

В этом сечении деформации от действия боковой (рамной) силы можно также исключить за счёт наклейки тензорезисторов с разных краёв в местах, где деформации одинаковые по величине и разные по знаку.

Также статические исследования показали, что «чувствительность» схемы, наклеенной в этом сечении, к вертикальным нагрузкам значительно больше, чем у схемы, приведённой в ГОСТ 33788.

Была проведена апробация наклеенных схем измерения на ходовых динамических испытаниях вагона. Также был проведён анализ данных, полученных при апробации.

Таким образом, в результате исследований разработан метод практического определения мест наклейки тензорезисторов для измерения коэффициента динамической добавки необресоренных частей двухосной тележки грузового вагона, нечувствительных к действию продольных и боковых (рамных) сил.

#### Список литературы

- 1 ГОСТ 33211–2014 Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – М. : Стандартинформ, 2016.
- 2 ГОСТ 33788–2016 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества. – М. : Стандартинформ, 2016.
- 3 Анисимов, П. С. Испытания вагонов : [монография] / П. С. Анисимов. – М. : Маршрут, 2004. – 197 с.
- 4 Вериго, М. Ф. Динамика вагонов. Конспект лекций / М. Ф. Вериго. – М. : Типография ВЗИИТа, 1971. – 173 с.

УДК 621.891:629.4.077–592.59

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ РЫЧАЖНОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ НАПЛАВКОЙ

*П. Н. БОГДАНОВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

*М. Н. ДАЛИДОВСКАЯ*

*Локомотивное депо Барановичи Белорусской железной дороги*

Одним из основных факторов, влияющих на безопасность движения подвижного состава, является износ сопрягаемых элементов рычажной тормозной системы вагонов. Замена изношенных элементов новыми оказалась экономически нецелесообразной, поэтому осуществляется их восстановление наплавкой [1]. К настоящему времени разработан ряд наплавочных материалов, однако их фрикционные характеристики слабо изучены, что затрудняет выбор рационального сочетания этих материалов в указанных трибосопряжениях. В этой связи представляют интерес исследования влияния режимов нагружения на трение и изнашивание наиболее часто применяемых наплавочных материалов в условиях, близких к эксплуатационным.

Триботехнические испытания наплавочных материалов проводились на машине трения СМТ-1 по схеме «вращающийся ролик – неподвижный частичный вкладыш», позволяющей достаточно полно моделировать работу узлов трения рычажной тормозной системы. Стальной ролик представлял собой цилиндр наружным диаметром 34 мм и высотой 9 мм, а вкладыш – сегмент, вырезанный из кольца высотой 9 мм, внутренним диаметром 46 мм и наружным – 60 мм. На наружной цилиндрической поверхности ролика и внутренней поверхности вкладыша формировался слой наплавочного материала (сварочная проволока Св-08Г2С-О, электроды Виршилд Мi(e), Ластек 27, Булат-1) толщиной 3 мм. Площадь фрикционного контакта сопряжения «ролик – частичный вкладыш» составляла  $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ . Испытания проводились при скорости скольжения  $v = 0,25 \text{ м/с}$  и разовой смазке рабочих поверхностей пластичным смазочным материалом марки Солидол Ж. Контактное давление  $p$  изменялось в интервале 6–45 МПа. Твердость наплавочных материалов определялись на твердомере ТК-2М, а потеря массы образцов в результате изнашивания – на весах ВЛТ-1.

Установлено, что увеличение контактного давления сопровождается монотонным ростом линейной интенсивности изнашивания  $I_{\text{л}}$  всех исследуемых наплавочных материалов (рисунок 1, а). Это обусловлено влиянием ряда факторов. Основным из них является то, что увеличение  $p$  приводит к уменьшению толщины граничного слоя смазочного материала и повышению числа и размеров пятен фактического контакта выступов поверхностей трения сопрягаемых деталей. При этом возрастает вероятность вступления в контакт непосредственно металлов и образования мостиков сварки,

что является причиной возникновения адгезионного изнашивания деталей. Увеличивается также глубина внедрения выступов наклепанного материала контртела в изнашиваемый материал и контактные деформации поверхностного слоя металла, что приводит к его более интенсивному абразивному и усталостному изнашиванию, соответственно [2].

