

УДК 656.53; 621.785.5

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

NANOTECHNOLOGY IN RAIL TRANSPORT

Загорский В.К., Загорский Я.В.,

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический

университет», г. Уфа, Российская Федерация

ОАО «Лукойл» г. Уфа, Российская Федерация

V.K. Zagorskiy, Ya.V. Zagorskiy,

FSBEI NPE «Ufa State Petroleum Technological University»,

Ufa, the Russian Federation

LLC "Lukoil" Ufa, the Russian Federation

e-mail: kalkutta@mail.ru

Аннотация. Одной из основных задач модернизации экономики железнодорожного транспорта России является внедрение инновационных технологий по ресурсосбережению и повышению энергоэффективности.

На ЖД транспорте ежедневно расходуется порядка 160 тонн бандажной стали идущей на восстановление износа колесных пар подвижного состава. Ежегодные потери от их износа составляют более 1млрд рублей. Одной из основных причин столь интенсивного износа контактной пары «колесо-рельс» является химическое сродство бандажной и рельсовой сталей, отличающихся по химическому составу отдельных компонентов буквально на десятые доли процента. Указанное обстоятельство способствует возникновению самого интенсивного в природе вида разрушения «схватыванием».

Рассмотрены возможности повышения долговечности контактной пары «колесо-рельс». Предложена технология электродугового упрочнения (ЭДУ), которая относится к комбинированной химико-термической

обработке концентрированным источником энергии обеспечивающим получение в поверхностном слое структуры аустенитно-мартенситного композита попадающего в наноразмерный диапазон, обладающего при этом высокой износостойкостью. Изменение химического состава в процессе оплавления поверхностного слоя и легирования позволило устранить износ «схватыванием» и повысить сопротивление микрообъемов поверхностного слоя усталостному выкрашиванию.

Показана целесообразность устранения механической обработки после упрочнения, которая является источником зарождения микротрещин в поверхностном слое и очагами дальнейшего разрушения. Совмещение операций ЭДУ и упрочнения пластическим деформированием в процессе эксплуатации позволяет дополнительно повысить износостойкость за счет превращения остаточного аустенита.

Исследования структуры упрочненного слоя легированного в процессе оплавления и закалки в массу бандажа показали парадоксальное сочетание высокой твердости, пластичности и вязкости одновременно, что недостижимо известными способами. Электронная микроскопия позволила выявить наличие в структуре зародышевой фазы шаровидного графита в аустенитно-мартенситной матрице, отсутствие карбидов, весь углерод находится в твердом растворе. Исследования на ИК-Фурье спектрометре позволили выявить наличие значительного количества фуллеренов C-60 и их производных.

Высокое сопротивление разрушению поверхностного слоя объясняется совместным влиянием всех перечисленных отличий структуры, ее высокой дисперсностью, превращением аустенита в мартенсит в процессе механического воздействия идущего с поглощением энергии разрушения.

Реализация научных и производственных аспектов получивших лавинное наслоение в процессе проведения промышленных испытаний, позволяет прогнозировать, что при соответствующей доводке, повышение долговечности бандажей может быть доведено до десяти лет.

Abstract. One of the main tasks of economic modernization of Russian railway transport is the introduction of innovative technologies for resource conservation and energy efficiency.

On railway transport daily consumed about 160 tons of steel shroud going to restore the wear of wheel sets of rolling stock. Annual losses from the depreciation account for more than 1 billion rubles. One of the main reasons for this excessive wear contact pair "wheel-rail" is the chemical affinity of the shroud and rail steels with different chemical composition of the individual components literally tenths of a percent. This circumstance contributes to the most intense kind of destruction in nature "gripe".

The possibilities of improving the durability of the contact pair "wheel-rail". The technology of electric-hardening (ETL), which refers to a combination of chemical and thermal treatment concentrated source of energy as generating structure in the surface layer of austenitic-martensitic composite papadayuschego in nanoscale range , while having high wear resistance. Change in the chemical composition during melting of the surface layer and doping eliminated the wear "gripe" and increase the resistance of the surface layer micro volumes Flaking. Wear resistance bands increased by 2-2.5 times. Also increased the time and mileage between sharpening, regrinding decreased the number decreased by regrinding process losses, decreased frequency emitted residual thickness of the replacement exhaust shrouds. Reducing losses of metal and no distortion profile geometry bandages made possible re hardening of the entire profile, without regrinding within tolerance on flange wear.

The expediency of removing machining after hardening, which is the source of origin of microcracks in the surface layer and the further destruction of the centers. By combining operations ETL and hardening plastic deformation during operation can further improve the wear resistance due to the transformation of retained austenite.

Studies of the structure of the hardened layer is doped during melting and quenching in weight shroud shown paradoxical combination of high hardness,

ductility and toughness at the same time, which is unattainable by known methods. Electron microscopy has revealed the presence in the structure of the embryonic phase of graphite nodules in the austenitic- martensitic matrix, no carbides, all the carbon is in solid solution. Research on FT-IR spectrometer revealed the presence of a significant amount of fullerene C 60 and their derivatives.

High fracture resistance of the surface layer is explained by the combined effect of all these differences structure, its high dispersion , transformation of austenite to martensite during mechanical impact energy absorption coming destruction.

Implementation of scientific and industrial aspects have received an avalanche in the layering process of industrial tests, allows to predict that, with appropriate fine-tuning, improving durability bandages can be brought up to ten years.

Ключевые слова: упрочнение, износостойкость, долговечность, деформация, композит, аустенит, мартенсит, карбиды, твердость, пластичность, вязкость, наноразмер, фуллерены, углерод, твердый раствор, электронная микроскопия, ИК спектроскопия.

