

еще и дополнительное скольжение к моменту набегания. Угол набегания гребня колеса на рельс зависит от зазора между гребнем колеса и рабочей гранью головки рельса и непараллельности осей колесных пар, вызванной наличием зазора между буксой и боковой челюстью боковины, и определяется как их сумма. Сход порожнего вагона с рельсов произойдет, когда углы набегания больше допустимых. Допустимые углы набегания рассчитываются согласно нормативам пути и подвижного состава, но без учета допустимых отклонений в содержании вагона (таблица 1). Перекос кузова вагона возможен из-за разницы зазоров в скользунах, разницы высоты рессорного подвешивания и т. д.

Таблица 1 – Углы набегания колеса на рельс на рассмотренных участках схода порожних вагонов

Угол набегания, рад	Радиус кривой R, м				
	583	641	1033	1180	1309
Допустимый	0,074	0,067	0,0815	0,0714	0,052
Колеса на рельс	0,0221	0,017	0,022	0,0225	0,019

Анализируя данные, полученные по результатам расчета угла набегания, можно сделать вывод, что углы набегания не опасны для движения поездов при условии технически исправного состояния железнодорожного пути и вагонов.

Список литературы

- 1 Буйносов, А. П. Взаимодействие колеса и рельса / А. П. Буйносов // Путь и путевое хозяйство. – 1999. – № 5. – С. 22–25.
- 2 Леоненко, Е. Г. Техническая эксплуатация железных дорог и безопасность движения : учеб. пособие / Е. Г. Леоненко. – М., 2017. – 221 с.
- 3 Медель В. Б. Взаимодействие электровоза и пути / В. Б. Медель. – М. : Трансжелдориздат, 1956. – 336 с.

УДК 665.76:543.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СМАЗЫВАЕМЫХ ПАР ТРЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ К ЗАДИРУ ЗА СЧЕТ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ПРОДУКТАМИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ТВЕРДОФАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ

С. Д. ЛЕЩИК, Н. П. РУСАК, Ж. В. ЦАРИКОВИЧ, Н. К. ЛИСАЙ

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Республика Беларусь

Введение. В конструкции любой транспортной техники присутствуют пары трения. Надежность подвижного состава во многом зависит от долговечности узлов трения. Значительная часть из них работает в присутствии смазочных материалов. Условия работы смазочных материалов, например, моторных масел, зачастую весьма тяжелые. Масло обеспечивает не только уменьшение сил трения и износа деталей, но и отвод теплоты и продуктов изнашивания из зоны трения. От длительности периода, в течение которого масло сохраняет свои эксплуатационные характеристики, зависит и надежность техники. Одним из путей улучшения и длительного сохранения характеристик масел является модифицирование последних различными присадками, в том числе наноразмерными частицами [1–4].

Целью настоящей работы явилось исследование триботехнических характеристик пар трения, смазываемых моторным маслом, модифицированным наноразмерными частицами, которые были получены с использованием метода импульсной лазерной абляции твердофазных материалов в жидкости.

Материалы, методика и техника эксперимента. Частицы модификатора вводили в нефтяное моторное масло. Концентрация модификатора в масле составляла 0,01 г/дм³. В качестве модификатора моторного масла были использованы продукты импульсной лазерной абляции (ИЛА) графита, политетрафторэтилена (ПТФЭ), свинца и меди в жидкости. Получение наномодификатора методом

импульсной лазерной абляции производили следующим образом. Абляцию проводили излучением неодимового лазера LS-2147 с длиной волны 535 нм. Плотность мощности лазерного излучения в пятне на поверхности мишени составляла величину порядка 10^8 Вт/см². Длительность импульсов составляла 30 нс. В качестве жидкости использовали этанол. Схема установки и методика получения частиц путем проведения ИЛА твердофазных веществ в жидкой среде подробно изложена в литературе [5, 6]. В результате получали наносuspension – взвесь продуктов абляции в жидкости. При сушке наносuspension получали порошок, который вводили в моторное масло.