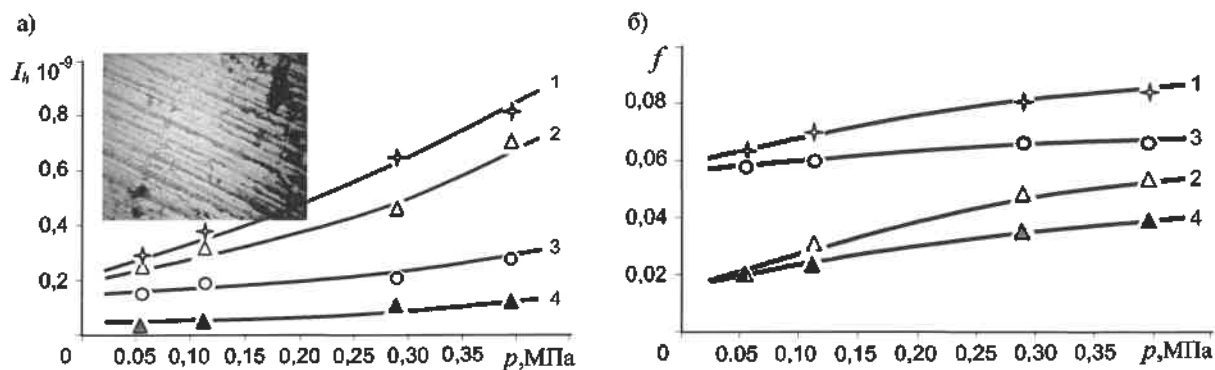


Рисунок 1 – Влияние контактного давления на линейную интенсивность изнашивания (а) и коэффициент трения (б) наплавочных материалов по Виршилд Мi(e): 1 – Св-08Г2С-О; 2 – Ластек 27; 3 – Виршилд Мi(e); 4 – Булат-1

Более интенсивный рост  $I_h$  в области высоких значений  $p$  связан с повышением температуры на локальных участках контакта, приводящим к снижению механических характеристик тонкого поверхностного слоя изнашиваемого материала [3, 4]. В итоге это сопровождается увеличением числа и площади пятен фактического касания и глубины внедрения выступов контртела, а также ростом адгезионного взаимодействия сопрягаемых металлов. Тот факт, что наплавочные материалы подвергаются абразивному, усталостному и адгезионному видам изнашивания, подтверждается наличием на изношенных поверхностях полос скольжения усталостных микротрещин, перпендикулярных вектору скорости скольжения, и следов адгезионного разрушения материала – углублений, форма которых напоминает полусферу (см. рисунок 1, а).

Снижение толщины граничного слоя, увеличение площади фактического контакта деталей и глубины внедрения выступов поверхностей сопрягаемых деталей являются причиной возрастания коэффициента трения при увеличении контактного давления (см. рисунок 1, б), способствующего повышению линейной интенсивности изнашивания.

Представленные на рисунке 1, а кривые зависимости  $I_h(p)$  свидетельствуют о том, что наименьшей износостойкостью обладает образец, восстановленный сварочной проволокой Св-08Г2С-О. Причина в том, что твердость данного материала (130–140 НВ) мала по сравнению с твердостью контртела – Виршилд Мi(e), которая соответствует 570 НВ. Вследствие этого достигаются большие площадь фактического контакта и глубина внедрения выступов контртела, что обеспечивает сравнительно высокие для смазываемого узла значения коэффициента трения по Виршилд Мi(e), приближающиеся к 0,08 (кривая 1 на рисунке 1, б), и приводит к интенсивному абразивному изнашиванию и росту контактных деформаций.

Наиболее износостойким из исследуемых металлов (кривая 4 на рисунке 1, а) оказался наплавочный материал Булат-1, обладающий высокой твердостью (600 НВ). Одна из основных причин в том, что Булат-1 содержит наибольшее из исследуемых материалов количество марганца – 2,7–2,8 мас. %, являющегося основным аустенитообразующим элементом. При трении материал вершин выступов испытывает многократные пластические деформации, в результате чего марганцевый аустенит подвергается существенному деформационному упрочнению. Такого рода наклеп в процессе трения значительно повышает сопротивление металла усталостному и абразивному изнашиванию.

