

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 621.7.02
doi: 10.30987/2782-5957-2024-7-54-60

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ БАНДАЖЕЙ

Рафик Хайдарович Рафиков^{1✉}, Кирилл Игоревич Лебедев², Игорь Валентинович Лебедев³

¹ АНО «Инновационный инженеринговый центр», Москва, Россия

^{2,3} Российский университет транспорта, Москва, Россия

¹ rafis-89@mail.ru

² Nafanya-feniks@yandex.ru

³ lebedev138@mail.ru

Аннотация

Данное исследование посвящено качеству поверхностного слоя бандажей, анализу различных установок поверхностного упрочнения и выбору оптимального метода обработки, оценки различных параметров с помощью современных методов контроля. В качестве новизны исследований можно отметить преимущества метода лазерного поверх-

ностного термоупрочнения. В результате сформулированы информативные параметры диагностики на базе метода акустической эмиссии.

Ключевые слова: бандаж, колесная пара, неисправности, параметры качества, лазерное термоупрочнение, информационные системы.

Ссылка для цитирования:

Рафиков Р.Х. Разработка информативных параметров для диагностики процесса лазерного упрочнения бандажей / Р.Х. Рафиков, К.И. Лебедев, И.В. Лебедев // Транспортное машиностроение. – 2024. - № 7. – С. 54 - 60. doi: 10.30987/2782-5957-2024-7-54-60.

Original article
Open Access Article

DEVELOPMENT OF INFORMATIVE PARAMETERS TO DIAGNOSE LASER HARDENING OF TYRES

Rafik Haidarovich Rafikov^{1✉}, Kirill Igorevich Lebedev², Igor Valentinovich Lebedev³

¹ Innovative Engineering Center, Moscow, Russia

^{2,3} Russian University of Transport, Moscow, Russia

¹ rafis-89@mail.ru

² Nafanya-feniks@yandex.ru

³ lebedev138@mail.ru

Abstract

This study is devoted to the quality of the surface layer of tyres, the analysis of various surface hardening installations and the choice of the optimal machining method, evaluation of various parameters using modern control methods. The advantages of the laser surface thermal hardening method can be noted as the

novelty of the research. As a result, informative diagnostic parameters based on the acoustic emission method are formulated.

Keywords: tyre, wheelset, malfunctions, quality parameters, laser thermal hardening, information systems.

Reference for citing:

Rafikov RH, Lebedev KI, Lebedev IV. Development of informative parameters to diagnose laser hardening of tyres. Transport Engineering. 2024;7:54-60. doi: 10.30987/2782-5957-2024-7-54-60.

Решение задач по совершенствованию технологических процессов обработки поверхностных слоев в настоящее время считается одним из приоритетных ключевых направлений сферы исследований в материаловедении и машиностроении. В современной практике применяют различные методы упрочнения поверхностей деталей. Наиболее перспективным является лазерное термоупрочнение поверхности, которая требует достоверных методов оценки параметров качества.

В настоящий момент в депо полигона «Восточный» находится 21 установка плазменного упрочнения гребней колесных пар. Из них в исправном состоянии находятся 13 установок, что составляет 62 % от их общего числа. В неисправном состоянии находятся 6 установок, что составляет 28,5 % от общего числа и две установки подлежат списанию, что составляет 9,5 % от их общего числа (рис. 1).



Рис. 1 Техническое состояние оборудования по упрочнению бандажей
 Fig. 1 Technical condition of the bandage strengthening equipment

Из перечисленных восемь установок 1990–2000 годов выпуска и находятся в эксплуатации 21–31 год. Десять установок 2001–2010 годов выпуска и находятся в эксплуатации 11–20 лет, и лишь три установки выпущены позже 2011 года и находятся в эксплуатации менее 10 лет. Таким образом в настоящее время 16 установок плазменного упрочнения имеют превышенный срок службы относительно нормативного срока по паспорту производителя. Или 76% оборудования имеет как физический, так и моральный износ, что обуславливает значительные риски качества и низкую воспроизводимость процесса термического упрочнения.

Анализ отечественного рынка установок плазменного упрочнения показал, что из находящихся в эксплуатации агрегатов восемь произведены АО «ВНИИЖТ», две ЗАО «Дорожный центр внедрения Восточно-Сибирской железной дороги»; девять – НПФ «Плазмопротек» и две – ООО «Транс Атом».