Key words: hardening, wear resistance, durability, deformation. composite, austenite, martensite, carbides, hardness, ductility, toughness, nanoscale, fullerenes, carbon, solid solution, electron microscopy, infrared spectroscopy.

Многолетняя доводка и испытания технологии поверхностного упрочнения электродуговым способом (ЭДУ) бандажей маневровых тепловозов позволили получить показатели во многом превышающие лазерное, плазменное и другие виды упрочнения [1; 2].

Известно более 120 технологий поверхностного упрочнения металлов: твердосплавные, керамические, гальванические, химико-термические покрытия, термическая обработка, обработка концентрированными

источниками энергии и др., которые позволяют в широком диапазоне менять физико-механические свойства поверхностных слоев.

Общим недостатком перечисленных технологий является длительность процесса, высокая трудоемкость, энергоемкость, токсичность, высокая стоимость, высокая квалификация обслуживающего персонала, невозможность обработки крупногабаритных деталей. Наиболее перспективными из них являются лазерная, плазменная, ионная обработка поверхности металлов с созданием наноструктурированных слоев, обладающих высокой износостойкостью.

Наряду с преимуществами недостатком последних является высокая токсичность продуктов испарения металла с образованием сульфидов, оксидов, высокая мощность установок, низкий КПД. Повышение износостойкости до двух-трех раз едва окупает затраты на упрочнение. По этой причине многие технологии остаются не востребованными промышленностью, особенно в производстве крупногабаритных деталей.

В этой связи большой интерес представляет технология ЭДУ, которая позволяет менять химический состав поверхностного слоя бандажей по мере его износа, устраняя тем самым катастрофический по интенсивности вид разрушения поверхности схватыванием, возникающий в кинематических парах, изготовленных из одноимённых материалов. Этот вид разрушения особенно опасен при высоких удельных давлениях и химическом сродстве бандажной и рельсовой сталей, отличающихся по химическому составу на одну, две десятых доли процента по углероду.

Снижение интенсивности износа упрочненной поверхности катания и реборды колесных пар в процессе эксплуатации позволили устранить искажение геометрии профиля бандажа и применить многократное упрочнение без переточки, увеличив межремонтный пробег, снизить технологические и триботехнические потери металла.

Промышленные испытания упрочненных колесных пар ЭДУ методом показали, что долговечность бандажей по полученным результатам при соответствующей доводке технологии может быть увеличена до 10 лет.

Для промышленных испытаний было упрочнено пять тепловозов, эксплуатировавшихся в самых тяжелых условиях. Упрочнению подвергался весь профиль. Целесообразность упрочнения всего профиля диктовалась тем, что с увеличением срока эксплуатации износ не упрочненной поверхности катания достигает 2-3 мм и более. Боковой зазор между ребордой и рельсами при этом уменьшается на 1,5-2 мм, что приводит к принудительному увеличению сил бокового давления и неизбежному износу реборды и рельсов.

Испытания проводились под контролем УРО ВНИИЖТ, ВНИИЖТ в депо г. Уфы, г. Стерлитамака и г. Самары. Акты, отчеты и заключения составлялись на всех этапах [3-5]. За период эксплуатации тепловозов с упрочненными колесными парами в среднем от износа упрочненные бандажи потеряли по толщине 7,5, по реборде 4,5 мм, в то время, как контрольные потеряли 12,5 и 7,5 мм соответственно. К потерям от износа необходимо добавить технологические потери металла по толщине бандажей, которые на контрольных тепловозах составили в среднем по 27 мм. на переточках до двух-четырех раз и потери остаточной толщины (40-50мм) при более частой замене бандажей. В результате коэффициент использования металла без упрочнения едва достигает 20-25%. Переточки на экспериментальных тепловозах не производились. При этом, пробег тепловозов с упрочненными бандажами находился в пределах 33-68 тыс. км, у контрольных 6-30 тыс.км. Время эксплуатации контрольных тепловозов за период наблюдения на 31% ниже, чем экспериментальных за счет простоев на переточках. Условия работы несоизмеримо тяжелее (отражено в отчетах УРО ВНИИЖТ). Результаты испытаний сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты испытаний по отчетности депо (форма ТО-3)

№ тепловоза	Пробег, S тыс. км.	Относительный пробег, S_k/S_3	Общая наработка, τ ч.	Относительная наработка, τ_k/τ_3	Износостойкость, в размах $\Delta t_k/\Delta t_3$	Количество переточек	Коэффициент использования по времени
5990*	68	1	7333	1	1	–	0,85
7210	27	0,39	5678	0,7	1,2	2	0,71
7209	29	0,43	5934	0,8	2,1	3	0,73
5423*	33	1	7123	1	1	–	0,98
5426	6	0,19	1194	0,2	0,2	1	0,18
7152	30	0,91	6571	0,9	1,4	4	0,9
7428*	33	1	7031	1	1	–	0,96

*помечены экспериментальные тепловозы.

При оценке относительной стойкости данные экспериментальных тепловозов, приведенные в таблице принимались за единицу. Относительные данные контрольных тепловозов (эксплуатировавшихся в одном регионе), определялись делением их величины на величину экспериментальных ($S_{\text{контр}}/S_{\text{экспер}}$).