Размерные характеристики наночастиц, полученных для введения в моторное масло с помощью метода импульсной лазерной абляции оценивали с привлечением метода атомно-силовой микроскопии.

Испытания пары трения «сталь – сталь» на задиростойкость проводили в диапазоне скоростей скольжения от 1 м/с до 5 м/с при смазывании чистым и модифицированным маслом по схеме «вал – частичный вкладыш» в режиме граничного трения. Перед испытаниями вкладыш с номинальной площадью контакта 2 см² прирабатывали до появления следов трения по площади не менее 90 % от номинальной. Вал изготавливали из стали X12M с твердостью рабочей поверхности HRC = 60 и шероховатостью не более $R_a = 0,32$ мкм. Материал вкладыша – сталь 45. Удельная нагрузка задира определялась при скорости нагружения, равной 1 МПа/ч. Нагружение производилось дискретно с шагом 0,05 МПа. Нагрузку задира (критическую нагрузку) определяли по резкому возрастанию силы трения и температуры в зоне контактирования трущихся тел, после чего эксперимент прекращали.

Результаты. Установлено, что продукты ИЛА, вводимые в масло в качестве модификатора, преимущественно имеют размер до 100 нм с максимумом распределения частиц по размеру в области от 20 нм до 60 нм.

В таблице 1 приведены результаты экспериментальных исследований триботехнических характеристик пар трения, смазываемых исходными модифицированными высокодисперсными частицами масла. Триботехнические испытания показали следующее. Выявлено, что в парах трения, смазываемых маслом с добавлением наночастиц, полученных лазерной абляции графита, и работающих в режиме граничного трения, задир возникает при больших нагрузках, чем при смазывании чистым маслом. Увеличение задиростойкости по нагрузке не превышает значений в 10 %, что близко к погрешностям, характерным для триботехнических испытаний. Еще более выраженный эффект повышения задиростойкости получен при использовании в качестве модификатора продуктов абляции ПТФЭ. Введение в масло сочетания из двух модификаторов (продуктов абляции графита и ПТФЭ) синергического эффекта не принесло. Существенного влияния продуктов абляции свинца в составе масла на задиростойкость не выявлено. Наиболее существенный эффект получен при модифицировании масла частицами образовавшимися при абляции медной мишени.

Таблица 1 – Результаты триботехнических испытаний

Образец	Нагрузка задира, МПа, при скорости скольжения, м/с		
	1,0	2,2	5,0
Чистое масло	2,70	1,80	1,65
Чистое масло + продукты абляции свинца	2,70	1,85	1,65
Чистое масло + продукты абляции меди	3,25	2,20	1,90
Чистое масло + продукты абляции графита	2,80	1,95	1,80
Чистое масло + продукты абляции ПТФЭ	2,85	2,05	1,85
Чистое масло + продукты абляции графита + продукты абляции ПТФЭ	2,90	2,05	1,85

На основании полученных результатов можно предположить, что при наличии положительного эффекта действие модификаторов в узле пары трения сводится к увеличению фактической площади контакта и уменьшению контактных напряжений за счет формирования тончайших пленок на трущихся поверхностях. Это приводит к уменьшению вероятности разрыва масляной пленки и схватывания поверхностей.

Заключение. Выявлено, что в парах трения, смазываемых маслом с добавлением наночастиц, которые получены лазерной абляцией таких материалов, как графит, ПТФЭ, медь, и работающих в режиме граничного трения, задир возникает при больших нагрузках, чем при смазывании чистым маслом. Таким образом, в результате проведенных исследований показана возможность использования наночастиц, синтезированных с использованием метода ИЛА, в качестве модификатора моторных масел с целью повышения долговечности смазываемых этим маслом пар трения за счет увеличения сопротивляемости их задиру.

