

организацию работ по текущему содержанию, особенно когда группы шпал В75 размещены между более короткими. Отмеченный недостаток шпал В75 и объясняет их использование только на двух опытных участках в Германии.

Шпала В320 при длине 2,6 м имеет площадь опирания на 11 % меньшую, чем В75. Соответственно результирующее давление на балласт выше на 10 %.

Шпала В01 представляет интерес потому, что используемое скрепление повышает ее экономичность. Она имеет такую же площадь опорной поверхности, как В320, но скрепление W21 T1000 характеризуется жесткостью 40 кН/мм по сравнению с 22,5 кН/мм у применяемого со шпалой В320 скрепления Ioarv

300-1. Результирующее давление соответственно на 20 % выше, чем у шпалы В75.

Шпалы В90 и В70 уложены с рельсовыми скреплениями W14 K900, характеризующимися большой жесткостью. Шпалы В90 передают на балласт давление на 30 % более высокое, чем В75.

Площадь опорной поверхности шпалы В70 наименьшая среди рассмотренных. Сочетание со сравнительно большой жесткостью скрепления обеспечивает давление на балласт на 50 % большее, чем от шпалы В75.

*S. Freudenstein, M. Romstötter. International Railway Journal, 2004, № 5, p. 44, 46.*

УДК 625.172

## Скоростная очистка рельсов лазерным излучением

*На сегодняшний день разработано и оптимизируется в лабораторных условиях третье поколение мощных лазерных систем, предназначенных для улучшения условий сцепления в контакте колеса — рельс. По окончании лабораторных испытаний две лазерные системы были смонтированы на специализированном подвижном составе для очистки пути. Первые результаты позволяют надеяться, что новый способ очистки рельсов будет более эффективным, чем традиционные.*

Листва на рельсах, раскатываемая колесами поездов, тонкие слои окислов в соединении с водой и смазочными материалами образуют на поверхности катания пленку, ухудшающую сцепление колес с рельсами, удлиняющую тормозной путь и увеличивающую электрическое сопротивление между колесом и рельсом. Меняющиеся условия сцепления требуют значительных дополнительных затрат на средства контроля коэффициента сцепления, вынуждают снижать скорость движения поездов и тем самым уменьшают эффективность использования железнодорожной сети.

Не менее важным недостатком, обусловленным ухудшением сил сцепления, является возможное блокирование колесных пар при торможении и связанные с этим регулярные дополнительные затраты на обточку колесных пар из-за асимметричного износа. Приведенные примеры иллюстрируют важную

роль, которую играет надежный и постоянно высокий коэффициент трения в системе колесо — рельс. Это, свою очередь, доказывает важность проблемы создания высокоэффективной установки для очистки рельсов.

Существующие традиционные методы очистки основаны на использовании воды под большим давлением, а также на струйной обработке рельсов песком и гранулятами. Эти методы в полной мере не отвечают требованиям в отношении повышения скорости обработки и уменьшения износа рельсов. Кроме того, при использовании этих методов необходимо постоянно доставлять рабочие материалы к месту работ.

Проблема может быть решена использованием бесконтактного метода на базе применения мощного лазера. Технология лазерной очистки поверхностей уже несколько лет применяется в промышленности. Примером могут служить очистка форм для вулканизации, локальное удаление лакового покрытия, а также подготовка поверхностей к сварке, пайке и склеиванию.

Лазер с выходной мощностью непрерывного режима в несколько киловатт уже несколько лет используется в автомобильной промышленности. Импульсные лазеры с высокой мощностью в импульсе и соответствующей рабочей оптикой, необходимыми для обработки поверхности рельсов, сначала не имели коммерческого применения. На базе большого объема проведенных экспертиз в области мощных

импульсных лазеров. Фраунhoferовский институт лазерной техники (ILT) совместно с британской компанией Laserthor разработали такой лазер с диодной накачкой и рабочей оптикой на базе волоконной техники.

## Очистка с помощью лазерного излучения

### Основы процесса

Различные поверхности можно очищать от нанесенных на них покрытий или неравномерных загрязнений с помощью локального и бесконтактного воздействия лазерного излучения. В зависимости от материала поверхности, системы слоев покрытия и параметров лазерного излучения возможны различные варианты процессов очистки:

- удаление слоев покрытия путем испарения или разложения его материала (сублимационный вариант);
- удаление загрязнений с помощью термически созданных напряжений в материале или возбуждения лазерным излучением ударных волн.