После завершения испытаний в связи с положительными результатами было выделено еще два тепловоза, откорректированы режимы, улучшена чистота поверхности для продолжения испытаний в депо г. Стерлитамак. Через месяц с начала испытаний, не дожидаясь их завершения, ВНИИЖТ были составлены акты и заключения о внедрении с указанием нулевых износов, выпущен отчет с положительными отзывами. Такая скоропалительность связана с нежеланием ВНИИЖТ порочить собственную разработку магнитно-плазменного упрочнения (МПУ), которая на момент испытаний была внедрена на 100 ремонтных базах, практически по всей стране. После всего, колёсные пары продолжали эксплуатировать без представителей ВНИИЖТ, были разукomплектованы до завершения износа упрочненного слоя, на них же предпринималась попытка сточить упрочненный слой без согласования с авторами.

Широкие внедрения магнитно-плазменной обработки (МПУ) для упрочнения бандажей ЖД транспорта (разработки ВНИИЖТ ОАО РЖД) не дали желаемого результата. В указанном отчете ВНИИЖТ представлены микроструктуры упрочненного слоя, полученные при МПУ рисунок 6 (увеличение $\times 100$) и при ЭДУ рисунок 7 (увеличение $\times 500$). Из сравнения приведенных фотографий видно, что величина зерна после МПУ при меньшем увеличении многократно больше зерна после ЭДУ при значительно большем увеличении. Этот визуальный факт подтверждает значительное превосходство качественных и количественных характеристик поверхностного слоя получаемого при ЭДУ. Причинами такого разительного преимущества структур является совмещение в едином цикле процессов оплавления концентрированным источником энергии, высокая локальность и скорость нагрева, легирование, выдержка расплава обеспечивающая полноту аустенитного превращения и закалка с сверхкритическими скоростями из жидкой фазы в массу бандажа.

В результате упрочненный поверхностный слой обладает парадоксальным сочетанием предельной твердости, высокой пластичности и вязкости одновременно, что связано с наноразмерным уровнем структур и не достижимо никакими другими способами.

Целесообразность применения МПУ с позиций повышения износостойкости нам представляется весьма сомнительной, что подтверждается множеством критических статей, напечатанных в журналах «Железнодорожный транспорт», «Транспорт», «Локомотив», подтверждающих отсутствие эффекта.

Для подтверждения достоверности сказанного привожу фрагменты статистического анализа и отдельные выдержки, изложенные в указанном отчете ВНИИЖТ 23.3.03-29. «Технология электродугового упрочнения локомотивных колес по гребню и кругу катания»). Средний ресурс бандажа по сети на тепловозах в 2004г. увеличился на 2,8%. Конкретно, на Дальневосточной дороге увеличился на 7,6%, на Красноярской -

уменьшился на 9%. Количество обточек (по прокату, ползунам, разности диаметров колес) уменьшилось на 2,7%, по гребню, и остроконечному накату на 3,75%.

Для работы 100 установок эти показатели просто смехотворны. Приведенные цифры не укладываются в проценты допустимых технологических погрешностей при измерениях геометрии бандажей. Кроме того, они вызывают большое сомнение, поскольку сроки резкого падения объемов перевозок железнодорожным транспортом совпадают со сроками массового внедрения разработок ВНИИЖТ (1994-2006гг). Эти цифры, скорее всего, есть результат снижения интенсивности работы сети железных дорог. Интенсивность износа в 1990 году достигала 6-8мм на 10 тысяч километров пробега.

В то время как на пробных испытаниях упрочненных бандажей без доводки технологии долговечность была повышена до 11 месяцев, вместо 5, а при повторном упрочнении в пределах допуска на износ, без переточки профиля до 20 месяцев, что отражено в отчетах ВНИИЖТ, УРО ВНИИЖТ и публикациях[1,2,3]. Бандажи в процессе испытаний за соизмеримый промежуток по времени, при пробеге без переточек, до 68 тысяч километров, имели потери металла по реборде в 2 раза, по толщине более чем в 3 раза меньше (таблица 1).

Дальнейшие попытки провести расширенные испытания и довести технологию, что возможно только в производственных условиях, не увенчались успехом. ВНИИЖТ утвердил методику проведения расширенных испытаний. Ремонтная же служба ОАО РЖД, за пределами своей компетенции, выдвинула несуразные и не своевременные требования, не заключая договоров на автоматизацию установки, на доводку чистоты поверхности инструкциям ЦТ, что составляет большую самостоятельную проблему не триботехнического направления, создала непреодолимое препятствие для завершения начатых работ, о чем

вышестоящее руководство неоднократно предупреждалось руководством университета.

По поводу надуманных, не своевременных претензий, предъявленных ремонтной службой на начальной стадии испытаний, к чистоте поверхности полученной при сканировании с оплавлением следует отметить.

Механическая обработка профиля точением, шлифованием, финишной доводкой, при химическом средстве бандажной и рельсовой сталей создает дополнительный источник увеличения разрушения поверхности бандажей и рельсов схватыванием за счет сближения поверхностей на атомном уровне, дополнительно снижает износостойкость в 1,5-2 раза. Получаемая при этом микрогеометрия является источником микротрещин, возникающих в процессе механической обработки распространяющихся вглубь металла (отражено в отчете ВНИИЖТ 23.3.09-29 2006 г. Микротрещины являются источником концентрации напряжений и их накопления, превращаясь в процессе работы в очаги лавинного выкрашивания поверхности[4].

Более того, увеличение чистоты бандажа, особенно шлифованием и финишной доводкой не имеет смысла, поскольку рельс в результате многолетнего атомарного износа имеет на поверхности множество микроскопических мостиков сварки и вырывов металла, закаленных в массу рельса до высокой твердости изнашивающих бандаж. Особая коварность этого вида разрушения кроется в том, что если он не устранен на начальной стадии, то способов борьбы с ним в дальнейшем нет [5].