При этом основными применяемыми моделями установок плазменного упрочнения в сервисных локомотивных депо Восточного полигона являются:

- установки типа УПУ (установки, на которых производят термическое упрочнение на выкаченных колесных парах);
- установки типа УМПУ-1; УМПУ-2 (установки, на которых производят термическое упрочнение без выкатки колесных пар под локомотивом).

Анализ опыта эксплуатации указанных установок позволил сделать выводы о том, что наиболее производительной и надежной является установка УМПУ-2 производства АО «ВНИИЖТ». В качестве плазмообразующего газа в установке используется сжатый воздух кл.9 ГОСТ 17433-30. Установки данного типа имеют водяное охлаждение плазмотронов и, в отличие от установок с воздушным охлаждением, обеспечивают на порядок большую безопасность и ресурс сменных деталей: катодов и плазмообразующих сопел. Преимуществом воздушных установок является

ся отсутствие плазмообразующего газа азота из баллонов, вместо него в установках используется сжатый воздух из депо-вской сети. Однако указанные установки имеют серьезный недостаток - окисление поверхности нагреваемого металла. Для уменьшения окисления перед упрочнением на поверхность гребня наносят смазку типа ЖРО, которая, сгорая, выделяет газ, отесняющий воздух от поверхности гребня.

При, как кажется на первый взгляд, очевидном решении о перевооружении сервисных локомотивных депо новыми установками плазменного упрочнения, стоит отметить, что это не будет являться превентивной мерой по решению задачи стабилизации процесса термического упрочнения, так как данная технология имеет ряд недостатков. К данным недостаткам можно отнести: существенные остаточные напряжения, значительный период выдержки при нагреве, высокая мощность и энергопотребление плазменных установок, низкая производительность процесса, не стабильность структуры. Поэтому альтернативным технологическим решением необходимо рассматривать технологию лазерного упрочнения.

Анализ факторов, обуславливающих состояние колесных пар локомотивов позволил выделить пятнадцать. В том числе значения твердости и структура поверхностного слоя колесной и рельсовой стали, вес вагона и давление в пятне контакта колеса и рельса, температура окружающей среды, величина проскальзывания колеса

по рельсу, радиусы кривизны пути, скорости качения и другие. Учитывая взаимодействие колес с тормозными колодками различных типов, количество данных факторов увеличивается до двадцати. Количество вторичных факторов существенно больше и включает в себя площадь пятна контакта, определяемое главным образом геометрией профиля колес и рельсов, а также соотношением диаметров колес и общим состоянием ходовых частей подвижного состава.

Совокупность установленных факторов определяющих состояние бандажей колес локомотивов можно консолидировать в две группы усталостного системного происхождения и преждевременного износа (рис. 2).

В то же время существенными факторами влияющим на износ поверхности катания бандажных и цельнокатаных колёс является состав легирующих элементов в основном материале, соотношение твердостей поверхности круга катания колеса и поверхности рельса. Отечественными и зарубежными специалистами проведен ряд исследований по анализу влияния различных легирующих элементов на прочностные характеристики колесной стали.

В них рассматривалось легирование колесной стали хромом, марганцем, кремнием, никелем, титановыми и молибденовыми элементами, обеспечивающими вязкость стали. Анализировались стали с содержанием химических элементов, приведенным в таблице.

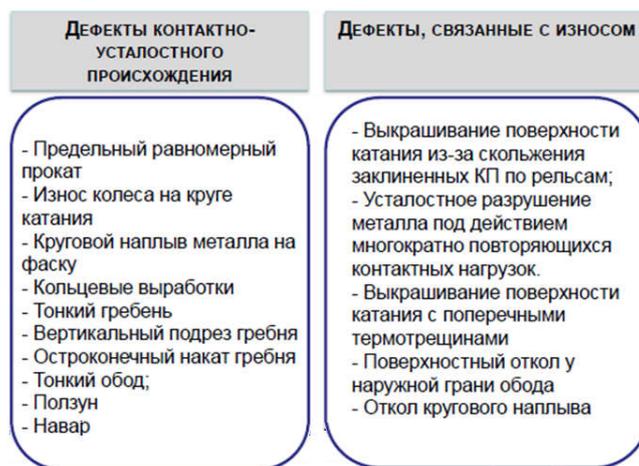


Рис. 2 Классификация видов дефектов
Fig. 2 Classification of types of defects

The content of alloying elements in wheel steel

Химический элемент	Содержание, %
углерод	0,29 – 0,72
марганец	0,6 – 2
кремний	0,26 – 1,6
хром	0,14 – 1,87
ванадий	0,06 – 0,26
титан	0,04 – 0,21
молибден	0,05 – 0,22

