

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС

MECHANISM OF FORMING DAMAGE DURING EXPLOITATION OF RAILWAY WHEELS

¹Леонид Вакуленко, ²Светлана Пройдак, ³Х. Дыя, ³А. Кавалек

¹Управление приднепровской железной дороги, инспекция по сохранности вагонного парка; ²Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. Академика В.Лазаряна, кафедра «Технология материалов», Czestochowa University of Technology, Faculty of Material Processing Technology and Applied Physics, Institute of Metal Forming and Safety Engineering

Abstract

A process forming of damages on-the-spot rolling is the result of total influence from heterogeneity of distributing of plastic deformation, forming of extrudes and intrudes on-the-spot rolling and softening at heating of the work-hardened metal.

1. Состояние проблемы

В процессе качения железнодорожного колеса, металл обода подвергается воздействию циклически изменяющихся напряжений. На основании этого, при изготовлении колес, на поверхности катания специально формируется система остаточных напряжений сжатия, которая должна обеспечивать необходимый уровень сопротивления металла зарождению поверхностных повреждений [1]. Сложный характер нагружения железнодорожного колеса при эксплуатации сопровождается изменениями внутреннего строения металла. Неоднородность наклепа металла по поверхности катания и развитие процессов разупрочнения при возможных нагревах, следует считать одними из основных факторов, которые определяют условия формирования поверхностных повреждений железнодорожных колес [2].

2. Материал и методика исследований

Материалом для исследования служила углеродистая сталь (фрагмент железнодорожного колеса, преждевременно изъятого из эксплуатации) с 0,61% C; 0,78% Mn; 0,3% Si; 0,09% Cr; 0,027% S; 0,029% P. Структурное состояние металла обода соответствовало ускоренному охлаждению колеса с отдельного нагрева, с последующим стабилизирующим отпуском. Микроструктурные исследования проводились под световым микроскопом, с использованием методик количественной металлографии.

3. Результаты и их обсуждение

Циклический характер смены напряжений на поверхности катания обуславливает развитие процессов усталости металла колеса [1, 2]. С другой

стороны известно, что развитие усталостных явлений в металлических материалах имеют необратимый характер уже при напряжениях значительно более низких чем при появлении первых признаков пластической деформации [3]. Таким образом, уже незначительного влияния возникающих напряжений в месте контакта колесо – рельс должно быть достаточно для начала развития процессов, которые приведут к формированию поверхностных повреждений железнодорожного колеса в процессе эксплуатации. Исходя из положения, что система остаточных напряжений сжатия на поверхности катания отределяется напряжениями растяжения в диске колеса, возникающая радиальная составляющая должна приводить к появлению дополнительных напряжений растяжения в ободе колеса. С целью оценки сложного характера нагружения металла колеса по поверхности катания и возможных последствий, которые приводят к возникновению повреждений металла, возникающее напряжение следует разделить на две составляющие. Первая – от циклически изменяющихся нормальных напряжений в площади контакта с рельсом, вторая – от напряжений растяжения по всему ободу, как реакция на изменение напряжений в диске. Различная частота и величина указанных напряжений в сумме приводит к нагружениям, которые по своему характеру следует отнести к циклическим нагружениям с асимметричным циклом. С целью объяснения механизма формирования повреждений на поверхности катания колеса, следует рассмотреть развитие и возможные последствия процессов усталости в металле при отсутствии других факторов, таких как неметаллические включения, дефекты коррозионного происхождения, локальные механические повреждения и т.д.

На основании известных объяснений [4], механизм формирования очага усталостной трещины связывается с возникновением элементарных сдвигов в приповерхностных объемах металла, в направлении действия максимальных касательных напряжений. При анализе внутреннего строения металла железнодорожного колеса, в граничных с поверхностью катания объемах, обнаружены свидетельства, подтверждающие формирование указанных сдвигов (рис. 1). Угол разориентации представленных сдвигов по отношению к поверхности катания находится вблизи с направлением действия максимальных касательных напряжений. Более того известно, что возникновение локальных сдвигов предшествует формированию экструзий и интрузий на поверхности циклически нагружаемых металлов. Схематически процесс формирования экструзии представлен на рис. 2. На основании этого, экспериментально наблюдаемые объемы металла, вблизи с поверхностью катания, в которых наблюдаются взаимно пересекающиеся линии сдвиговой деформации (рис. 1), могут рассматриваться как необратимые изменения локального характера на поверхности катания колеса (рис. 3). В верхней части рис. 3 (обозначение стрелками), которая соответствует профилю поверхности катания колеса, обнаруживаются объемы с явными признаками углублений (интрузий) и выдавливания (экструзий) в металле. Одно из объяснений наблюдаемого явления может быть связано с развитием зернограничного проскальзывания в металле [5], хотя при наблюдаемых

