

Е.А. Борисова, В.В. Зелинский
Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых»
602264, Муром, Владимирская область, ул. Орловская, 23, тел. (49234) 77282
E-mail: center@mivlgu.ru

Повышение надежности трибосистемы колесо-рельс

Одной из наиболее сложных и дорогостоящих проблем на железнодорожном транспорте является изнашивание гребней колес и боковой поверхности головки рельсов в результате изнашивания при схватывании (боковой износ). Проблема резко обострилась с начала 1990-х годов в связи с приближением удельного тоннажа грузоперевозок к мировым стандартам. В особой мере это касается деталей стрелочных переводов, тем более на закруглениях пути. По данным ВНИИЖТ [1], такие направления решения проблемы бокового износа колес и рельсов как лубрификация, улучшение качества монтажа пути, плазменная закалка не дали существенных результатов.

Изнашивание при схватывании (ГОСТ 27674-88) происходит в результате схватывания на микроучастках сопряженных поверхностей с последующим вырывом или срезом материала, переносом его с одной поверхности на другую и воздействия возникших неровностей на сопряженную поверхность. Такой вид изнашивания свойственен режущим и деформирующим инструментам при металлообработке, системе «колесо-рельс» подвижного состава железных дорог, системе «ролик-рельс» у железнодорожных путевых машин, взаимодействию рабочих органов горных и дорожных машин и др. Во всех перечисленных случаях взаимодействующие поверхности образуют трибосистемы «сталь-сталь». Одним из методов повышения износостойкости таких трибосистем является создание на поверхностях изнашивания особого энергетического состояния наноструктурных элементов кристаллической решетки металла за счет воздействия магнитным полем. К настоящему времени окончательно сформирована адгезионная теория схватывания, которая благодаря работам А.П. Семенова, С.Б. Айнбиндера, Н.А. Буше, И.В. Крагельского и других стала общепризнанной. Основные положения адгезионной теории схватывания сводятся к следующему [2].

1. Большинство металлов образуют прочные соединения при соприкосновении чистых (ювенильных) поверхностей. При схватывании происходит выделение энергии. В реальных условиях схватыванию препятствуют поверхностные пленки.

2. Ювенильные поверхности образуются в результате сдвига соприкасающихся неровностей в местах действительного контакта, площадь которых может составлять лишь доли процента от номинальной площади. При этом возникают мостики холодной сварки (адгезионные мостики).

3. В ряде условий (наклеп, стеснение пластических деформаций, наличие твердых интерметаллидов и др.) сдвиг происходит не по границе раздела, а по менее прочному материалу и сопровождается переносом материала.

4. Существует критическая пластическая деформация, при которой создается критическая плотность адгезионных мостиков, что приводит к множественному схватыванию, образованию адгезионного шва.

Приведенным положениям соответствуют результаты исследований адгезионного изнашивания трущихся сопряжений, приведенные во многих публикациях по трибологии, основные выводы из которых могут быть сформулированы в терминах относительной прочности адгезионного соединения, формируемого в процессе скольжения [3]:

- если соединение более слабое, чем прочность какого-либо из металлов, тогда оно срезается по границе раздела между металлами,
- если соединение более слабое, чем прочность одного из металлов, но прочнее другого, тогда срез происходит по более мягкому металлу и продукты изнашивания остаются на поверхности твердого металла,

• если соединение прочнее каждого из металлов, то срезаются оба металла и повреждаются обе поверхности.

С учетом первостепенной роли пластической деформации в адгезионной теории схватывания заслуживает внимания концепция английской трибологической школы, в соответствии с которой начало схватывания определяется экспериментальной зависимостью, положенной в основу модели схватывания [3]

$$q^2 + \alpha \tau^2 = k^2, \quad (1)$$

где q - нормальное давление на микронеровностях, τ - касательное напряжение, α - постоянный коэффициент, k - константа текучести менее прочного из материалов.

В соответствии с современной (и самой поздней) интерпретацией адгезионного изнашивания [2] разрыв образовавшейся связи происходит по плоскостям максимальных касательных напряжений τ_{max} (линиям скольжения), проходящим по телу микровыступов. Линии скольжения не совпадают с адгезионным швом. При сдвиге зона пластически деформированных материалов сопряженных поверхностей несколько затормаживается и локализуется в линзообразной области. При продолжении сдвига в образовавшемся адгезионном соединении разноименных материалов происходит смещение линий скольжения к адгезионному шву. Поэтому, если один или оба материала вблизи адгезионного шва не испытывают всестороннего сжатия и имеют возможность перемещаться, заторможенная область стягивается в компактный узел, ограниченный линиями максимальных касательных напряжений, и приобретает вращательное движение. При этом возникший конгломеративный микрообъем утрачивает связь с основными материалами и превращается в частицу износа.

В ранее выполненных авторами исследованиях [4, 5] выдвинута гипотеза о противoadгезионной природе влияния магнитного поля на величину износа. В соответствии с теорией квантовомеханического строения атома внешнее магнитное поле изменяет энергетическое состояние молекулярных орбиталей взаимодействующих кристаллических решеток. При снятии поля остаточная намагниченность вместе с энергией фрикционных явлений поддерживает внесенные энергетические изменения. Созданная электронная система оказывается менее способной к образованию прочных адгезионных связей за счет взаимодействия валентных электронов. Определяющая роль взаимодействия этих электронов в условиях магнитного возмущения состоит в том, что они влияют не только на новое энергетическое состояние новообразованной электронной конфигурации в мостике схватывания, созданной в соответствии с квантовыми закономерностями, но и на силу и дальность действия сил химической связи в этой новой наноструктуре. В результате прочность адгезионных мостиков может быть уменьшенной.

Таким образом, в соответствии с изложенной моделью образования вещества очага схватывания при магнитном воздействии износостойкость трибосистемы колесо-рельс может быть существенно повышена за счет предварительной магнитной обработки.

Экспериментальная оценка коэффициента трения и интенсивности изнашивания базовых и намагниченных образцов рельсовой стали показала, что результаты вполне соответствуют выводам теоретического моделирования.

Литература

1. Марков Д.П. Трибология и ее применение на железнодорожном транспорте / Труды ВНИИЖТ.- М.: Интекст, 2007.- 408 с.
2. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе.- М.: Машиностроение, 2003.- 576 с.
3. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. Ч.2. М.: Машиностроение, 1968.- 544 с.
4. Зелинский В.В., Борисова Е.А. Опытная оценка влияния магнитной обработки на износостойкость инструментальных сталей // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, № 3 (17), 2013,- С. 55-60.
5. Зелинский В.В. Борисова Е.А. Установление преобладающих видов и причин изнашивания режущих инструментов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, № 2(12), 2012, с. 55-60.