Свойства сталей рассматривались при их нормализованном и упрочненном состоянии. Исследовались ударная вязкость, контактно-усталостная долговечность, износостойкость, пластичность и другие свойства. Исследованиями в этой области также занимались ученые ФГБОУ ВО «Ростовского государственного университета путей сообщения». Ими исследованы процессы протекающих в трибосистеме колесо-колодка локомотив с целью анализа микроскопических механизмов износа и разработки спектроскопической методики исследований поверхностных слоёв материала бандажа колеса, а также определение сегрегационных явлений легирующих и примесных элементов. Одним из важных заключений указанного исследования стало установление фактора негативного влияния примесных элементов стали (марганец, сера, фосфор, натрий, хром). Их наличие обусловлено требованиями ГОСТ 398-2010 при этом приводит к возникновению эффекта охрупчивания межзерновых границ структуры основного металла. В связи с этим актуальной становится

задача термического упрочнения при изготовлении бандажей.

Как показали экспериментальные исследования вследствие отсутствия выдержки в аустенитной зоне при лазерной термообработке структура закаленного слоя имеет более мелкую фракцию и дисперсность, чем при объемной закалке, что положительно влияет на повышение твердости и износостойкости обработанной детали. Вследствие этого образуются дополнительные сжимающие напряжения, положительно влияющие на общее напряженное состояние изделия. При мелкодисперсной структуре закаленного слоя обрабатываемая деталь обладает повышенными триботехническими характеристиками, а также достигается сильнейший положительный эффект при сопротивлении ползучести металла, так как мелкодисперсная структура предотвращает пластическое течение стали, возникающее вследствие резких градиентов температур. Отсутствие длительной выдержки термического воздействия позволяет достичь равномерную структуру мартенсита и получение переходной зоны к основному материалу (рис. 3).

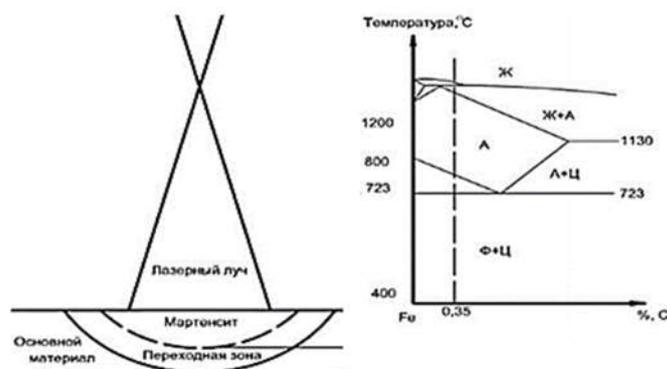


Рис. 3. Результат лазерной термообработки
Fig. 3. Result of laser heat treatment

Таким образом, проведя анализ технологии лазерного упрочнения, применительно к поверхности катания железнодоро-

рожных колес, можно выделить ряд преимуществ, указанных на рис. 4.

