

В. П. ВЕЙКО, А. А. ПЕТРОВ, А. С. МАЗНЕВ, А. М. ЕВСТАФЬЕВ, А. А. КАЛИНИНА

## ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА РЕЛЬСОВОГО ПУТИ

Исследованы режимы лазерной очистки рельсового пути, показано, что коэффициент трения увеличивается на 30 %.

*Ключевые слова:* волоконный лазер, лазерная очистка, железная дорога.

**Введение.** При недостаточном сцеплении колес локомотива с рельсами, вызванном загрязнением поверхностей рельсов (измельченным песком, нефтепродуктами, опавшей листвой, обледенением), резко увеличивается расход электроэнергии, повышается износ поверхностей, могут возникнуть аварийные ситуации.

В настоящее время существует большое количество методов очистки рельсов — механическая, электроискровая, очистка с помощью воды под высоким давлением и др. Но существующие методы обладают рядом серьезных недостатков: возможны повреждения поверхности рельса, не все типы загрязнений могут быть удалены, не все методы могут быть использованы при отрицательных температурах. Оборудование имеет большие массогабаритные характеристики, поэтому подвижной состав не может быть им оснащен.

В последнее время в связи с появлением новых типов лазеров активно развиваются технологии лазерной очистки поверхностей от различных загрязнений [1, 2]. Одним из важнейших преимуществ лазерной очистки является минимальный дополнительный износ поверхностей. Впервые возможности лазера для очистки рабочей поверхности рельса были продемонстрированы в Великобритании [3], представленная система обладала значительными габаритами.

В настоящей работе исследуются возможности применения волоконного лазера для очистки рельса. Компактные системы на основе волоконных лазеров, обладающие низким энергопотреблением, могут быть установлены на любой тип локомотивов. Система может включаться автоматически либо по команде машиниста (ручное включение целесообразно при прохождении участков с заведомо ухудшенными условиями сцепления колеса с рельсом).

**Экспериментальные исследования.** Очистка проводилась с помощью экспериментальной установки на основе импульсного иттербиевого волоконного лазера, внешний вид которой приведен на рис. 1: 1 — коллиматор, 2 — лазерный излучатель и блок управления, 3 — система сканирования, 4 — объектив.

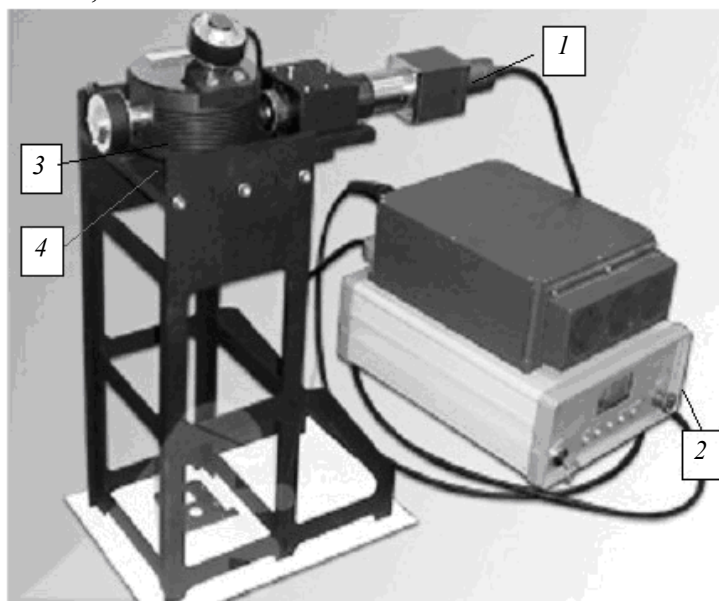


Рис. 1

Основные характеристики установки представлены ниже.