Оплавленная поверхность в разработанной технологии не имеет микрогеометрии, очагов зарождения микротрещин и концентрации напряжений, химикотермически упрочнена за счет легирования и закалки в массу с сверхкритическими скоростями. При этом высокая износостойкость получена за счет стабилизации наноразмерной структуры аустенитно мартенситного композита текстурированного к поверхности[6].

Регулярный волнистый профиль поверхности бандажа с высотой волн доведенной до 0,3 мм, получаемый после сканирования дугой с оплавлением, обеспечивает быструю в течение месяца приработку к профилю рельсов за счет локального растекания пластичных выступов, имеющих аустенитную структуру. Исключается, при этом, сопряжённый характер контакта поверхности бандажа с рельсом из-за движения электрода по винтовой линии при оплавлении поверхности катания. Аустенит и высокая дисперсность полученных структур в оплавленной зоне играют роль сухой смазки. Карбиды в поверхностном слое отсутствуют. Деформация волнистых выступов профиля в процессе эксплуатации вызывает дополнительное поверхностное упрочнение пластическим деформированием (ПДУ).

Известные технологии упрочнения пластическим деформированием обеспечивают накопление в металле высокого уровня остаточных напряжений, исчерпывающих резервы циклической прочности металла до эксплуатации, и снижают его износостойкость [4].

Совмещение операций ЭДУ и ПДУ колесных пар в процессе эксплуатации позволяет устранить стадию интенсивного приработочного износа. Чистота поверхности упрочненных бандажей через месяц эксплуатации достигла Rz40 вместо Rz80 после механической обработки, требуемой инструкцией ВНИИЖТ (заключение Куйбышевской железной дороги). На что ремонтная служба внимания не обратила.

Эффект повышения износостойкости бандажей получен за счет наноструктурного строения упрочненной зоны, в результате которого коэффициент трения скольжения по реборде, коэффициент трения качения на поверхности катания и температура в зоне контакта поверхностей уменьшаются в 4-5 раз [7].

Технология построена на кристаллизации металла из жидкой фазы. Основную роль при этом играет сохранение достаточного количества зародышевой фазы при оплавлении в виде отдельных наночастиц и

кластеров за счет обеспечения достаточного уровня перегрева и переохлаждения. При этом образуется ориентированная к поверхности высокодисперсная структура аустенитно-мартенситного композита в виде нанотравы (рисунок 1). Иглы мартенсита имеют размер с острия от 1 до 100 нм в поперечном сечении (рисунок 2). Регулируя размер зародышевой фазы (величиной перегрева и переохлаждения, скоростью оплавления, плотностью мощности...), удается управлять размерами и количеством ее составляющих, которые могут либо расти, либо растворяться. Для получения максимального эффекта важно не дать им успеть ни того, ни другого, что достижимо за счет подбора режимов, оказывающих большое влияние на тепловой баланс и на процесс кристаллизации.

С измельчением структуры растет отношение площади теплоотвода кристаллизующихся образований к их объему, к массе объема, растет площадь границ, которые превышают объем самих зерен. На фоне изложенных управляемых структурных изменений удалось получить благоприятное изменение химических, физических, и триботехнических свойств наноструктурированного поверхностного слоя. Это в свою очередь увеличивает интенсивность химических реакции, каталитическую и диффузионную активность поверхностей трения на всех уровнях: атомарном, кристаллографическом и микроструктурном [8,6].

Причинами увеличения износостойкости наноструктурированной поверхности является увеличение доли поверхностных атомов, границ зерен, квантовые и наноразмерные эффекты. С измельчением структуры растет площадь границ, превалирующую роль начинают при этом играть созидательные творческие процессы самой природы, заключающиеся в самосборке и самоорганизации формирующихся структур [8]. Другие стадии превращений: рост кристаллов, полиморфные, аллотропические, фазовые превращения, из-за высоких скоростей охлаждения и высокой степени переохлаждения не успевают проявляться.

Исследования механизма формирования структур, отработка режимов упрочнения поверхности позволили реализовать следующие эффекты:

- получить структуры в наноразмерном диапазоне;
- увеличить время выдержки расплавленного металла в сравнении с лазерной обработкой за счет выделения скрытой теплоты кристаллизации, что обеспечило полноту аустенитного превращения, интенсивную диффузию и гомогенизацию аустенита по углероду;
- весь углерод находится в твердом растворе, карбиды в структуре не обнаруживаются, дисперсность структур соответствует наноразмерному диапазону, (ниже балльности зерна по шкале 3 ГОСТ 8233-56), что вместе обеспечило получение высокой твердости, пластичности и вязкости одновременно. Электронная микроскопия бандажной стали приведена на рисунке 3 (А, Б, В);
- изменение химического состава за счет легирования при оплавлении и структуры повлекло изменение параметра кристаллической решетки близко к предельному значению, что исключило вероятность разрушения схватыванием;
- микротвердость повысилась в сравнении с лазерной обработкой на 2000-3000 Мпа, в сравнении с ТВЧ на 200-300 единиц Нv;
- структура метастабильного аустенита склонна к прямому и обратному $\gamma \leftrightarrow \alpha$ превращению в процессе механического воздействия, что оказывает существенное влияние на повышение износостойкости;
- в структуре при увеличении в 4 тыс. раз обнаруживаются мелкие включения зародышевой фазы глобулярного графита (рисунок 3 А). При увеличениях 100-200 тыс., четко просматривается направленность кристаллизующихся структур (рисунок 4);
- масс-спектрометрические исследования показали наличие фуллеренов C₆₀ и их производных, имеющих высокую твердость и сфероидальную топологию, не обладающих абразивным действием [9].

