

УДК 669.4.027.4:669.14.018.294

**ВЛИЯНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА УПРОЧНЕНИЕ
МАТРИЦЫ МЕТАЛЛА ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ**

Л. И. Вакуленко, О. А. Чайковский*, к. т. н., доц.,

С. В. Пройдак**, к. т. н., доц.

Управление Приднепровской железной дороги

**ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры»*

***Днепропетровский национальный университет железнодорожного
транспорта имени академика В. Лазаряна*

Постановка проблемы

В условиях эксплуатации железнодорожных колес различной прочности наклеп металла является неизбежным результатом взаимодействия колеса и рельса. Указанное явление сопровождается не только изменением твердости металла, но и формированием достаточно неоднородного распределения самого наклепа на поверхности катания, в том числе вблизи с частицами неметаллических включений. Рассматривая зависимость уровня возникающих внутренних напряжений вблизи с неметаллическими включениями, при условии неизменности их формы, экспериментально обнаружили [1], что чем больше объем частицы, тем большие по величине должны возникать напряжения. С другой стороны, приведенное положение не может быть справедливым без учета природы самого включения. Как показано в ряде исследований [1; 2], различия в способности к термическому расширению металла и присутствующих в структуре неметаллических включений могут приводить к изменению не только величины остаточных напряжений, но и, достаточно часто, их знака [3]. Определить степень влияния от присутствия неметаллических включений можно, рассматривая соотношение объемов включения и матрицы металла, на который распространяется действие внутренних напряжений. На основании этого следует ожидать, что характер развития процессов упрочнения в объемах металлической матрицы вблизи с включением может объяснить механизм зарождения повреждений на поверхности катания железнодорожного колеса.

Цель работы

Целью работы являлась оценка упрочнения металлической матрицы вблизи с частицами неметаллических включений при пластическом деформировании углеродистой стали.

Материал и методика исследований

Материалом для исследования служила углеродистая сталь фрагмента железнодорожного колеса № 045642, с 0,57 % С, 0,66 % Mn, 0,32 % Si, 0,012 % P, 0,09 % S, 0,04 % Ni, 0,09 % Cr, 0,06 % Cu. Микроструктуру стали исследовали под световым микроскопом, определение микротвердости осуществляли с использованием прибора ПМТ-3, при нагрузке на индентор 10 г.

Изложение основного материала

В зависимости от направления распространения пластической деформации в приповерхностных объемах обода железнодорожного колеса возможна смена характера наклепа металлической матрицы от присутствия неметаллических включений [1; 2]. На основании этого количество и характер распределения включений, например, окислов внутри трещины, могут в значительной степени ускорять ее рост. Действительно, как показали замеры микротвердости, вдоль берегов сформированной на поверхности катания трещины наблюдается определенное чередование участков с повышенными и пониженными значениями (рис. 1). Анализ характера наклепа металлической матрицы вблизи окрестности трещины, заполненной окислами, подтверждает известные экспериментальные данные [1], из которых следует, что направление преимущественного роста трещины ориентировано в области матрицы металла с локально пониженными значениями твердости. С другой стороны, в случае ликвационных явлений, когда наблюдается локальное повышение твердости металла, либо когда частица расположена вблизи с поверхностью исследования структуры, следует ожидать блокирующего влияния на рост трещины. Примером такого влияния может быть рост трещины, представленный на рисунке 1. Так, устье трещины (т. 1) начинает раздваиваться при встрече с объемом металла, превышающим значения соседних участков: металл в этой точке имеет микротвердость 290 кг/мм^2 , с постепенным снижением значений до 214 кг/мм^2 в т. 4. С другой стороны, разветвленные части устья трещины направлены в сторону менее прочных объемов матрицы металла – к точкам 5 и 8, с соответствующими значениями твердости 189 и 178 кг/мм^2 . Указанные величины значительно ниже усредненной микротвердости металлической матрицы без включений (265 кг/мм^2). Таким образом, полученные результаты анализа распределения микротвердости вблизи с неметаллическими включениями не противоречат основному условию, по которому растущая трещина ориентируется в направлениях с локально пониженным сопротивлением ее росту [1; 2; 4].

На первый взгляд, к несколько неожиданным результатам можно отнести данные, которые получены для ответвлений (вторичных трещин) от другой части основной трещины (точки 6, 26 и 27), хотя и они имеют свое объяснение. Так, значение твердости в устье вторичной трещины, в т. 6, составляет 263 кг/мм^2 , что следует рассматривать как недостаточный стимул для ее роста. Подтверждением этому является относительно малая длина выросшего ответвления. С другой стороны, в точках 26 и 27, по сторонам вторичной трещины (рис.1), твердость составляет 142 и 188 кг/мм^2 соответственно, что значительно ниже твердости металлической матрицы для области без включений.