<b>Лазер</b>	
Тип .....	импульсный иттербиевый волоконный
Номинальная энергия в импульсе .....	1 мДж
Частота следования импульсов .....	50—100 кГц
Длина волны .....	1,06 мкм
Средняя номинальная выходная мощность .....	50 Вт
Длительность импульса .....	100 нс
<b>Сканатор</b>	
Область обработки .....	100×100 мм
Скорость перемещения пучка .....	10 м/с

Были проведены эксперименты по очистке поверхности рельсов от сухого и влажного грунта, машинного масла, смеси грунта с машинным маслом (толщина слоя до 1 мм). Органические загрязнения всех типов (листва, трава) были удалены. Неорганические включения в виде песка и мелких камней с поверхности рельса не удалялись, но при очистке комбинированного загрязнения в виде смеси машинного масла и песка масло было удалено. На рис. 2 представлен участок рельса с грунтово-масляным загрязнением до (а) и после (б) лазерной очистки.

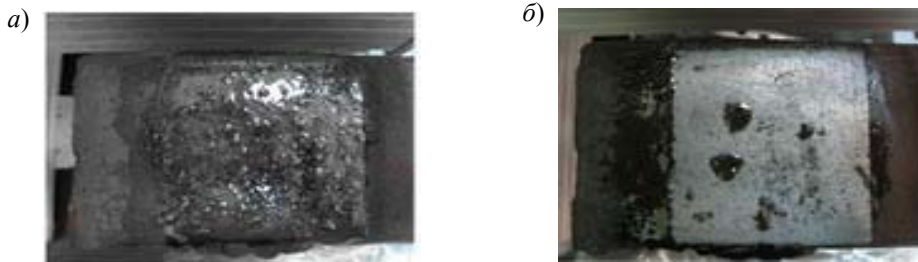


Рис. 2

Коэффициент трения  $\mu$  определялся по тангенсу угла наклона, при котором бандаж начинал скользить по рельсу с нанесенными на него различными образцами загрязнений. Результаты измерений представлены на рис. 3.

Для оценки влияния лазерного нагрева на обрабатываемый материал, была определена температура в зоне обработки с помощью тепловизионной камеры FLIR Titanium 520 M, и измерена твердость рельса до и после лазерной очистки по методу Бринелля [4]. При использовании мощности лазерного излучения 20 Вт твердость не изменялась, при 50 Вт она увеличивалась с 363 до 393 НВ.

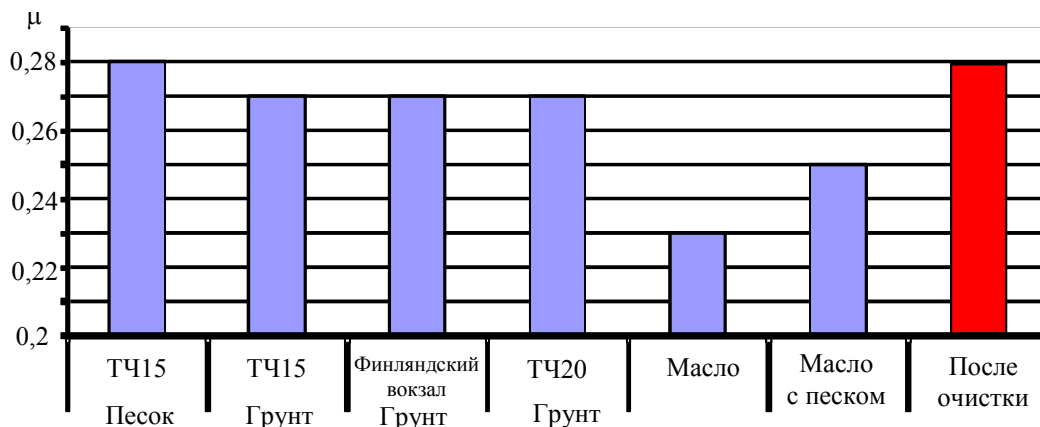


Рис. 3

Можно сделать вывод о том, что использование лазера для очистки поверхностей не оказывает существенного влияния на твердость материала.

