

Для кривых больших радиусов характерна большая зависимость от возвышения наружного рельса ввиду малой центробежной силы, которая сопоставима или меньше центростремительной силы, обусловленной возвышением наружного рельса.

Можно сделать вывод, что чем больше зазор между колесом и рельсом и чем меньше возвышение наружного рельса, тем быстрее наступает положение свободной установки.

При увеличении зазора момент, вызывающий дополнительный разворот тележки внутрь кривой, становится меньше, тем самым снижается вероятность схода подвижной единицы. Исчезновению момента способствует увеличение зазора между внутренней гранью головки рельса и гребнем бандажа.

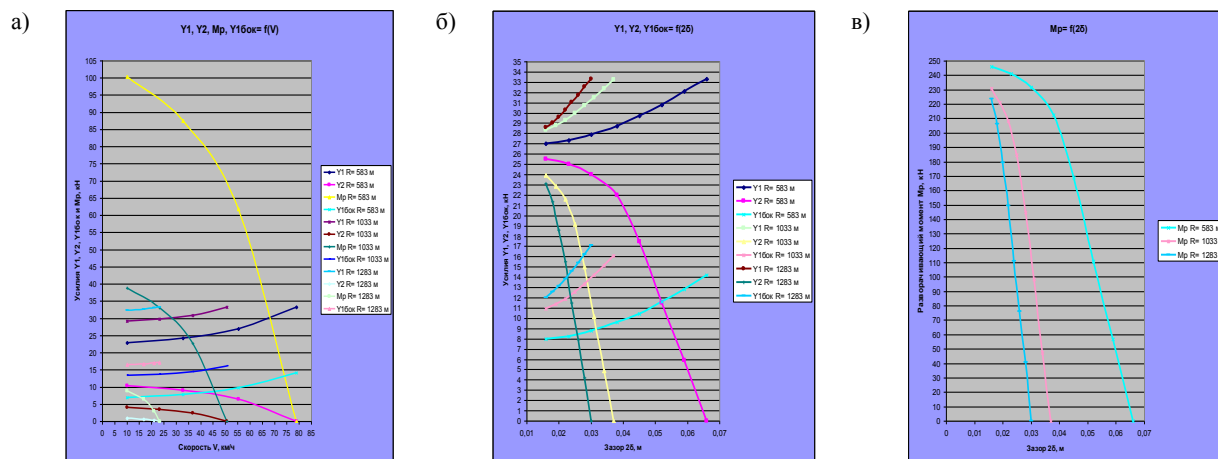


Рисунок 1 – Зависимости: а – усилий  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_{1\text{бок}}$  и  $M_r$  от скорости  $v$ ; б – усилий  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_{1\text{бок}}$  от зазора  $\delta$ ; в – разворачивающего момента  $M_r$  от зазора  $\delta$

Увеличение зазора между первой по ходу колесной парой и внутренней гранью головки рельса от 16 до 66,2 мм ведет к увеличению направляющих усилий  $Y_1$  от 27,03 кН до 33,3 кН при радиусе  $R = 583$  м, для порожнего вагона – в 1,23 раза. Значения направляющих усилий  $Y_2$  изменяются от 25,5 кН до 0 с увеличением в таких же пределах зазора; это означает, что подвижная единица быстрее переходит в положение свободной установки [2].

Как показали расчеты, численные значения поперечных горизонтальных усилий, действующие в плоскости контакта колес и рельсов малы и сами по себе никакой опасности при вписывании не представляют и схода вызвать не могут, даже при нахождении вагона в положении наибольшего перекаса. Значит, причину следует искать в соотношении сил давления в точке контакта колеса и рельса и горизонтальных поперечных усилий.

#### Список литературы

- 1 Леоненко, Е. Г. Взаимодействие пути и порожних грузовых вагонов при движении в прямых и кривых участках пути / Е. Г. Леоненко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 148–154.
- 2 Николаев, В. А. Причины схода порожнего подвижного состава на Красноярской и Восточно-Сибирской железных дорогах / В. А. Николаев, Е. П. Капустина, Е. Г. Леоненко // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – Екатеринбург. – 2019. – № 1 (41). – С. 47–53.
- 3 Леоненко, Е. Г. Анализ сходов порожних вагонов на Красноярской и Восточно-Сибирской железных дорогах / Е. Г. Леоненко // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте : труды XXII Межвузовской науч.-практ. конф. КРИЖТ ИрГУПС. – Красноярск : КРИЖТ, 2018. – С. 35–39.

