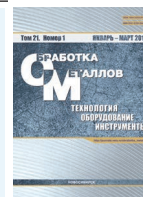




Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Повышение надежности работы тяговых электродвигателей локомотивов за счет применения электроискровой обработки коллекторных пластин

Юрий Титов^{1, а, *}, Дмитрий Белан^{2, б}, Георгий Тодер^{2, в}, Анна Отраднова^{2, д}

¹ Омский государственный технический университет, пр. Мира, 11, г. Омск, 644050, Россия

² Омский государственный университет путей сообщения, пр. К. Маркса, 35, г. Омск, 644046, Россия

^а <http://orcid.org/0000-0002-6454-8310>, tyrin-88@mail.ru, ^б <http://orcid.org/0000-0002-7168-103X>, Baltazar.13@mail.ru,
^в <http://orcid.org/0000-0001-5000-7137>, georgyt@mail.ru, ^д <https://orcid.org/0000-0001-7801-753X>, anna3812_88@mail.ru,

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 629.423.31

История статьи:

Поступила: 21 октября 2018
Рецензирование: 15 января 2019
Принята к печати: 29 января 2019
Доступно онлайн: 15 марта 2019

Ключевые слова:

Тяговый электродвигатель
Коллектор
Генератор импульсов
Углерод
Электроискровая обработка

АННОТАЦИЯ

Введение. Одной из важнейших задач локомотиворемонтного производства российских железных дорог является повышение срока службы подвижного состава: локомотивов и вагонов. В данной статье рассматривается применение новой методики ремонта коллекторно-щеточного узла электровоза, что позволит улучшить коммутационные характеристики, повысить надежность работы тяговых электродвигателей (ТЭД) и увеличить время эксплуатации всего электровоза в целом. **Целью работы** является повышение надежности работы и ресурса ТЭД-электровозов. **Методы исследования.** Для снижения коэффициента трения между пластинами коллектора и щетками и повышения срока службы коллекторно-щеточного узла предлагается выполнять науглероживание поверхностного слоя медных пластин коллектора методом электроискровой обработки (ЭИО). Метод электроискровой обработки, по сравнению с традиционными механическими методами ремонта тяговых электродвигателей, является более предпочтительным, так как позволяет повысить износостойкость контактной поверхности коллекторных пластин, что обеспечивает требуемые эксплуатационные свойства и повышает надежность работы коллекторно-щеточного узла. **Результаты.** В статье предложен технологический процесс выполнения ремонта коллектора электродвигателя, отличающийся применением электроискровой обработки с формированием углеродистого поверхностного слоя на контактной поверхности коллектора. Представлено устройство для формирования углеродистого слоя на рабочей поверхности коллектора тяговых электродвигателей посредством электроискровой обработки. Даны результаты атомно-эмиссионного спектрального анализа науглероженного медного образца, которые показали, что доля углерода в науглероженном медном образце повысилась на 0,1 % по сравнению с медной пластиной, не подвергавшейся электроискровой обработке. Представлена оценочная модель зависимости глубины композиционного слоя от напряжения, подаваемого на электроды. **Обсуждение.** Представленная в статье оценочная модель позволяет: 1) произвести предварительный оценочный расчет зависимости глубины и толщины слоев, образующих композиционную структуру поверхности, подвергшейся ЭИО, от подаваемого на электроды напряжения; 2) на основании этого расчета провести экспериментальную ЭИО поверхности коллектора ТЭД с регулированием толщины и глубины слоев посредством описанной методики; 3) экспериментально определить режимы обработки для исследуемых образцов.

Для цитирования: Повышение надежности работы тяговых электродвигателей локомотивов за счет применения электроискровой обработки коллекторных пластин / Ю.В. Титов, Д.Ю. Белан, Г.Б. Тодер, А.О. Отраднова // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т. 21, № 1. – С. 16–24. – doi:10.17212/1994-6309-2019-21.1-16-24.

Введение

Одна из важнейших проблем современных российских железных дорог – повышение эффективности локомотиворемонтного производства [1–3]. Применение прогрессивных техно-

логий технического обслуживания и ремонта локомотивов позволит в некоторой степени решить эту проблему.