скоростях и величинах пластической деформации на поверхности катания колеса предлагаемый механизм маловероятен [3]. Как следует из литературы [4], области с локально выдавленным металлом и сформированной впадиной могут рассматриваться как потенциальные места зарождения трещин усталостного характера. Действительно, впадина (интрузия) на поверхности катания после изменения знака нагружения может временно захлопнуться, однако при этом залечивания металла, подобно наблюдаемым явлениям при нагреве до высоких температур [3], ожидать не следует. Обусловлено это недостаточной скоростью диффузионного массопереноса при температурах окружающей среды и определенным рельефом берегов интрузии. Следовательно, при последующем цикле нагружения затрачиваемая энергия уже не должна расходоваться на формирование впадины, а будет только способствовать ее проростанию в глубь металла. Таким образом, появление интрузии может расцениваться как начальный этап зарождения усталостной трещины. Более того, учитывая ее выход на поверхность катания, следует ожидать дополнительного стимула росту интрузии от абсорционных явлений [1].

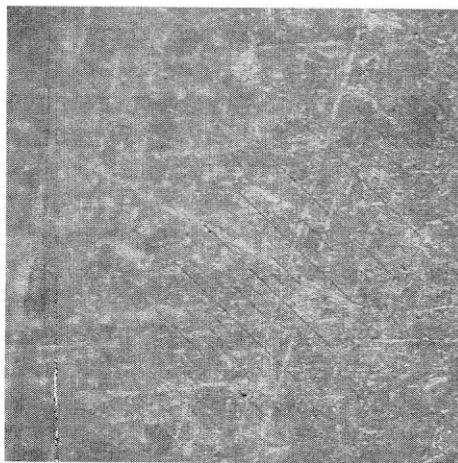


Рис. 1. Свидетельства элементарных сдвигов в приповерхностном слое обода колеса.
Увеличение 250

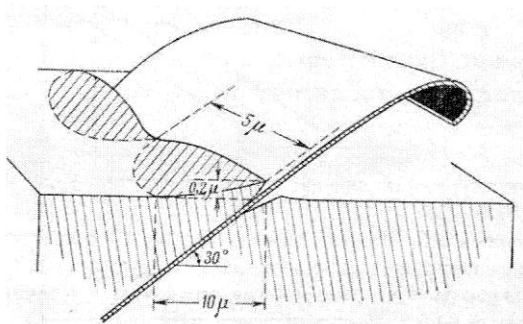


Рис. 2. Схема формирования экструзии

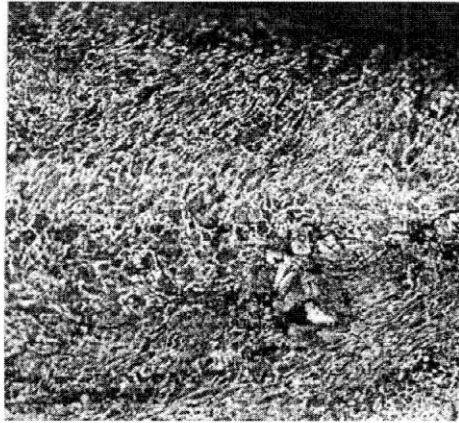


Рис. 3. Строение профиля поверхности катания железнодорожного колеса после эксплуатации. Увеличение 100

Выход на поверхность катания выдавленных объемов металла (рис. 2), по характеру своего поведения несколько отличается от формирования интрузий. Обусловлено это тем, что выдавленный объем не может быть полностью возвращенным на свое первоначальное место, как до формирования экструзии, хотя бы по причине развития процессов деформационного упрочнения и перераспределения дефектов внутреннего строения металла [3]. Более того, при последующем цикле нагружения (качении колеса), выдавленный объем или хотя бы его часть, должны неизбежно подвергнуться значительной пластической деформации. На основании этого, наблюдаемые поверхностные изменения в металле колеса при циклическом нагружении будут иметь только накопительный характер. В процессе эксплуатации железнодорожных колес, поверхностные изменения в виде экструзий и интрузий способны выполнять роль очагов формирования повреждений усталостного характера.

Выводы

Элементарные сдвиги в приповерхностных объемах обода колеса при его качении приводят к возникновению экструзий и интрузий металла.

Формирование повреждений на поверхности катания является результатом суммарного влияния процессов упрочнения и разупрочнения на объемы металла с экструзиями и интрузиями.

Литература

1. Вакулenco I.O.: Структурний аналіз в матеріалознавстві, Вид. «Маковецький Ю.В.», Дніпропетровськ 2010, с. 124.
2. Акуленко Л.И., Анофриев В.Г.: Повреждаемость при эксплуатации катаных железнодорожных колес повышенной прочности. «Вісник» ДНУЗТ, 2012, вип. 40, с. 231÷234.
3. Вакулenco И.А., Большаков В.И.: Морфология структуры и деформационное упрочнение стали, Изд. «Маковецький Ю.В.», Днепропетровск 2008, с. 196.
4. Трошенко В.Т.: Усталость и неупругость металлов [Текст], В.Т. Трошенко, К.: Наковадумка, 1971, с. 267.
5. Грабский М.В.: Структурная сверхпластичность металлов, М.: Металлургия, 1975, с. 272.