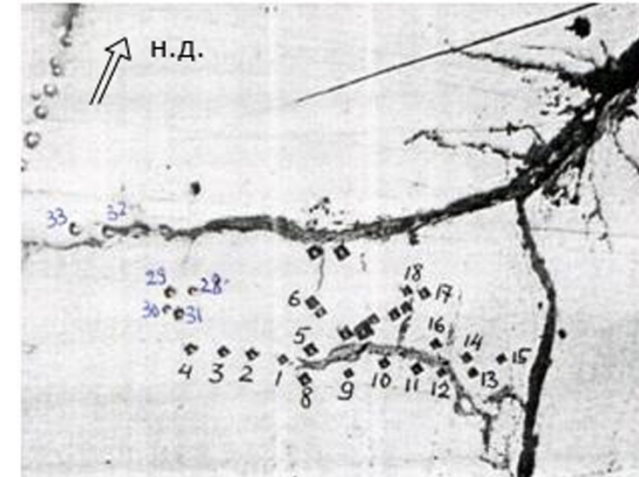


Рис. 1. Анализ характера распределения микротвердости в металле обода колеса № 045642 вблизи с растущей трещиной. Стрелка указывает направление пластической деформации. Увеличение $\times 250$

На основании этого можно полагать, что очагом зарождения указанной вторичной трещины являлся объем металла с локально низким значением твердости (заключенный между т. 26 и 27). Дальнейший рост от места формирования трещины продолжался до момента, пока не произошла встреча с расположенным на ее пути участком с повышенной твердостью (рис. 1). Нечто подобное наблюдается и для другой вторичной трещины, расположенной в области точек 28–31 (рис. 1). В этом случае направление роста также совпадает с локально низкими значениями твердости: точкам 29 и 31 соответствуют 199 и 123 кг/мм², при 429 (т. 28) и 315 кг/мм² (т. 30) (рис. 1). Известные экспериментальные данные [3] свидетельствуют, что в зависимости от структурного состояния металлической матрицы может наблюдаться смена механизма влияния неметаллического включения на ее свойства, приводящая к качественно различным последствиям. Полученные экспериментальные данные [5] по циклической трещиностойкости железнодорожных колес повышенной и высокой прочности могут рассматриваться как своего рода дополнительное подтверждение приведенных положений. Таким образом, исследование характера изменения микротвердости металлической матрицы вблизи с неметаллическим включением позволит объяснить механизм и оценить степень его влияния на состояние металлической матрицы.

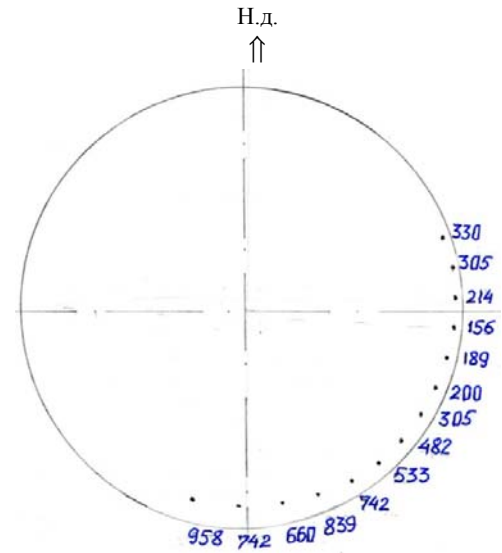
Для рассматриваемого случая железнодорожного колеса (рис. 1) можно с определенной уверенностью полагать, что тип неметаллических включений во внутренних объемах сформированной магистральной трещины в первом приближении остается неизменным. С другой стороны, в процессе наклепа

приповерхностных объемов обода железнодорожного колеса ориентация пластического течения может приводить к качественно различному влиянию неметаллических включений на сопротивление металлической матрицы зарождению и росту трещины. Действительно, для объемов металла вблизи с ответвлением от основной трещины точкам 9–16 соответствуют повышенные значения твердости, которые примерно на 30 % превышают твердость матрицы без включений (рис. 1). В соответствии с известными результатами [3; 6], можно полагать, что для рассматриваемого объема металла механизм влияния неметаллического включения на матрицу основан на взаимодействии вакансий с дислокациями. Об этом свидетельствует прирост твердости в окрестностях с включением. Однако возможная смена направления деформации вблизи с включением может привести к изменению условий коагуляции вакансий на дислокациях.

Обнаруженное распределение микротвердости в металлической матрице вблизи с включениями указывает на существование определенной тенденции: в результате развития деформации с перпендикулярным ориентированием относительно поверхности включения обнаруживается упрочняющий эффект. Качественно иной характер наблюдается от влияния деформации, ориентированной в направлении касательной к поверхности частицы (рис. 2 б).