Поэтому разработка и внедрение новых способов ремонта оборудования, результатом применения которых стало бы значительное увеличение срока эксплуатации подвижного состава: электровозов, тепловозов, вагонов – актуальная задача локомотивного хозяйства. Тяговый электродвигатель (ТЭД) – одна из самых важных

*Адрес для переписки

Титов Юрий Владимирович, ассистент
Омский государственный технический университет
пр. Мира, 11, 644050, г. Омск, Россия
Тел.: +7 (913) 681-56-64, e-mail: tyrin-88@mail.ru

частей электровоза. Надежность работы двигателя в основном связана с исправностью коллекторно-щеточного узла (КЩУ) [4]. Физическим и химическим воздействиям и разнообразным разрушениям в большей степени подвержен коллектор ТЭД. Поэтому поверхность коллектора является наиболее уязвимым звеном КЩУ. Состояние ТЭД, как и других электрических машин постоянного тока (ЭМПТ), определяется при визуальном контроле контактной поверхности щеток и коллектора.

Коллектор ТЭД, находящийся в идеальных условиях эксплуатации, должен иметь на контактной поверхности коллекторных пластин с электрографитными щетками гляцевую пленку (политуру) повышенной твердости, которая значительно снижает износ коллекторных пластин и повышает коммутационную устойчивость ЭМПТ [4]. Разрушение политуры приводит к повышенному износу коллектора, а следовательно, к ухудшению коммутационных свойств ЭМПТ и, как следствие, необходимости осуществления ремонта КЩУ. Замена всего КЩУ происходит согласно технологическому процессу (ТП) ремонта только при достижении минимальных допустимых конструкционных размеров, ниже которых эксплуатация данного узла запрещена. В противном случае в отсутствие иных неисправностей замена экономически неэффективна, так как остальные детали КЩУ имеют значительно больший ресурс работы. Поэтому при ремонте ТЭД, как правило, осуществляются определяемые по ТП виды ремонта электровоза в заданном объеме. Осуществляемая механическая обработка коллектора направлена на восстановление требуемых эксплуатационных и технологических параметров ЭМПТ: шероховатость контактной поверхности коллектора – не более 3,2 мкм; эксцентриситет – не более 8 мкм; биение – не более 0,08 мм.

Большинство применяемых при ремонте КЩУ механических, электрофизических и электрохимических, физико-химических методов разработаны на основе современных достижений науки и техники [5–21]. Самым распространенным способом ремонта коллекторных пластин остается механическая обработка поверхности, имеющая ряд существенных недостатков: уменьшение диаметрального размера коллектора, износ режущего инструмента,

высокая шероховатость поверхностей (более 3,2 мкм).

Таким образом, целью данной работы является повышение надежности работы и ресурса ЭМПТ, и в частности ТЭД-электровозов. Для достижения поставленной цели необходимо провести анализ существующего технологического процесса ремонта и обосновать эффективность совершенствования технологии ремонта ТЭД за счет внедрения дополнительной операции ЭИО.

Методика исследований

Современные методы формообразования поверхностей при изготовлении деталей основаны на различных физико-химических процессах и частично могут быть лишены недостатков, присущих обработке резанием, но при ремонте коллекторов ТЭД их не применяют главным образом по причине несоответствия нормативной документации.

Известным фактом является то, что коэффициент трения между графитовыми поверхностями в несколько раз меньше, чем между медной и графитовой поверхностью [16]. Поэтому повышение содержания углерода в поверхностном слое коллекторных пластин (которые выполняются из меди) может продлить срок службы КЩУ за счет снижения силы трения в этом узле. Повысить содержание углерода возможно за счет нанесения углеродистых покрытий.

Для обработки коллекторов ТЭД наиболее перспективным электрофизическим методом считается метод, относящийся к группе электроэрозионных методов электроискровой обработки (ЭИО), в котором применяется угольный анод. Принцип метода ЭИО заключается в переносе вещества угольного электрода (анода) на поверхность медных пластин коллектора (катода) во время электрических разрядов [17, 19, 20]. Основные преимущества метода ЭИО следующие:

- практически точечное покрытие заготовки (радиусом менее миллиметра);
- перенос большого количества вещества в нужную область обрабатываемой поверхности (60...80 %);
- отсутствие необходимости специальной защиты необрабатываемой поверхности заготовки.

Таким образом, метод ЭИО можно применять в целях повышения содержания углерода в поверхностном слое медных пластин коллектора.

Для учета ТП ремонта ЭМПП предлагается, наряду с операциями сборки и разборки, реализовать следующий порядок выполнения операций.

1. Обточить коллектор на специализированном токарном станке.

2. Осуществить продорожку коллекторных пластин.

3. ЭИО с формированием углеродистого поверхностного слоя на катоде, которым служит коллекторная пластина.