УДК 621.3.035.138

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ, НА ОСНОВЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ХРОМА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОРАЗМЕРНЫМИ ПРОДУКТАМИ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ КРЕМНИЯ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

С. Д. ЛЕЩИК, А. С. ГОНЧАРОВ

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Республика Беларусь

**Введение.** Предельный износ многих деталей локомотивов (втулки цилиндры дизеля, поршни дизеля, плунжерные пары, посадочные поверхности валов и т. п.) составляют десятые и сотые доли

миллиметра. Большую эффективность при восстановлении подобных деталей дают гальванические покрытия, которые позволяют не только восстановить первоначальные размеры, но и значительно улучшить качество поверхности, увеличив ее износостойкость. Преимущества хромирования: высокая твердость покрытий, жаропрочность, низкий коэффициент трения и устойчивость к воздействию влажной атмосферы, большинства кислот и щелочей. Основные недостатки процесса хромирования: энергоемкость и малая производительность. Ввиду этого целесообразным представляется осаждение покрытий на основе хрома и ультрадисперсных частиц из нанозлектролитов. При этом возможно формирование композиционного покрытия с улучшенными эксплуатационными характеристиками [1, 2]. Это позволяет снизить толщину наносимого слоя и, соответственно, энергетические и временные производственные затраты. Однако не все дисперсные модификаторы способны внедриться в хромовую матрицу и упрочнить ее [2]. С микрочастицами композиционное покрытие зачастую не образуется [2]. Эффективность же наночастиц как модификатора более высокая. Нанозлектролит, приготовленный с добавлением порошка наночастиц, зачастую таковым не является, т. к. в процессе хранения частицы слеживаются и попадают в электролит в виде микроразмерных агрегатов. Перспективным представляется использование электролитов, приготовленных на основе воды, в которой и проходил синтез наночастиц. Метод импульсной лазерной абляции (ИЛА) твердофазных веществ в водной среде представляется в этом случае весьма привлекательным для получения наножидкостей и в последующем нанозлектролитов. Целью настоящей работы явилось исследование характеристик покрытий на основе гальванического хрома, осажденного из электролита, содержащего продукты ИЛА кремния в водной среде.

**Материалы, методика и техника эксперимента.** Электроосаждение хрома осуществляли на подложку из стали 45. Для получения нанозлектролита использовали дистиллированную воду, в которой проводили абляцию и содержащую, таким образом, наноразмерные и субмикронные частицы. Для получения модифицированных и контрольных образцов готовили электролит хромирования с использованием водной наносuspension и дистиллированной воды соответственно. Использовали рецептуру стандартного сульфатного электролита хромирования на основе шестивалентных соединений хрома следующего состава: ангидрид хромовый – 230–270 г/дм<sup>3</sup>, кислота серная – 2,3–2,7 г/дм<sup>3</sup>.

В качестве твердофазного полуфабриката для получения наночастиц в дистиллированной воде использовали кремний. Абляцию проводили излучением неодимового лазера LS-2147 с длиной волны 532 и 355 нм. Частота импульсов составляла от 1 до 10 Гц. Энергия в импульсе варьировалась от 15 до 120 мДж. Длительность импульсов составляла 30 нс (16 нс на полувысоте импульса). Лазерное излучение фокусировалось на мишень, находящуюся под слоем жидкости, в пятно диаметром до 0,5 мм.

Контроль маслосъемности покрытий проводили методом, основанным на определении количества масла, адсорбированного покрытием. Образцы с нанесенным покрытием промывали в ацетоне и сушили при температуре 60 °С. Затем образцы взвешивали на аналитических весах, погружали в масло, нагретое до температуры 130 °С, и выдерживали в нем до остывания до комнатной температуры. После этого образцы извлекали, удаляли избыток масла и взвешивали повторно.

Триботехнические испытания проводили по схеме «вал-частичный вкладыш». На вкладыш из стали 45 наносили покрытие при режимах износостойкого хромирования. Вал изготавливали из закаленной стали X12M.