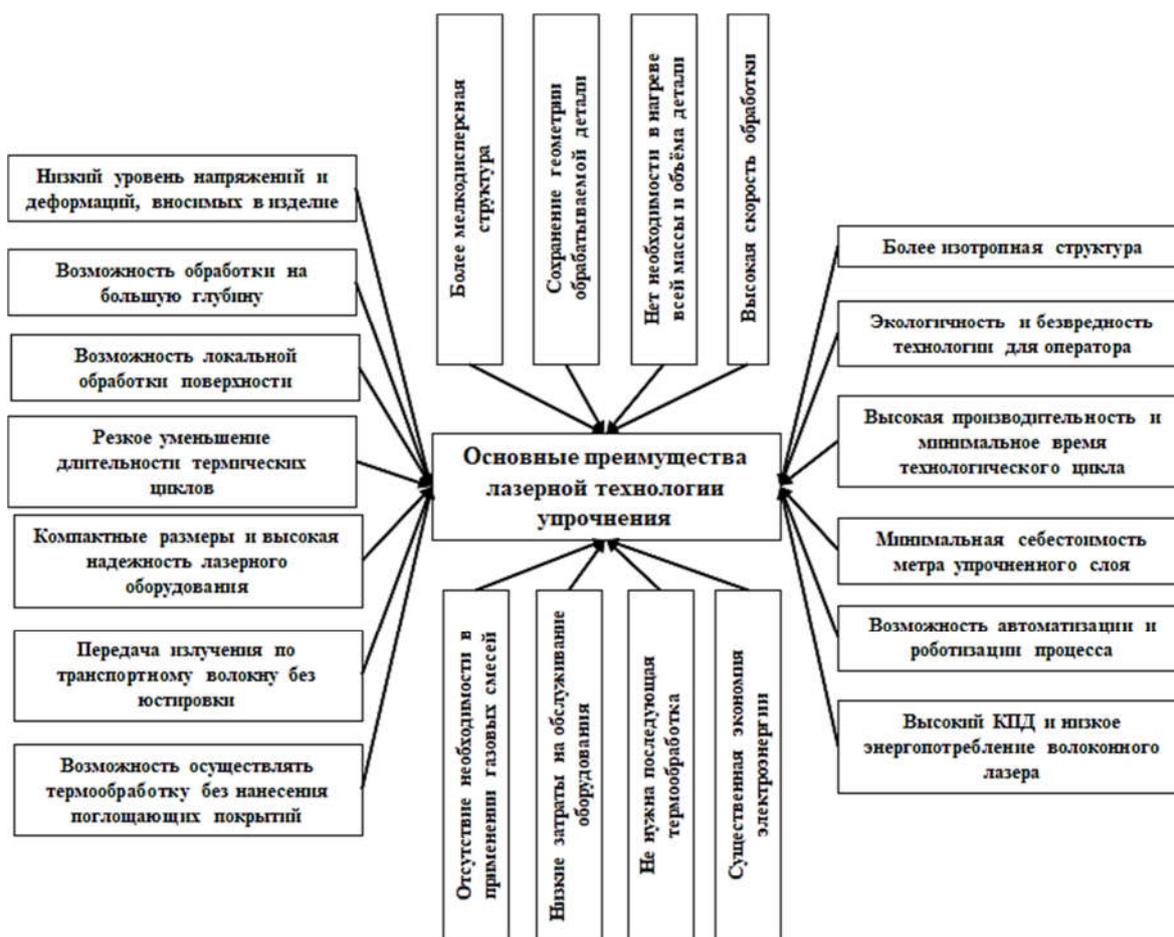


Рис. 4. Основные преимущества лазерной технологии упрочнения
 Fig. 4. The main advantages of laser hardening technology

Развитием технологии термического лазерного упрочнения активно занимались специалисты компаний IPG-Фотоникс (г. Фрязино) и ООО «Новые технологии Лазерного Упрочнения». Ими по результатам предварительных проведенных работ получены положительные результаты исследований на образцах. По результатам совещаний, проведенных на базе

АО «ВНИИЖТ» руководством Департамента технической политики ОАО «РЖД» одобрено участие ООО «Новые технологии Лазерного Упрочнения» в работе стендовых и эксплуатационных испытаний локомотивных бандажей упрочненных с использованием разных технологий лазерного упрочнения.

Для качественной оценки результата процесса лазерного термоупрочнения использован метод, основанный на регистрации и анализе акустической эмиссии. Его важнейшей особенностью является возможность получать информацию о процессах, происходящих в объекте исследования, непосредственно во время их протекания. Формирование упрочненного слоя представляет собой сложный термомеханический процесс, характер протекания которого определяется теплофизическими свойствами обрабатываемого материала, энергетическими параметрами лазерного излучения и технологическими характеристиками обработки. [2, 3]

Для оперативного контроля технологического процесса лазерно-плазменного упрочнения было предложено использо-

вать параметры акустической эмиссии, построенные для их узкополосных компонент. В результате проведенных исследований была получена амплитудно-частотная характеристика системы в виде узкополосных составляющих $I(f)$, где f – частота. Для количественного сопоставления формы спектра излучения использовался параметр, характеризующий форму спектра акустической эмиссии в диапазоне 200...500 кГц, представляющий собой отношение спектральных компонент на этих частотах [1, 4].