4. Отделочные операции.

В процессе ЭИО к катоду подводится угольный анод, на последний от генератора импульс подается напряжение 1500...3000 В. Частота сигналов составляет 100 Гц. Подводя анод к пластине, мы можем наблюдать прямой полярный эффект [18]: короткий искровой разряд вблизи пластины, продолжительность которого $10^{-6} \dots 10^{-3}$ с, а также съем и перенос на пластину некоторого объема графита. Таким образом, микрочастицы угольного электрода внедряются в поверхность обрабатываемой пластины, в результате чего уменьшится коэффициент трения между пластинами и щетками. Кроме того, материал электрода практически не разрушается под действием разрядов, поэтому его можно эффективно использовать, многократно повторяя разряд при перемещении анода вдоль пластины.

ЭИО медных коллекторных пластин позволит сформировать на обработанной поверхности композиционный слой с улучшенными физико-химическими и механическими свойствами.

Оценка и сравнение полученных после ЭИО свойств поверхностного слоя пластины была осуществлена в результате эксперимента с медным образцом марки М2 на установке с позиционированием электродов относительно поверхности коллектора электрической машины [9, 18].

Результаты и их обсуждение

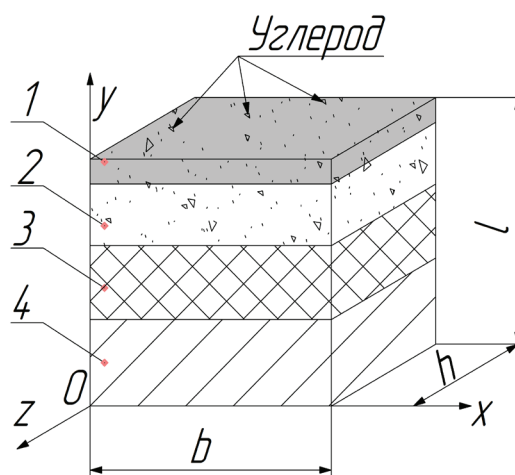
После выполнения ЭИО медного образца установлено, что значение шероховатости обработанной поверхности достигает показателя R_a 0,3 мкм при регламентированной ТП ремонта 1,6 мкм. Таким образом, внедрение дополнительной операции ЭИО в ТП и сокращение базовых отделочных операций (исключение шлифования

и снижение времени на полирование) позволит сократить технологический процесс ремонта ТЭД и улучшить качество поверхности коллектора ЭМПП (шероховатость поверхности не более 1,6 мкм).

Анализ полученных данных новой композиционной структуры показал, что глубина внедрения углерода в медный образец коллекторной пластины ТЭД ТЛ-2К1 составила порядка 3...4 мкм. Данные измерения производились на микроскопе JCM-5700 для микроструктурного анализа металлов и сплавов.

Определение содержания углерода в медном образце после выполнения ЭИО производилось с помощью атомно-эмиссионного спектрального анализа. Результаты исследований показали, что массовая доля углерода в образце увеличилась на 0,1 %.

Поскольку в области обработки выделяется значительная тепловая энергия, обработанная поверхность приобретает новую структуру, которую можно считать (в соответствии с экспериментальными данными) композиционной. Эта структура образована несколькими расположенными одна под другой зонами (слоями): 1) верхней; 2) диффузионной; 3) зоной, подвергшейся термическому воздействию (см. рисунок).



Структура контактной области коллекторной пластины ТЭД, подвергшейся ЭИО.

Зоны:

1 – верхняя; 2 – диффузионная; 3 – термического влияния; 4 – не подвергшееся изменениям вещество

The structure of contact element of the traction motor collector plate subjected to electrical discharge machining:

1 – top layer; 2 – diffusion zone; 3 – zone of thermal influence; 4 – base metal

Нормальное функционирование ЭМПТ обеспечивается при шероховатости коллекторной пластины не более 0,8 мкм, одинаковой толщине сформированного композиционного слоя и равномерном распределении углерода в этом слое. Зная зависимость толщины композиционного слоя от различных параметров ЭИО, можно посредством регулировки этих параметров с помощью предложенной установки [7] обеспечивать постоянство толщины слоя вдоль всей поверхности.

Одним из параметров ЭИО, который можно регулировать, является напряжение между электродами. С целью определения зависимости глубины композиционного слоя l_1 от напряжения между электродами U предлагается следующая физическая модель.

