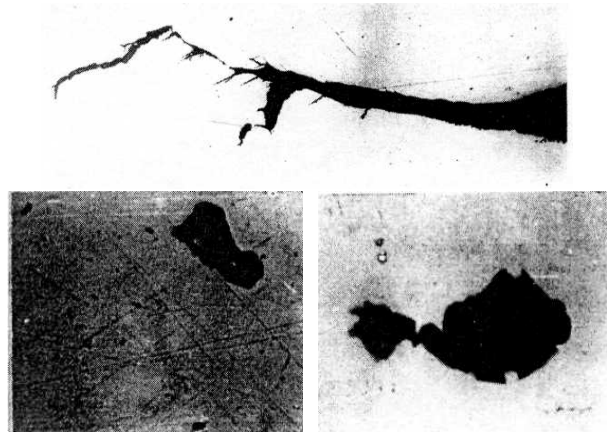


Рис. 3. Неметаллические включения в обода колеса № 82-2-7603-8-2981-119 (увеличено в 100 раз)

Колесо № 82-8307-8-164323 (М-187) эксплуатировалось около 3 лет.

Толщина обода 75 мм, толщина гребня 31,5 мм, неравномерность проката 0,2 мм.

Химический состав: углерода – 0,63%; марганца – 0,69%; кремния – 0,29%; фосфора – 0,016%; серы – 0,016%; хрома – 0,07%; никеля – 0,06%; меди – 0,14%.

На поверхности катания колеса имеются выщербин, расположенные по одной линии на расстоянии около 30 мм от наружной грани обода, диаметр отдельных выщербин — до 25 мм (рис. 4).

Твердость по сечению обода колеса на глубину 30 мм по поверхности катания 2810 – 2850 НВ (рис. 5).

Характер развития контактно-усталостных трещин показан на рис. 6. В трещине присутствуют окислы железа, образовавшиеся в результате прохождения явлений коррозии в процессе развития трещин.

Неметаллические включения по своей природе аналогичны описанным выше, но меньшего размера (рис. 7).

Колесо № 81-298480-8-425580 (М 188) эксплуатировалось около 4 лет.

Толщина обода 71 мм, толщина гребня 31 мм, неравномерный прокат 0,1 мм.

Химический состав: углерода – 0,58%; марганца – 0,82%; кремния – 0,39%; фосфора – 0,024%; серы – 0,024%; хрома – 0,08%; никеля – 0,06%; меди – 0,12%.

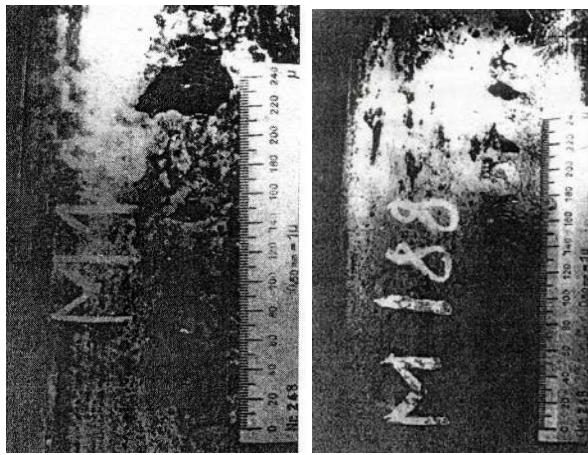


Рис. 4. Колеса: а – № 82-8307-8-164323 (М-187); б – № 81-298480-8-425580 (М-188)