**Расчет параметров режима лазерной обработки и производительности.** Для используемой лазерной установки был проведен расчет режимов обработки. Исходя из температуры нагрева поверхности, достаточной для эффективного удаления различных типов загрязнений, но не вызывающей структурных изменений в материале рельса ( $T = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), можно оценить необходимую плотность мощности, используя частный случай решения уравнения теплопроводности при  $r_0 \gg \sqrt{a\tau}$  [5]:

$$q = \frac{(T - T_n)k\sqrt{\pi}}{2(1 - R)\sqrt{a\tau}}$$

Здесь  $R$  — коэффициент отражения,  $k$  — теплопроводность. Пороговая плотность мощности составляет  $q = 1,6 \cdot 10^{10}$  Вт/м<sup>2</sup>. Для этой плотности мощности и указанных параметров лазерной установки диаметр пятна фокусировки  $r_0$  составляет 0,9 мм.

На основе полученных данных был проведен оценочный расчет производительности процесса лазерной очистки. В качестве исходных условий были приняты: указанные параметры лазерной установки, диаметр пятна фокусировки 0,9 мм, коэффициент перекрытия 5 %, ширина области обработки 60 мм. При данных условиях производительность установки составляет до 6 км/ч при сплошной обработке поверхности рельса. При использовании лазерного источника с частотой следования импульсов до 400 кГц и средней мощностью 200 Вт производительность может быть увеличена до 24 км/ч.

Повысить производительность процесса можно различными путями: увеличением энергии импульса и частоты следования импульсов лазера или уменьшением ширины обрабатываемой полосы.

**Заключение.** По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Лазерная очистка рельсов волоконным лазером со средней мощностью до 50 Вт эффективна для удаления различных типов загрязнений поверхности (грунт, нефтепродукты, органические загрязнения).

Тепловое воздействие при лазерной очистке не оказывает существенного влияния на материал. Температура в пределах области воздействия не превышает 370 °С, а средняя температура рабочей поверхности рельса менее 30 °С.

После лазерной очистки зафиксировано увеличение твердости поверхности на 30 НВ, полученное значение не является критическим и лежит в допустимых пределах изменения твердости рельсов.

Значение коэффициента трения после лазерной очистки увеличивается на 20—30 % по сравнению с исходным для всех типов загрязнений.

Теоретическая оценка показала, что на разработанной экспериментальной установке может быть достигнута производительность очистки до 6 км/ч. При увеличении мощности установки производительность может быть увеличена до 24 км/ч. Этот вывод требует проведения дополнительных экспериментальных исследований.

Работа поддержана государственным контрактом РФ № П968.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Daurelio G., Chita G., Cinquepalmi M.* Laser surface cleaning, de-rusting, de-painting and de-oxidizing // *Appl. Phys. A.* 1999. Vol. 69 [Suppl.]. P. 543—546.
2. *Chen X., Kwee T. J., Tan K. P., Choo Y. S., Hong M. H.* Laser cleaning of steel for paint removal // *Appl. Phys. A.* 2010. Vol. 101. P. 249—253.
3. *Ford R.* Laser railhead treatment shows promise // *Modern Railways.* 2002. Vol. 650, N 11. P. 16—18.
4. ГОСТ Р 51685-2000. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. Введ. 2001-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2001. 27 с.
5. *Вейко В. П., Метев С. М.* Лазерные технологии в микроэлектронике. София: Изд-во Болгарской АН, 1991.

#### Сведения об авторах

- Вадим Павлович Вейко** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра лазерных технологий и экологического приборостроения; зав. кафедрой; E-mail: veiko@lastech.ifmo.ru
- Андрей Анатольевич Петров** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра лазерных технологий и экологического приборостроения; E-mail: petrovandrey79@inbox.ru
- Александр Сергеевич Мазнев** — д-р техн. наук, профессор; Петербургский государственный университет путей сообщения, кафедра электрической тяги; E-mail: el\_tyaga@mail.ru
- Андрей Михайлович Евстафьев** — канд. техн. наук, доцент; Петербургский государственный университет путей сообщения, кафедра электрической тяги; E-mail: evstam@mail.ru
- Анна Андреевна Калинина** — Петербургский государственный университет путей сообщения, кафедра электрической тяги; ассистент; E-mail: anya-c@mail.ru

Рекомендована программным комитетом Конференции

Поступила в редакцию 08.09.10 г.