Так как подаваемый на электроды импульс имеет прямоугольную форму, напряжение электрического поля между электродами будем считать постоянным, но резко возрастающим в начале и резко убывающим в конце движения. При постоянной скорости движения анода относительно катода v_A с течением времени расстояние между анодом и заготовкой линейно убывает, а напряженность электрического поля между катодом и анодом линейно возрастает.

Внешнее электрическое поле между электродами индуцирует ток электронов катода из приповерхностных слоев к поверхности в узкой области вблизи обрабатываемого участка поверхности. Следовательно, избыточные электроны создают в поверхностном слое меди переменное электрическое поле, стремящееся скомпенсировать внешнее поле между катодом и анодом, модуль напряженности которого пропорционален модулю напряженности внешнего поля, с одной стороны, и поверхностной плотности заряда, сформированного электронами поверхностного слоя, – с другой. Поэтому поверхностная плотность заряда, концентрация электронов и связанная с концентрацией через подвижность удельная проводимость вблизи обрабатываемого участка заготовки также линейно возрастают с приближением анода.

Пусть δ – очень малое время, в течение которого внешнее поле выключается, напряженность результирующего электрического поля в обрабатываемой области катода резко обращается в нуль, и электрический ток в области контакта прекращается. Тогда, согласно зако-

нам Джоуля–Ленца и Ома в дифференциальной форме, количество теплоты, выделившееся при прохождении импульсного тока, прямо пропорционально U^3 между электродами, обратно пропорционально v_A^3 сближения электродов и δ^2 продолжительности прекращения тока:

$$Q \sim \frac{\varepsilon_0 U^3}{v_A^3 \varepsilon^2}, \quad (1)$$

где ε_0 – электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума), а коэффициент пропорциональности зависит от свойств меди и формы области протекания тока.

Количество теплоты, которое выделяется в результате прохождения тока, расходуется: 1) на нагревание приконтактной области поверхности заготовки, структура которой изменяется в результате обработки, – верхнего слоя, диффузионной зоны и зоны термического влияния; 2) на плавление внутренней части этой области – верхнего слоя и диффузионной зоны:

$$Q' = \eta Q. \quad (2)$$

Коэффициент $\eta < 1$ учитывает потери теплоты на нагревание окружающей среды – воздуха и областей коллекторной пластины, в которых после воздействия импульсного тока изменения структуры несущественны или отсутствуют.

Пусть c_m – удельная теплоемкость; λ – удельная теплота плавления; ρ – плотность меди; $\Delta T = T' - T$ – повышение температуры рассматриваемой зоны; T' – температура плавления меди (при этом принимается допущение, что температура в зоне термического влияния в отличие от зоны, не подвергшейся влиянию, достигает температуры плавления с учетом возможного перегрева и измеряется экспериментально); T – начальная температура меди (температура окружающей среды); l_3 – максимальная глубина зоны термического влияния; l_2 – максимальная глубина диффузионной зоны. Считается приближенно, что зона влияния процесса обработки состоит из нескольких сферических или цилиндрических слоев различной толщины с различными физико-химическими свойствами. Обозначим измеряемое в эксперименте отношение $l_3 / l_2 = \kappa < 1$. Тогда, учитывая выражения (1) и (2), получим соотношение для максимальной глубины диффузионной зоны и максимальной глубины зоны термического влияния:

$$l_3 = \gamma \frac{U}{v_A} \left[\frac{\varepsilon_0}{\left(\frac{c_m \Delta T}{\kappa^3} + \lambda \right) \rho} \right]^{1/3}; \quad (3)$$

$$l_2 = l_3 / \kappa = \gamma \frac{U}{\kappa v_A} \left[\frac{\varepsilon_0}{\left(\frac{c_m \Delta T}{\kappa^3} + \lambda \right) \rho} \right]^{1/3}, \quad (4)$$

где определяемый экспериментально коэффициент γ описывает свойства заготовки и установки, в частности, зависит от формы слоя, подвергнутого влиянию при обработке, размеров области, в которой протекает ток, подвижности электронов заготовки, времени, в течение которого прекращается ток, величины тепловых потерь.

Формулы (3) и (4) в рамках описанной модели выражают теоретическую зависимость максимальной глубины получаемых в результате ЭИО диффузионной зоны и зоны термического влияния от величины подаваемого на электроды напряжения, скорости анода (или времени протекания тока).

В результате сопоставления результатов экспериментов с результатами расчетов по введенным зависимостям (формулы (3) и (4)) установлено, что расхождение между ними не превышало относительной погрешности $\pm 5\%$. Измерения максимальной глубины диффузионной зоны и максимальной глубины зоны термического влияния производились на микроскопе JSM-5700 для микроструктурного анализа металлов и сплавов.