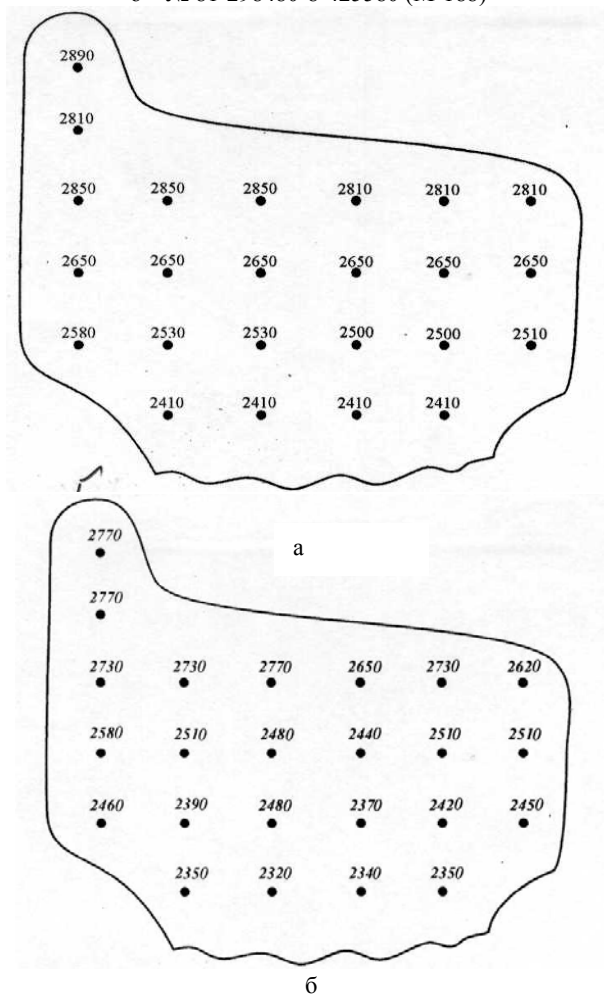


Рис. 5. Твердость по сечению обода колеса: а – М-187, б – М-188

На поверхности колеса (рис. 4, б) имеются вытянутые по одной линии на расстоянии 30 мм от внешней части колеса выщербины диаметром 15 мм и глубиной до 4 мм, а также косые трещины и наплывы металла (рис. 8). Твердость по сечению обода достаточно высокая (рис. 5, б). Неметаллические включения в ободу колеса (рис. 9) по своей природе аналогичны описанным выше.

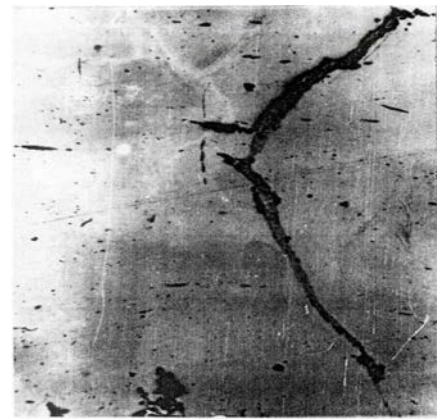


Рис. 6. Развитие контактно-усталостных трещин на колесе № 82-8307-8-164323 (М-187) (увеличено в 50 раз)

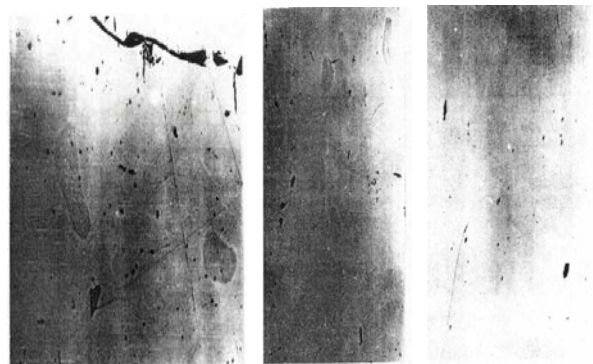


Рис. 7. Неметаллические включения в ободу колеса № 82-8307-8-16432 (увеличено в 100 раз)

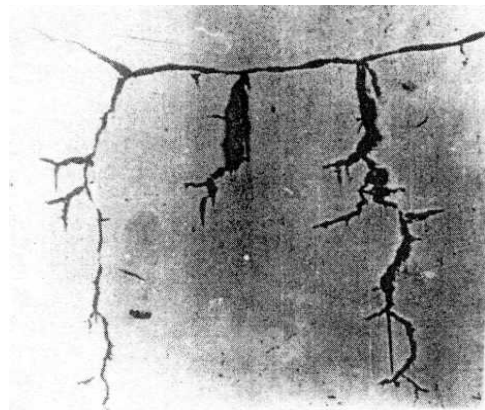


Рис. 8. Развитие трещин на поверхности колеса № 81-298480-8-425580 (М-188) (увеличено в 100 раз)