Наиболее информативным параметром является отношение амплитуды акустической эмиссии на частотах 100/250 кГц. Этот параметр чувствителен к увеличению вклада высокочастотной компоненты в полную акустическую эмиссию. Значения соотношения 100/250 больше единицы отражает доминирующее значение отпуски, а 100/250 меньше единицы соответствует преобладанию процесса закалки.

При обобщении результатов опытов, проведенных на лазерных установках, обнаружилась одна закономерность – поглощаемая материалом энергия пропорциональна регистрируемой акустической энергии. Следует отметить, что с увеличением энергии лазерного луча увеличивается объем закаленного слоя, но повышается вероятность нарушения поверхности образца (оплав, появление микротрещин и т.д.), что существенно снижает ка-

чество лазерно-плазменного упрочнения. Поэтому определение оптимального режима лазерного упрочнения требует одновременного анализа фазовой структуры и процесса трещинообразования в зоне действия лазерного луча. В результате модельных опытов на кристаллах и конструкционной стали получена возможность обнаружения трещин, возникающих при интенсивном лазерном воздействии по уровню акустической эмиссии в узкой полосе частот относительно 200 кГц.

Таким образом при наличии надежных методов контроля эффективности технологии лазерного упрочнения поверхностей катания железнодорожных колес можно сделать вывод о том, что данная технология обеспечивает значительные преимущества по сравнению со способами плазменного упрочнения и упрочнения токами высокой частоты. Технология лазерного упрочнения уже прорабатывалась на уровне опытных испытаний и имеет положительные итоговые результаты по технологическим параметрам. Что свидетельствует о целесообразности подачи заявочных документов на организацию работ по проведению сравнительных и эксплуатационных испытаний различных технологий лазерного упрочнения. Организация проведения указанных работ возможна на договорной основе организациями: АО «ВНИИЖТ», ООО «Новые технологии Лазерного Упрочнения» и ОАО «РЖД».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Коротин И.М. Контроль качества термической обработки металлов. Москва Высшая школа, 1980, 192с.
2. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Кокора А.Н., Лазерная обработка металлов. Москва Машиностроение, 1975. 295с

REFERENCES

1. Korotin IM. Quality control of heat treatment of metals. Moscow: Vysshaya Shkola; 1980.
2. Rykalin NN, Uglov AA, Kokora AN. Laser processing of metals. Moscow: Mashinostroenie; 1975.

3. Упрочнение деталей лучом лазера. Под общ. Ред. В.С. Коваленко. Киев Техника 1981. 212с.
4. Брагинский А.П., Евсеев Д.Г., Лебедев И.В. Распознавание дефектов по спектральным характеристикам акустической эмиссии. Дефектоскопия 1984 №1 с.47-54.

3. Kovalenko VS, editor. Hardening of parts with a laser beam. Kiev: Tekhnika; 1981.
4. Braginsky AP, Evseev DG, Lebedev IV. Recognition of defects by spectral characteristics of acoustic emission. Defektoskopiya. 1984;1:47-54.

Информация об авторах:

Рафиков Рафик Хайдарович – кандидат технических наук, начальник отдела Дирекции проектов развития АНО «Инновационный инжиниринговый центр», тел. +7 (495) 909-14-93.

Лебедев Кирилл Игоревич – аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и

ремонта подвижного состава» РУТ (МИИТ), тел. +7(495) 274-02-74 доб. 3348.

Лебедев Игорь Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» РУТ (МИИТ), тел. +7(495) 274-02-74 доб. 3348.

Rafikov Rafik Haidarovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of the Directorate of Development Projects of the ANO "Innovative Engineering Center", tel. +7 (495) 909-14-93.

Lebedev Kirill Igorevich – Postgraduate Student of the Department of "Technology of Transport engi-

neering and repair of rolling stock" RUT (MIIT) tel. +7(495) 274-02-74 ext.3348.

Lebedev Igor Valentinovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Technology of Transport Engineering and repair of rolling stock" RUT (MIIT) tel. +7(495) 274-02-74 ext.3348.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 05.06.2024; одобрена после рецензирования 24.06.2024; принята к публикации 26.06.2024. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 05.06.2024; approved after review on 24.06.2024; accepted for publication on 26.06.2024. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.