Изучение механизма износа позволило установить:

- испытания в различных отраслях промышленности подтвердили высокую износостойкость;

- под действием высоких контактных давлений и температур углерод поверхностного слоя диффундирует по границам зерен вглубь (рисунок 5), создавая фулереноподобные трубчатые структуры. Нагрев и охлаждение в процессе эксплуатации способствует релаксации внутренних напряжений за счет многократного отпуска и закалки микрообъемов поверхностного слоя. Износостойкость упрочненных образцов при трении скольжения по схеме диск-палец в лабораторных условиях повышалось в 100-200 раз [7];

- в процессе промышленных испытаний неоднократно отмечено уменьшение интенсивности износа ответных деталей («отверстия»), что связано с наличием глобулярного графита, снижением температуры и коэффициента трения в зоне контакта, отсутствием карбидов и высокой дисперсностью аустенита играющего роль сухой смазки;

- температура в зоне контакта и коэффициент трения при испытаниях по схеме диск-палец снижались в 4-5 раз.

Высокая экономичность технологии определяется прямыми затратами: расход электроэнергии на 1 колесную пару составляет 15-20 Квт. Расход специальных электродов низкой стоимости 30-50 г/м² поверхности. Продолжительность упрочнения колесной пары один час. Энергия затрачиваемая на упрочнение при ЭДУ 50-60 дж/мм³, энергия упрочнения ПДУ в процессе эксплуатации без затрат, энергия разрушения до 10⁸ дж/мм³ [10].



Рисунок 1. Структура упрочненной поверхности с текстурированным высокодисперсным мартенситом, $\times 4\,000$