Для очистки поверхности катания рельсов наиболее предпочтителен метод сублимационной очистки. В этом случае образовавшаяся пленка разогревается до температур испарения или разложения (рис. 1). Механизм ввода энергии и распределение температуры в обрабатываемой детали существенно зависят от длины волны, распределения плотности мощности и формы импульсов лазерного излучения, а также от скорости подачи, оптических и термофизических свойств плазмы, образующейся при испарении пленки, характеристик материалов пленки и основного материала. Для того чтобы можно было удалить загрязнения путем испарения, поглощаемая составляющая плотности мощности должна преодолеть порог плотности, в результате чего достигается температура испарения материала.

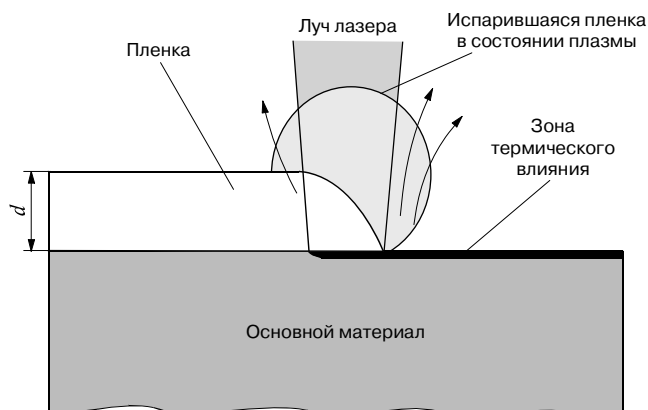


Рис. 1. Схема очистки поверхности с помощью лазерного излучения:  $d$  — толщина пленки

Большое значение для предотвращения термического воздействия лазерного излучения на материал рельсов имеет контроль времени взаимодействия луча с материалом основы. Чем короче импульс и выше плотность мощности, тем эффективнее удаляются загрязнения и тем короче время термического воздействия на основной материал. В связи с этим был выбран короткоимпульсный лазер с длительностью импульсов в нано- и микросекундном диапазоне.

При удалении с помощью лазера покрытий или пленок последние локально (на площади  $< 1 \text{ мм}^2$ ) разогреваются до температуры, превышающей порог испарения, не подвергая при этом основной материал термическому воздействию. Благодаря этому пленку удается удалить почти без ущерба для основного материала. Обрабатываемая поверхность не успевает разогреться из-за слишком малого общего количества вводимой энергии. Поскольку испарение материала пленки происходит чрезвычайно локально, образующийся пар и частицы материала пленки могут успешно улавливаться и отводиться, не попадая в атмосферу. Поэтому в данном случае речь идет об экологически чистом процессе.

Для удаления с помощью лазерного излучения тонких слоев (толщиной  $< 1 \text{ мкм}$ ) в основном применяют импульсный лазер типа Excimer с длиной волны ультрафиолетовой области и частотно-конвертируемый на алюмоиттриевом гранате и стекле с неодимом (Nd:YAG). Для слоев толщиной от 1 мкм до 1 мм чаще всего применяют Nd:YAG с длиной волны 1,06 мкм и лазер на  $\text{CO}_2$  с длиной волны 10,6 мкм, т. е. с длинами волн инфракрасной области. Существенным преимуществом системы Nd:YAG является возможность передачи лазерного излучения почти без потерь мощности на большое расстояние (более 50 м) с помощью волоконно-оптических световодов. Для разных условий применения разработаны разнообразные конструкции рабочих головок — от оптики с ручным управлением до автоматизированных оптических обрабатывающих систем, интегрированных в производственные процессы.

### Использование лазерной очистки в производственных процессах

Технологии удаления пленок и покрытий применяются не только в устройствах для очистки вулканизационных форм и пресс-форм для литья под давлением, но также для очистки строительных конструкций и исторических памятников, предварительной обработки котлов и цистерн перед сваркой или нанесением защитных покрытий, очистки деталей для электронных и микросхемотехнических схем. Котлы и цистерны обрабатывают для удаления тонких слоев окиси. Эта же цель преследуется при об-

работке штырьков в разъемах для электронных и микроэлектронных схем и соединительных элементов печатных плат. Для этих целей следует использовать короткоимпульсные лазеры Nd:YAG или Excimer, эффективно удаляющие окисную пленку, не оказывая термического воздействия на основной материал.