**Результаты.** Ранее установлено, что продукты ИЛА кремния в воде преимущественно имеют размер до 100 нм с максимумом распределения частиц по размеру в области от 20 до 60 нм [3].

Данные измерений свидетельствуют об увеличении маслосъемности, г/см<sup>2</sup>, покрытий, осажденных из нанозлектролитов (таблица 1). Установлено, что увеличение температуры при хромировании способствует образованию покрытий с меньшей маслосъемностью.

Таблица 1 – Значения маслосъемности ( $M \cdot 10^{-5}$ ) хромовых покрытий

Катодная плотность тока хромирования $I$ , А/дм <sup>2</sup>	Осаждение из стандартного электролита при температуре, °С				Осаждение из нанозлектролита при температуре, °С			
	45	50	55	60	40	50	55	60
30	1,4	1,5	1,3	1,2	1,6	1,6	1,5	1,4
40	1,6	1,6	1,4	1,2	1,8	1,7	1,6	1,4
50	1,4	1,4	1,2	1,1	1,6	1,7	1,5	1,2

Отличительная особенность хромовых покрытий – низкая смачиваемость и плохое удержание жидкого смазочного материала на поверхности. В реальных же условиях эксплуатации хромированным поверхностям приходится работать в условиях недостаточной подачи смазочного материала (граничное трение) или без него (сухое трение) в период пуска и остановки узлов, кратковременного нарушения в режиме работы смазочной системы, аварийной ситуации. В таких условиях на первое место выходит задиростойкость пары трения. В ходе исследований были выполнены испытания покрытий на задиростойкость. 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. Данные по задиростойкости для исследованных материалов показали преимущество покрытия, полученного из нанозлектролита в сравнении со стандартным гальваническим покрытием, осажденным в идентичных режимах хромирования. Данные триботехнических испытаний образцов с хромовым покрытием из стандартного и нанозлектролитов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты триботехнических испытаний в условиях граничной смазки

В мегапаскалях

Покрытие	Нагрузка задира при скорости скольжения, м/с		
	1,0	2,0	4,0
Из стандартного электролита	2,00	1,85	1,70
Из нанозлектролита	2,50	2,30	2,05

Как можно видеть, наличие в электролите наноразмерных продуктов ИЛА кремния приводит к формированию хромовых покрытий, обладающих большей на 20–24 % стойкостью к задиру в режиме граничного трения в диапазоне скоростей скольжения от 1 до 4 м/с.

**Заключение.** Выявлено, что маслоемкость покрытий на основе хрома, электроосажденных из нанозлектролитов, выше, чем у покрытий, полученных при прочих равных условиях из стандартного электролита. Показано, что наличие в электролите наноразмерных продуктов ИЛА кремния приводит к формированию хромовых покрытий, обладающих большей стойкостью к задиру в режиме сухого и граничного трения.

#### Список литературы

- 1 Триботехнические характеристики композиционных многослойных покрытий / Е. В. Овчинников [и др.] // Трение и износ. – 2000. – Т. 21, № 2. – С. 147–157.
- 2 Сайфуллин, Р. С. Композиционные покрытия и материалы / Р. С. Сайфуллин. – М. : Химия, 1977. – 272 с.
- 3 Лещик, С. Д. Генерация наночастиц при взаимодействии импульсного лазерного излучения с твердофазными материалами в этаноле / С. Д. Лещик, П. И. Шупан, И. Г. Сергиенко // Взаимодействие излучений с твердым телом : материалы 11-й Междунар. конф. ВИТТ-2015, Минск, 23–25 сент. 2015 г. / редкол. : В. М. Анищик (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Изд. центр БГУ, 2015. – С. 322–324.

УДК 629.463.5

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ И ПРОЧНОСТИ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ КРЫТОГО ВАГОНА ПРИ ВЕДЕНИИ С НЕГО ОГНЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ

*А. А. ЛОВСКАЯ*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

*А. В. ФОМИН*

*Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина*

*Ю. В. ФОМИНА*

*Жилинский университет, Словакия*

Повышение эффективности использования и конкурентоспособности железнодорожного транспорта вызывает необходимость его привлечения к военно-стратегическим целям. Это обуславлива-