Список литературы

- 1 Поул, Ч. Нанотехнологии / Ч. Поул-мл., Ф. Оуэнс. – М. : Техносфера, 2006. – 336 с.
- 2 Гаркунов, Д. Н. Триботехника / Д. Н. Гаркунов. – М. : Изд-во МСХА, 2001. – 616 с.
- 3 Скиба, А. Ф. Характеристики используемых в узлах автомобилей технических жидких сред, модифицированных наноразмерными добавками / А. Ф. Скиба, А. И. Сидорчик, П. И. Шупан // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам II Междунар. науч. конф. молодых ученых (Гродно, 25 мая 2018 г.) ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: А. А. Скаскевич (отв. ред.) [и др.]. – Гродно, 2018. – С. 134–136.
- 4 Скиба, А. Ф. Модифицирование, используемых в узлах автомобилей, технических жидких сред наноразмерными добавками / А. Ф. Скиба, П. И. Шупан, В. В. Кузьмин // Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения : сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч. конф. молодых учёных (Гродно, 25–26 мая 2017 г.). – Гродно : ГрГУ им. Я. Купалы, 2017. – С. 148–150.
- 5 Лещик, С. Д. Исследование частиц, генерированных лазерной абляцией твердых тел в жидкости / С. Д. Лещик, К. Ф. Зноско, Ю. К. Калугин // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 4. – С. 6–10.
- 6 Синтез наночастиц методом лазерной абляции металлических материалов в жидкости в режиме наносекундных импульсов / С. Д. Лещик [и др.] // Весн. ГрДУ імя Я. Купалы. Сер. 6, Тэхніка. – 2016. – Т. 6. – № 2 (212). – С. 44–53.

УДК 625.42:629.4.015

ВЛИЯНИЕ СИЛЫ ТЯГИ И СКОРОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ КОЛЕСА ЛОКОМОТИВА НА ТЕМПЕРАТУРУ В ПЯТНЕ КОНТАКТА РЕЛЬСА И КОЛЕСА

Н. Н. ЛЯПУШКИН, А. А. ЧУЧИН, Е. В. АНДРИАНОВ
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Сила тяги и скольжение колеса по рельсу – причина повышения температуры в пятне контакта «колесо локомотива – рельс».

Найдем температуру в зоне контакта. При этом рассмотрим движение колеса по рельсу с продольным крипом и скоростью качения. В этом случае точки поверхности соприкосновения рельса и скользящего колеса являются источниками тепла, частично поступающего в рельс и повышающего температуру поверхностных слоев рельса. Время поступления тепла в точки, расположенные в рельсе на площадке контакта равно времени перемещения колеса на величину продольной оси контакта.

Выделенное тепло идет на нагревание поверхности бандажа и рельса. Теоретическим обоснованием тепла, выделявшегося на поверхность пятна контакта, колеса с рельсом, является теория дислокационно-пластической деформации.

На основании теории дислокационно-пластической деформации достигнуты успехи в технологии сварки металлов трением, на основании теоретических и экспериментальных достижений физики металлов.

В основе этой технологии лежит теоретически и экспериментально установленный факт образования активных центров на поверхности деталей при наличии нормального давления, действующего на них. Образование активных центров является результатом выхода дислокаций на поверхность деталей, вызванных нормальным давлением, что приводит к пластической деформации и движению дислокаций с выходом их на соприкасающиеся поверхности. Размер активных центров на соприкасающихся поверхностях составляет десятые и сотые доли миллиметра, и они устанавливают физическую связь между двумя соприкасающимися телами.

Пайрлс [2] оценил энергию активации обменного процесса (т. н. захват) – при объединении квазисвободных атомов на поверхности в $0,6–0,8$ Дж.

Примем, что энергия, выделяемая при выходе одной дислокации, равна $0,6$ Дж, тогда суммарная тепловая энергия, выделяемая в пятне контакта,

$$\Delta E = N_B N_3 \Delta E_i = 2,4 \cdot 10^{15} \text{ Дж.} \quad (1)$$

Как отмечалось ранее, большая часть этой энергии распространяется внутрь рельса. Примем, что $0,01$ % от этой энергии идет на выделение тепла при движении колеса локомотива по рельсу в пятне контакта.