### Лазерные системы очистки поверхности катания рельсов

#### Основные требования

При очистке поверхности катания рельсов необходима относительно высокая скорость обработки, приблизительно равная 60 км/ч, т. е. 1000 м/мин. При этом фокусирующее устройство должно быть компактным и отвечать требованиям необходимой механической прочности в связи с размещением его вблизи головки рельса.

Из результатов лабораторных испытаний известно, что для целей очистки поверхности катания с требуемой площадью захвата нужен лазер, средняя выходная мощность которого лежит в диапазоне нескольких киловатт. Для обеспечения оптимального качества очистки необходимо одновременное действие нескольких лазеров с мощностью в импульсе 100 кВт. Основываясь на этих граничных условиях, следует отметить следующие аспекты, касающиеся лазера и его оптики:

- при современных размерах лазер требуемой мощности должен быть размещен в контейнере, а его излучение подведено к рабочей оптике с помощью волоконно-оптического световода;
- для установки следует использовать твердотельный лазер с диодной накачкой, который может обеспечить нужную среднюю выходную мощность и требуемую мощность в импульсе. Его излучение с длиной волны 1,06 мкм может транспортироваться по волоконно-оптическому световоду. Важным является также и то, что твердотельный лазер с диодной накачкой, непрерывная мощность которого лежит в киловаттном диапазоне, успешно используется в промышленности для сварки, резки и термического упрочнения и выпускается серийно.

#### Управление лучом

В связи с тем что лазерный луч для достижения необходимой плотности мощности сфокусирован на площади около 1 мм<sup>2</sup>, фокусное пятно необходимо быстро перемещать, что обычно осуществляется с помощью моторного привода рабочих зеркал. При требуемой скорости обработки рабочую оптику следует перемещать со скоростью в несколько десят-

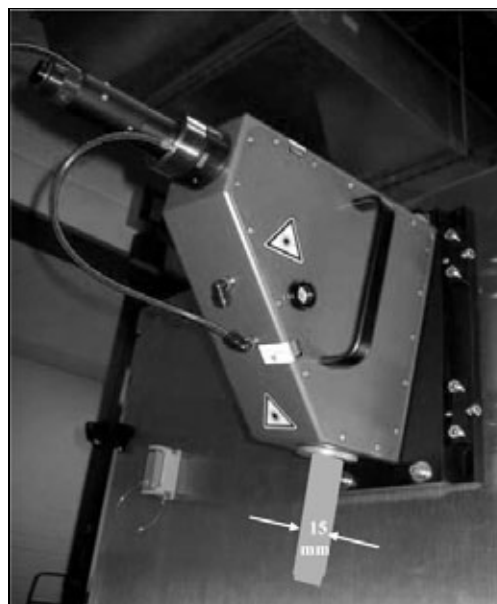


Рис. 2. Оптическая головка первого поколения

ков метров в секунду, что может быть достигнуто лишь с помощью полигонального сканнера. Последний представляет собой зеркальный барабан многоугольного сечения, вращающийся с высокой скоростью. Такая система не приспособлена для работы при сильных вибрациях и ударах, неизбежных в случае ее установки на раме или тележке подвижного состава.

Кроме характеристик лазерного излучения до световода, важна также система формирования луча, с помощью которой нужные качества фокусного пятна обеспечиваются при заданном расстоянии рабочей оптики от поверхности катания рельса, равном 230 мм. Такая система использована для создания альтернативной рабочей оптики. Она формирует излучение с помощью неподвижного оптического элемента, который создает прямоугольные фокусные пятна на поверхности катания рельса. Фокусный прямоугольник фактически представляет собой узкую полосу (линию), ориентированную поперек головки рельса и обеспечивающую прогрев поверхности при перемещении.

Это устройство получило название системы линейного фокусирования. Система реализована в виде надежной конструкции, приспособленной для работы в условиях движущегося подвижного состава. В зависимости от модификации фокусной геометрии обеспечиваются поперечные фокусные пятна длиной 8 – 40 мм и шириной 60 – 140 мкм. Оптическая система для формирования луча разработана в точном соответствии с пожеланиями заказчика на основе использования специального программного обеспечения, базирующегося на алгоритмах распространения лучей.