Сравнительно низким сопротивлением изнашиванию обладают материалы Виршилд Мi(e) и Ластек 27, содержащие только около 0,4 мас. % марганца (кривые 2 и 3 на рисунке 1, а). Неожиданно низкой оказалась износостойкость слоя, наплавленного электродом Ластек 27, в состав которого входит 9,8 мас. % хрома (кривая 2 на рисунке 1, а). Так, известно, что хром образует износостойкие карбиды, которые повышают в целом сопротивление сталей абразивному изнашиванию. Более низкая износостойкость Ластека 27 (в 1,5–2,5 раза ниже, чем материала Виршилд Мi(e)), по-видимому, может быть связана с высокой хрупкостью карбидов хрома. Возможно, при фрикционном взаимо-

действии с высокотвердым материалом контртела карбиды хрома легко хрупко разрушаются с образованием микротрещин усталости, что в целом существенно снижает сопротивление наплавленного слоя изнашиванию.

Таким образом, установлено, что при восстановлении изношенных элементов рычажной тормозной системы грузовых вагонов целесообразно осуществлять наплавку электродами Булат-1, что позволит обеспечить высокую долговечность узла трения при обедненной разовой смазке. Повышение контактной нагрузки сопровождается ростом коэффициента трения и интенсивности изнашивания наплавочных материалов. Восстановленные наплавкой элементы тормозной системы подвергаются абразивному, усталостному и адгезионному видам изнашивания.

#### Список литературы

- 1 Рябцев, И. А. Наплавка деталей машин и механизмов / И. А. Рябцев. – М. : Машиностроение, 2004. – 160 с.
- 2 Богданович, П. Н. Трение, смазка и износ в машинах / П. Н. Богданович, В. Я. Прушак, С. П. Богданович. – Минск : Техналогія, 2011. – 528 с.
- 3 Богданович, П. Н. Тепловые процессы в зоне контакта трущихся тел / П. Н. Богданович, В. М. Белов, П. В. Сысоев // Трение и износ. – 1992. – Т. 13. № 4. – С. 624–632.
- 4 Bogdanovich, P. N. Polymer Fatigue / P. N. Bogdanovich, D. V. Tkachuk // Encyclopedia of Tribology, 2013. – P. 2578–2585.

УДК 629.4

### ИСПЫТАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА. ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ

*К. Р. БОЙКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Испытание и исследование работы энергетических систем, в том числе тягового привода является одной из сложных задач при работе с тяговым подвижным составом. Данная задача многократно усложняется при работе с моторвагонным подвижным составом.

В энергетических исследованиях необходимо одновременно получать массив данных с различных видов первичных преобразователей, таких как акселерометры; преобразователи тока и напряжения; датчики скорости, крутящего момента, температуры, силы и другие. Следует уточнить, что тип и количество необходимых датчиков зависит от поставленной задачи и может быть от нескольких десятков до нескольких сотен. Количество необходимых датчиков в первую очередь определяется конкретной целью, поставленной заказчиком.

В основном, целью испытательных лабораторий и центров является проведение испытаний для подтверждения соответствия энергетической установки или тягового привода совместно системами управления и контроля требованиям безопасности посредством применения стандартизированной методики. Такими испытаниями являются: измерение температуры нагрева элементов; проверка работы оборудования в номинальных и граничных условиях; проверка восстановления работоспособности после аварийных режимов; проверка величин ускорения и замедления и др.

При проведении научно-исследовательских работ массив измеряемых величин и данных значительно возрастает, что связано с необходимостью сопоставления полного объема данных и получения двумерных, а зачастую и многомерных зависимостей. Например, нельзя говорить о работе тягового привода только по зависимости силы тяги от скорости движения (тяговой характеристики локомотива), необходимо учитывать режимы движения, протекающие токи, величину и качество напряжения, температуру элементов привода и другие факторы.

Если точно выполнять требования стандартов в области метрологии, стандартизации и единства измерений, такая многофакторная задача является почти не выполнимой из-за грандиозных материальных затрат. По требованиям упомянутых стандартов каждый первичный датчик должен быть откалиброван, измерительные системы тоже должны иметь свидетельства о калибровке или как минимум поверке. А что делать, если эти измерительные системы необходимо постоянно переконфигурировать, добавлять первичные преобразователи, изменять длину проводов и т. д.?

Далеко не каждый производитель продукции сможет в полной мере компенсировать такие затраты испытательного центра или лаборатории особенно если эта продукция штучная или мелкосерийная. В этом случае расходы за испытания ложатся на себестоимость продукции и, как следствие, на покупателя, что делает инновационную продукцию неконкурентоспособной.