Рисунок 2. Электронная микроскопия, $\times 150\,000$, иглы мартенсита

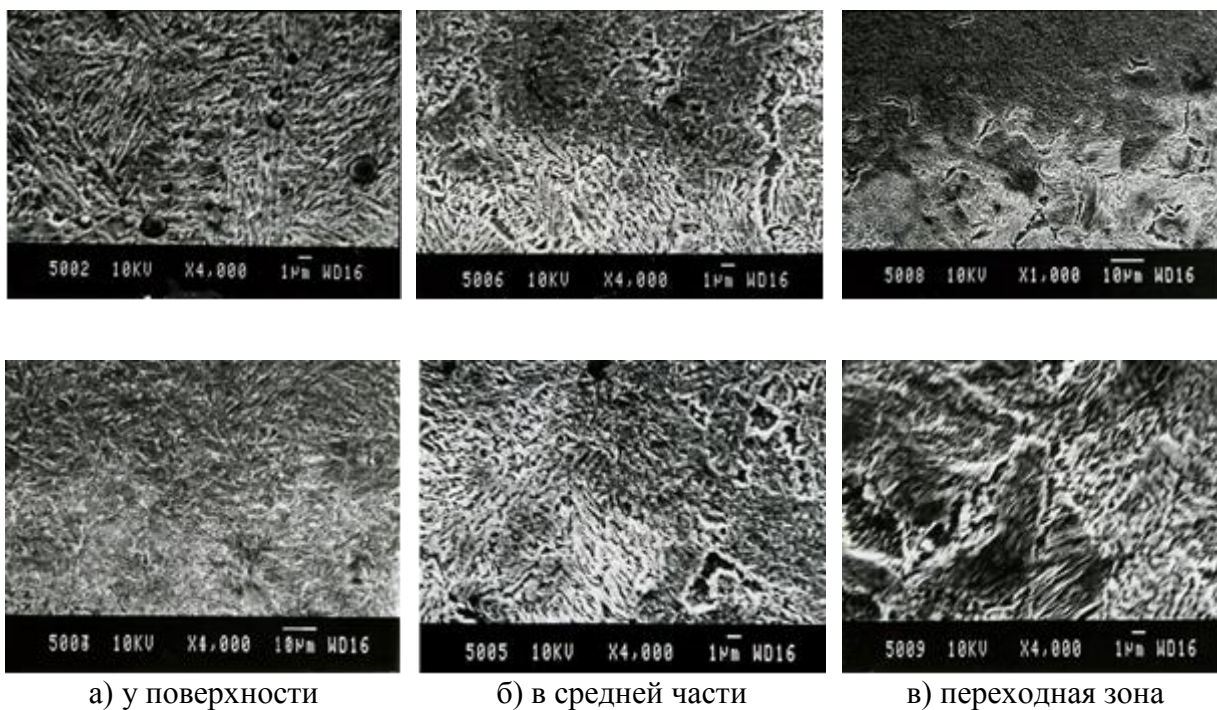


Рисунок 3. Электронная микроскопия упрочненного слоя бандажа

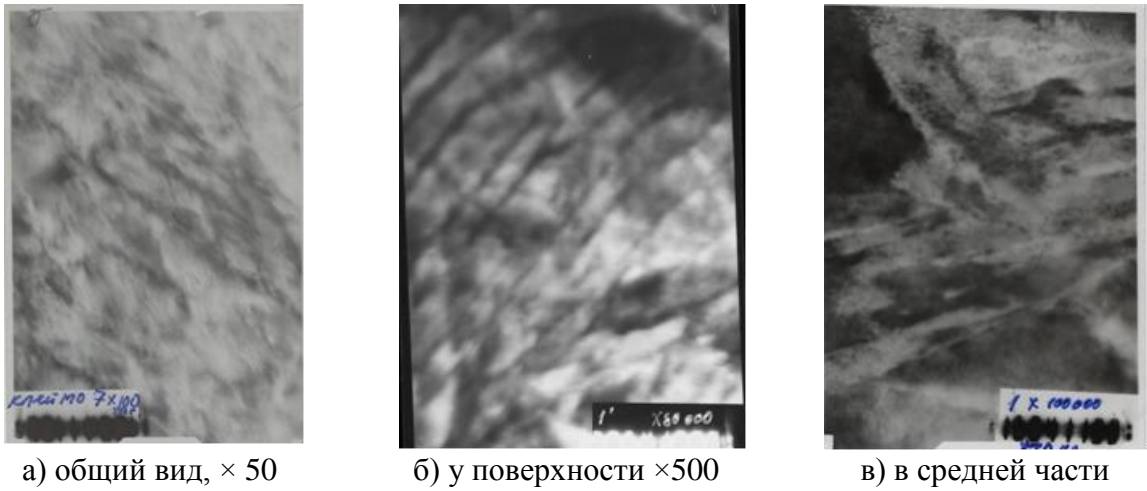


Рисунок 4. Электронная микроскопия методом фольг.
Образец бандажной стали, $\times 100\ 000$