Начиная с 2001 г. институт лазерной техники ИЛТ создал три поколения оптических систем фор-



Рис. 3. Экспериментальный мощный твердотельный лазер с волоконно-оптическим выходом

мирования лазерного луча (рис. 2). После всесторонних исследований в лаборатории и на подвижном составе выявились новые факторы, которые необходимо было учесть в практической эксплуатации системы. Рабочая оптика жестко закрепляется на раме с целью обеспечения неизменного расстояния до поверхности катания рельса. В эксплуатации кроме вибраций и ударов на это оптическое устройство воздействуют вода, пыль и низкие температуры зимой. Результаты испытаний подтвердили высокую надежность системы с учетом всех указанных факторов.



Рис. 4. Экспериментальный мощный твердотельный лазер с волоконно-оптическим выходом

#### Источник лазерного излучения и исследование процесса очистки

Первый опытный образец лазера для очистки рельсов, разработанный компанией Laserthor, обеспечивал мощность в импульсе 450 кВт при длительности импульсов 60 нс и частоте их следования 25 кГц (рис. 3). Этот тип лазера ранее был использован на мобильной установке для скоростной очистки высоковольтных опор. Он построен на модулях мощного лазера с диодной накачкой, который в свое время институт ИЛТ совместно с компанией RoFin разработал для обработки материалов на промышленных предприятиях (рис. 4).

Данный твердотельный лазер доработан применительно к использованию на движущемся подвижном составе. Кроме повышенной устойчивости к вибрациям и ускорениям, был обеспечен более широкий диапазон эксплуатационных температур.

После лабораторных испытаний и опробования в эксплуатационных условиях в 2002 г. в Великобритании возникла потребность в лазерной установке нового поколения с двумя волоконно-оптическими выходами.

Компания RoFin в 2003 г. разработала для эксплуатационных испытаний несколько лазеров с двумя световодными выходами мощностью по 1 кВт, а компания Laserthor изготовила опытные образцы. Эти лазеры были оснащены наиболее совершенной рабочей оптикой третьего поколения.

Для предварительных исследований использовали испытательный стенд, представляющий собой вращающееся кольцо из рельсового профиля. Поверхность головки рельса покрывали пленками различной толщины из смазок, лака и других материалов.

Рабочая оптика на волоконно-оптическом световоде неподвижно монтировалась над рельсом. Во время испытаний по длине рельса очищались полосы шириной 10 – 20 мм. На этом стенде моделировалась скорость движения до 50 км/ч. Эффективность метода очистки была подтверждена результатами измерения коэффициента трения до и после лазерной обработки.

Для испытаний на сети железных дорог Великобритании лазерная система была смонтирована в стандартном контейнере и установлена на специализированном поезде для текущего содержания пути (рис. 5). Две оптические головки установили над обоими рельсами и с помощью армированного волоконно-оптического световода соединили с лазерной системой.

Для того чтобы исключить возможность термического воздействия на основной материал рельсов, на время испытаний предусмотрели автоматическое отключение лазера в случае снижения скорости движения поезда до 5 км/ч.

Рис. 5. Британский поезд для текущего содержания пути с установками для гидравлической и лазерной очистки рельсов



Для сравнительных исследований на поезде была также смонтирована установка для очистки рельсов водой под давлением 1000 бар.

### Результаты и выводы

Во время испытаний системы лазерной очистки рельсов в Великобритании осенью 2004 г. рабочая скорость иногда превышала 64 км/ч. Для системы очистки рельсов водой под давлением типична рабочая скорость 35 км/ч. Базируясь на результатах испытаний, проведенных в 2003 г. и начале 2004 г., раз-

работчики перед испытаниями в Великобритании несколько модифицировали и оптимизировали оптическую головку. План испытаний предусматривал проверку работы установки, смонтированной на поезде, в автоматическом режиме. Поскольку рабочая скорость очистки лазерным излучением в первом приближении находится в линейной зависимости от мощности лазера, в недалеком будущем возможна с приемлемыми затратами интеграция таких установок в грузовые поезда, идущие со скоростью до 130 км/ч.

*D. Hoffmann et al. Elektrische Bahnen, 2004, № 8/9, S. 383 – 388.*

*Вам нужна*

**Эффективная**

**реклама?**

**Звоните в редакцию журнала «Железные дороги мира»,**

**МЫ ПОМОЖЕМ ВАМ.**

**Телефон: (095) 290-60-54; (095) 290-09-27. E-mail: zdm@css-mps.ru**