Анализ характера изменения значений H_{μ} свидетельствует о существовании, по крайней мере, качественной зависимости от направления пластического течения металла. Максимальные значения микротвердости соответствуют областям металла, которые подвергаются действию нормальных деформаций относительно поверхности включения. Постепенное появление касательной составляющей деформации сопровождается снижением микротвердости металлической матрицы в окрестностях включения. В области максимальных касательных деформаций значения микротвердости снижаются до 156 кг/мм² (рис. 2 б), что примерно на 40 % ниже усредненного уровня твердости металла без включений.

Таким образом, циклическая смена напряжений в площади контакта колесо – рельс будет оказывать определенное влияние и на поле напряжений вокруг включения. В результате циклического характера перемещения дефектов внутреннего строения в окрестностях включения будет наблюдаться чередование эффектов упрочнения и разупрочнения металлической матрицы. Наблюдаемые структурные изменения в матрице металла должны способствовать ускорению процессов формирования повреждений на поверхности катания железнодорожного колеса.



$$H_{\mu}, \frac{\kappa^2}{\text{мм}^2}$$

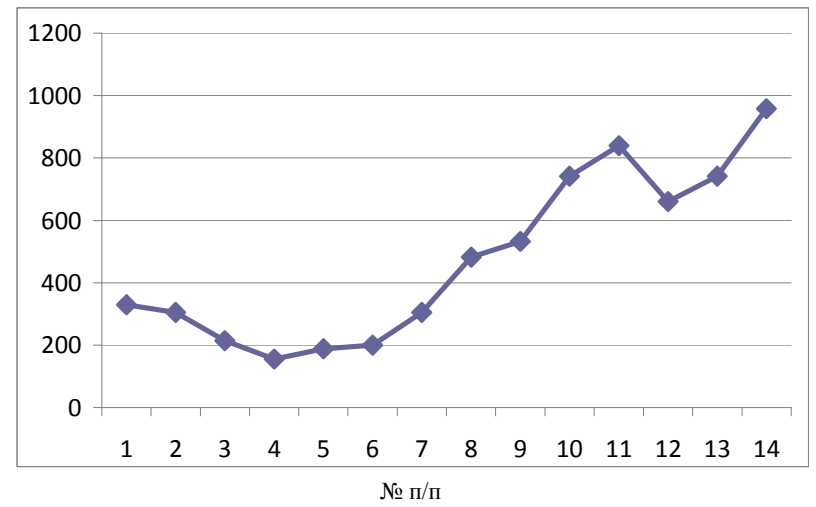


Рис. 2. Схема расположения отпечатков и значения микротвердости металла колеса № 045642 вблизи включения глобулярной формы и характер ее изменения от ориентации пластической деформации (Н.д.)

ВЫВОДЫ

1. В случае нормальной ориентации пластической деформации по отношению к поверхности неметаллического включения наблюдается эффект упрочнения металла.
2. Постепенное изменение направления действующего напряжения от нормального к касательному, относительно поверхности включения, сопровождается непрерывным увеличением эффекта разупрочнения в окружающих (с частицей) объемах металла.

Литература

1. Куслицкий А. Б. Неметаллические включения и усталость стали / А. Б. Куслицкий // К. : Техніка, 1976. – 128 с.
2. Губенко С. И. Неметаллические включения в стали / С. И. Губенко, В. В. Парусов, И. В. Деревянченко // Дн-вск : АРТ-ПРЕСС, 2005. – 310 с.
3. Финкель В. М. Неметаллические включения и прочность стали / В. М. Финкель, О. П. Есина, В. А. Зрайченко // Доклады Академии наук СССР. – М., 1968. – Т. 183. – № 3. – С. 576–579.
4. Мямлін С. В. Умови формування ушкоджень по поверхні кочення залізничних коліс і бандажів / С. В. Мямлін, Л. І. Вакуленко // Тез. докл. 71-й Міжнарод. науч.-практ. конф. «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту». – Дн-вск, 2011. – С. 367–368.
5. Андрейко І. М. Дослідження пошкоджуваності поверхні кочення залізничних коліс / І. М. Андрейко, В. В. Кулік, В. І. Прокопець. – М. : Машиноведение, 2011. – № 2. – С. 30–33.
6. Вакуленко Л. И. Структурные изменения в металле железнодорожных колес при эксплуатации / Л. И. Вакуленко, Н. Н. Грищенко // Зб. тез IX Міжнар. молод. наук.-практ. конф. «Людина і космос». – Дн-вск, 2007. – С. 356.