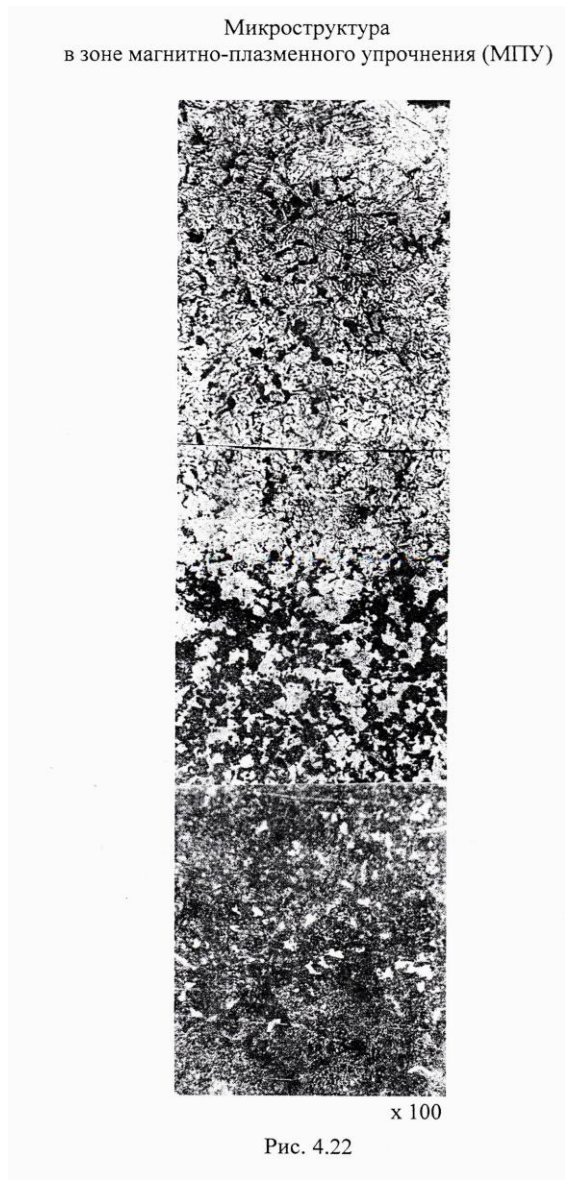


Рисунок 6. Микроструктура в зоне магнитно-плазменного упрочнения

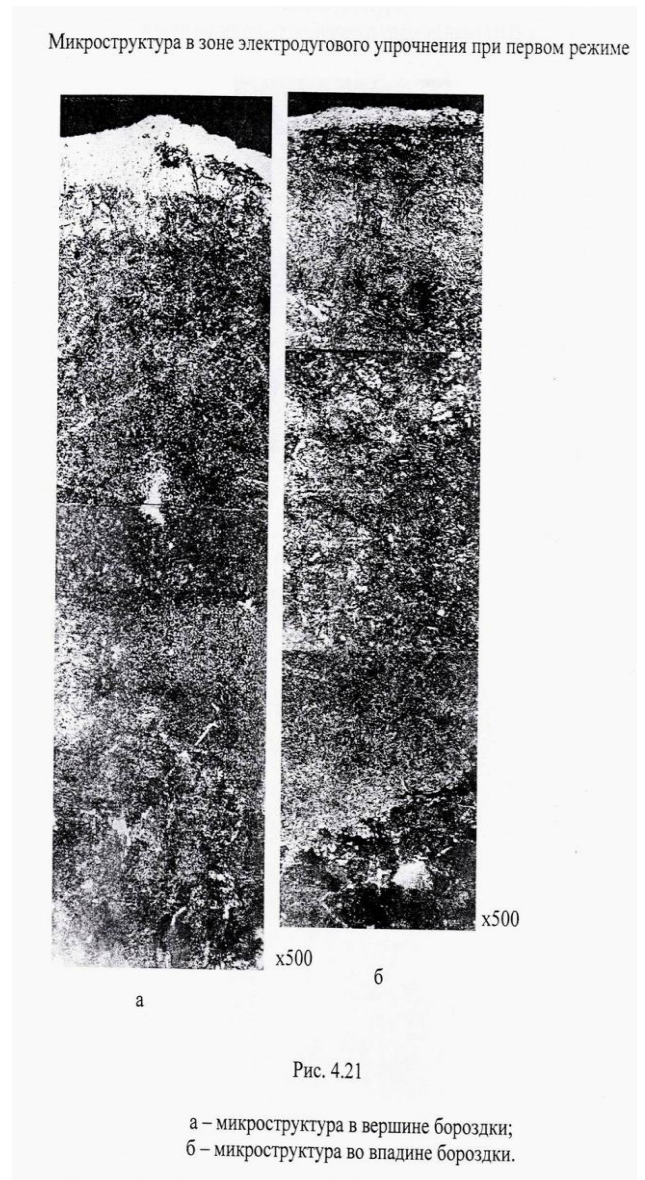


Рисунок 7. Микроструктура в зоне электродугового упрочнения

В отчете ВНИИЖТ указаны положительные стороны технологии ЭДУ: хорошая прирабатываемость, связанная с наличием в структуре остаточного аустенита, отсутствие сколов, вырывов и выщербин, отсутствие износа колодок, отсутствие претензий эксплуатационников. Отсутствие следов сдвига и поперечных трещин, распространяющихся в глубь металла после мехобработки, изменение характера износа с катастрофического на мягкий, окислительный, присущий для низких скоростей изнашивания.

В расчетах технико-экономического обоснования технологии ЭДУ заложено увеличение пробега между обточками на 21,4%, увеличение ресурса бандажей до 600 тыс. км вместо 100 без упрочнения, долговечность бандажей увеличена до 4,44 года вместо 3,66 года без упрочнения, уменьшение количества обточек до 4,44 вместо 6. Не учтена возможность увеличения общего количества обточек в связи с увеличением срока службы и уменьшением потерь металла. Отмечено сокращение потребности бандажей на 12,5%, индекс доходности 14,03, с дисконтом 6,95, срок окупаемости 1,75 и 1,65 соответственно. Экономический эффект на 800 колесных пар за расчетный период ЧД – 4562,5; ЧДД – 2431,8 тыс. руб. С учетом эксплуатируемого парка тепловозов порядка 8,5 тысяч экономический эффект составит 274 и 146 млн руб. соответственно. Масса положительных технических, экономических эффектов, весьма заниженных по понятным причинам. При окончательной доводке авторами технологии ресурс бандажей может быть увеличен до 10 лет, для этого у авторов разработки есть все основания.

Реализованная совокупность в процессе промышленных испытаний показала возможность значительного увеличения долговечности колесных пар тепловозов низко затратным способом, что дает основание для ускоренного внедрения и на проведение более глубоких исследований.

После составления отчета из-за надуманных несоразмерных требований ремонтной службы и отказа в финансировании авторы были устранены от

продолжения работ. Однако в это время распоряжением Якунина В.И. от 28.04.06 г. № 822-р в план научно-исследовательских работ ОАО РЖД на 2006 год была включена переходящая тема: «Технология электродугового упрочнения локомотивных колес по гребню и кругу катания». Постановка данной тематики была согласована с главными инженерами дорог и ЦТ. В то же время ЦТ на вторичное предложения Университета (УГНТУ) продолжить работы и заключить договора ответило отказом, мотивируя тем, что на сети дорог уже внедрено пять технологий и внедрять шестую не имеет смысла. Авторы предприняли ещё одну попытку, сделав доклад в Ижевском филиале управления Горьковской железной дороги в присутствии её главного инженера. Был составлен протокол и заключение об открытии тематики и ее финансировании. ОАО РЖД тут же ответило отказом. Сколько веревочке не виться, конец всё равно будет. Через несколько лет обман вскрылся. Опционный - лицензионный договор на проведение работ по адаптации запатентованной технологии к условиям работы ЖД транспорта был заключен с Уфимским тепловозоремонтным заводом. Все работы проводились под контролем представителей УРО ВНИИЖТ. За выполненные работы из-за отсутствия у завода денежных средств оплата не была произведена.

Результаты предварительных испытаний были получены без доводки, без оптимизации, без обучения оператора, без открытия финансирования, далеки от окончательных возможностей технологии, которые остаются не реализованными. О каком прогрессе можно говорить при таком беспардонном отношении руководства ОАО РЖД к отечественным разработкам и ее авторам.

Выводы

Анализ полученных результатов по трем экспериментальным тепловозам в сравнении с контрольными позволяет отметить следующее:

- время эксплуатации контрольных тепловозов за период наблюдения в среднем на 31% ниже экспериментальных с упрочненными бандажами из-за простоев на переточках;

- количество заходов на переточку бандажей контрольных тепловозов без упрочнения при много меньшем пробеге составляло 2-4, из них до 2-х полных, переточки на экспериментальных тепловозах не производились;

- потери металла по толщине упрочненных бандажей в 3-4 раза меньше с учетом переточек, по толщине гребня в 2 раза;

- проведено повторное упрочнение 1 и 6 колесных пар без переточки профиля в пределах допуска на толщину реборды на тепловозе ЧМЭ 3Т 7090, межремонтный пробег до первой переточки профиля составил 20 месяцев, повышенного износа колодок не отмечено;

- ВНИИЖТ отмечена хорошая прирабатываемость бандажей и отсутствие износа контртела (рельсов) в процессе лабораторных испытаний;

- при доводке технологии авторами долговечность бандажей будет увеличена до 10 лет;

- экономический эффект формируется за счет увеличения времени пробега между ремонтами, за счет уменьшения потерь металла, за счет увеличения времени эксплуатации и наработки тепловозов, за счет увеличения долговечности и количества возможных переточек вследствие экономии металла;

- работы по запатентованной технологии ведутся без участия и согласия авторов, что чревато нарушением патентного законодательства.