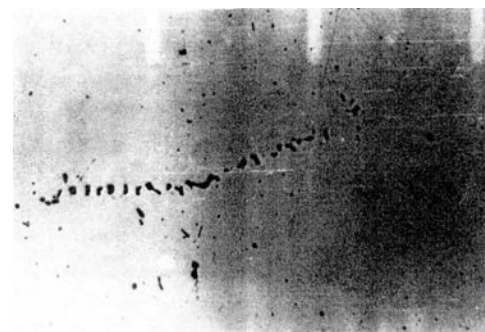


Рис. 9. Неметаллические включения в ободу колеса № 81-298480-8-425580 (М-188) (увеличено в 100 раз)

В металле ободьев колес выявлены неметаллические включения сложного состава, по своей природе относящиеся к группе недеформирующих силикатов размером до 4-х баллов по ГОСТ 1778-70. Следует отметить, что ГОСТом 10791-81 не нормируется бальность таких включений. Поэтому колеса в целом отвечают ГОСТ 10791-81. Однако наличие неметаллических включений способствуют возникновению контактно-усталостных выщербин на колесах.

Выводы

Наиболее крупные выщербины на колесах с содержанием углерода 0,53 %, т.е. на самом нижнем уровне минимально допустимом по ГОСТ 10791-81 и наиболее низкой твердости – 2550 НВ. Для повышения контактно-усталостной прочности и твердости колес желательнее использовать колеса марки 2 по ГОСТ 10791-81 со следующими ограничениями:

- содержание углерода не менее 0,60% (по ГОСТ 10791-81 – 0,55 – 0,65%),
- содержание марганца не менее 0,71% (по ГОСТ 10791-81 – 0,50 – 0,90%),
- содержание кремния не менее 0,33% (по ГОСТ 10791-81 – 0,20 – 0,42%).

Твердость ободьев на глубину 30 мм – не менее 2800 – 3000 НВ.

Для повышения чистоты стали по неметаллическим включениям необходимо использовать стали модифицированную титаном, обеспечив его остаточное содержание не менее 0,01 %. Лучше использовать вакуумированную сталь или стали, подвергнутую электрошлаковую переплаву. Причем, загрязненность стали ободьев колес неметаллическими включениями должна быть не более 1-го балла по ГОСТ 1778-70.

Список литературы

1. Ковальский Б.С. Грузоподъемные машины. Крановые пути. – Х.: ХВКИУ, 1963. – 216 с.
2. Петрусевич А.И. Контактные напряжения, деформации, контактно-гидравлическая теория смазки. – М.: Институт машиностроения АН СССР, 1950. – 369 с.
3. Петухов П.З., Ксюнин Г.П., Сермен Л.Г. Специальные краны. – М.: Машиностроение, 1985. – 246 с.
4. Пинягин С.В. Контактная прочность в машинах. – М.: Машиностроение, 1965. – 195 с.
5. Пинягин С.В. Теория качения в машинах и приборах. – М.: Машиностроение, 1965. – 264 с.
6. Писаренко Г.С. Сопровождение материалов. – М.: Высшая школа, 1986. – 775 с.
7. Попов Г.Я. Контактная задача для линейно-деформированного основания. – К.: Выш. шк., 1982. – 167 с.
8. Левченко В.Н. Влияние циклического нагружения на трещиностойкость рельсовой стали // *Залізничний транспорт України*. – К. – 2002. – № 5. – С. 47-49.
9. Лейбензон Л.С. Курс теории упругости. – Л., М.: Техническая литература, 1947. – 464 с.
10. Раковская Н.Х., Раковский Х.В. Контактное взаимодействие «колесо-рельс» безбалансирных многоосных тяжелых агрегатов. – Министерство обороны Украины, ХУВС им. И.Кожедуба. – 2006. – 327 с.
11. Литовец Г. Разрушение. – М.: Металлургия, 1976. – Т. № 6. – 496 с.
12. Манилин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1968. – 400 с.
13. Прошкин А.С. Специальные краны для монтажа тепловых электростанций. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 240 с.
14. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1974. – 744 с.

Поступила в редколлегию 12.02.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Н. Фоменко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.