Список используемых источников

1 Загорский В. К., Загорский Я. В., Приказчиков В. А. Повышение долговечности элементов контактной пары колесо-рельс //Механика и трибология транспортных систем – 2003: сб. докл. междунаро. конгресса в 2-х т. Ростов-на-Дону, 2003. - Т. 1. С. 345-347.

2 Перов С. М., Ежевская Л. А., Загорский В.К. Применение электродугового упрочнения для повышения срока службы бандажей колесных пар маневровых тепловозов //Фундаментальные и прикладные исследования–транспорту–2010: тр. /Всерос. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2000. - Ч. 1. С. 3-4.

3 Ежевская Л.А. Эксплуатационные испытания бандажей колесных пар, упрочненных электродуговым методом//Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: тр. /Третьей науч.-практ. конф.- М.:МИИТ, 2000. С. 1-6.

4 Гжиров Р. И. Краткий справочник конструктора. Л. Машиностроение, 1984. 463 с.

5 Крагельский И. В. Трение, износ, и смазка. Справочник. В 2-х кн. М.: изд-во «Машиностроение», 1968. - Кн. 1. 478 с.

6 Способ химико-термической обработки поверхности металлических деталей/ Загорский Я.В., Загорский А.В., Загорский В.К. : пат. №2416674 С1, МПК С23С 8/20, опубл. бюл. №11от 20 04 2011.

7 Загорский В.К., Рудаков А.А. Технология электродугового упрочнения поверхности деталей машин //Нефть и газ: межвуз. сб. науч. ст./ УГНТУ. 1999. Вып.1. С.136-139.

8 Балабанов В.Б., Балабанов И.Б. Нанотехнологии. М.: ЭКСМО, 2010. 380 с.

9 Загорский В.К., Загорский Я.В., Попова С.В. Механизм упрочнения деталей машин электродуговым методом: материалы 11-ой междунар. науч.-техн. конф. (14-17 апр. 2009г.). С-Пб, 2009. - Ч. 2. С. 119-122.

10 Загорский В. К. Разработка технологии поверхностного упрочнения электрической дугой: дис.... д-ра техн. наук. Уфа, 1993. 55 с.

References

- 1 Zagorskii V. K., Zagorskii Ya. V., Prikazchikov V. A. Povyshenie dolgovechnosti elementov kontaktnoi pary koleso-rel's //Mehanika i tribologiya transportnyh sistem 2003: sb. dokl. mezhdunarod. kongressa v 2-h t. Rostov-na-Donu, 2003. - T. 1. S. 345-347.
- 2 Perov S. M., Ezhevskaya L. A., Zagorskii V.K. Primenenie elektrodugovogo uprochneniya dlya povysheniya sroka sluzhby bandazhei kolesnyh par manevrovyyh teplovozov //Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya transportu 2010: tr. /Vseros. nauch.-prakt. konf. Ekaterinburg, 2000. - Ch. 1. S. 3-4.
- 3 Ezhevskaya L.A. Ekspluatatsionnye ispytaniya bandazhei kolesnyh par, uprochnennyh elektrodugovym metodom//Resursosberegayushie tehnologii na zheleznodorozhnom transporte: tr. /Tret'ei nauch.-prakt. konf.- M.:MIIT, 2000. S. 1-6.
- 4 Gzhirov R. I. Kratkii spravochnik konstruktora. L. Mashinostroenie, 1984. 463 s.
- 5 Kragel'skii I. V. Trenie, iznos, i smazka. Spravochnik. V 2-h kn. M.: izd-vo «Mashinostroenie», 1968. - Kn. 1. 478 s.
- 6 Sposob himiko-termicheskoi obrabotki poverhnosti metallicheskih detalei/ Zagorskii Ya.V., Zagorskii A.V., Zagorskii V.K. : pat. №2416674 S1, MPK S23S 8/20, opubl. byul. №11 ot 20 04 2011.
- 7 Zagorskii V.K., Rudakov A.A. Tehnologiya elektrodugovogo uprochneniya poverhnosti detalei mashin //Neft' i gaz: mezhvuz. sb. nauch. st./UGNTU. 1999. Vyp.1. S.136-139.
- 8 Balabanov V.B., Balabanov I.B. Nanotehnologii. M.: EKSMO, 2010. 380 s.
- 9 Zagorskii V.K., Zagorskii Ya.V., Popova S.V. Mehanizm uprochneniya detalei mashin elektrodugovym metodom: materialy 11-oi mezhdunar. nauch.-tehn. konf. (14-17 apr. 2009g.). S-Pb, 2009. - Ch. 2. S. 119-122.

10 Zagorskii V. K. Razrabotka tehnologii poverhnostnogo uprochneniya elektricheskoi dugoi: dis... d-ra tehn. nauk. Ufa, 1993. 55 s.

Сведения об авторах

About the authors

Загорский В.К., д-р техн. наук, профессор кафедры «Механика и конструирование машин» ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

V.K. Zagorskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair "Mechanic and Construction Machines", FSBEI NPE "Ufa State Petroleum Technological University", Ufa, the Russian Federation

e-mail: kalkutta@mail.ru

Загорский Я.В., канд. техн. наук, инженер по автоматизации ОАО «ЛУКОЙЛ» г. Уфа, Российская Федерация

Ya.V. Zagorskiy, Candidate of Engineering Sciences, Automation Engineer LLC "Lukoil" Ufa, the Russian Federation