Выводы

Описанный в работе метод ЭИО поверхности эффективнее применяемых в настоящее время в подавляющем большинстве локомотивных ремонтных депо механических методов ремонта ТЭД, так как включает в себя повышение износостойкости поверхности коллекторных пластин ЭМПТ, а следовательно, позволяет получить требуемые эксплуатационные свойства поверхностного слоя и повысить надежность работы КЩУ, о чем свидетельствуют полученные результаты атомно-эмиссионного спектрального анализа медного образца, подвергнутого ЭИО.

За счет применения ЭИО в поверхностный слой коллекторных пластин можно внедрить графит, что улучшит коммутационные свойства, а следовательно, повысит ресурс работы ТЭД и

увеличит эксплуатационную надежность локомотивов в целом.

В статье проведен анализ существующего технологического процесса ремонта, обосновано внедрение дополнительной операции электроискрового легирования в ТП ремонта коллектора ТЭД с дальнейшим применением отделочных операций при необходимости. Сокращение в ТП отделочных операций и применение операции ЭИО позволит уменьшить затрачиваемое время ремонта ТЭД и снизить шероховатость контактной поверхности коллектора ЭМПТ до величины менее $R_a 1,6$ мкм.

Представленная в работе оценочная теоретическая модель позволяет: 1) произвести предварительный расчет глубины и толщины слоев, образующих композиционную структуру поверхности, подвергнутой ЭИО, при известном подаваемом на электроды напряжении; 2) на основе полученных результатов, провести экспериментальную ЭИО поверхности коллектора ТЭД с регулированием толщины и глубины слоев посредством описанной методики; 3) экспериментально определить значения параметров модели (коэффициентов κ и γ) для исследуемых образцов.

Список литературы

1. Распоряжение президента ОАО «РЖД» от 17.01.2005 № 3р «О системе технического обслуживания и ремонта локомотивов». – М.: ОАО «РЖД», 2005. – 8 с.
2. Распоряжение президента ОАО «РЖД» от 13.01.2006 № 181 «Дополнительные меры по повышению уровня обеспечения безопасности движения в локомотивном хозяйстве железных дорог ОАО «РЖД». – М.: ОАО «РЖД», 2006. – 7 с.
3. Поручение первого вице-президента ОАО «РЖД» от 26.08.2010 № П-ВМ-120 «Об оптимизации структуры и повышении эффективности локомотиворемонтного комплекса». – М.: ОАО «РЖД», 2010. – 6 с.
4. Авилов В.Д., Петров П.Г., Моисеенок Е.М. К вопросу о повышении коммутационной устойчивости коллекторных электрических машин постоянного тока [Электронный ресурс] // Известия Транссиба. – 2010. – № 2 (2). – С. 2–6. – URL: [http://izvestia-transsiba.ru/images/journal_pdf/2010-2\(2\).pdf](http://izvestia-transsiba.ru/images/journal_pdf/2010-2(2).pdf) (дата обращения: 01.02.2019).
5. Степанов Ю.С., Сотников В.И., Ткаченко А.Н. Экспериментальное исследование процесса комбинированной обработки точением и алмазным выгла-



живанием торцовых поверхностей деталей из меди [Электронный ресурс] // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2012. – № 8. – С. 43–48. – URL: http://www.mashin.ru/files/2012/utp8_12.pdf (дата обращения: 01.02.2019).

6. Трибологические характеристики покрытий, полученных электроискровым легированием с последующим лазерным упрочнением / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Кардаполова, Р. Гайда, Б. Хородыски, О.В. Кавальчук // Трение и износ. – 2013. – Т. 34, № 2. – С. 175–180.

7. Влияние добавок нанодисперсного алмаза на свойства композиционного материала на основе бронзы / М.Н. Сафонова, П.П. Тарасов, А.С. Сыромятникова, А.А. Федотов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2013. – № 5 (695). – С. 3–6.

8. Коэффициенты трения покоя и скольжения для пар наиболее распространенных материалов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.dpva.info/Guide/GuidePhysics/Frication/FrictionToVariousPairs> (дата обращения: 01.02.2019).

9. Патент 137639 Российская Федерация, МПК Н 01 R 43/06 (2006.01). Установка для электроискровой обработки с позиционированием электродов относительно поверхности коллектора электрической машины / А.А. Кузнецов, Д.Ю. Белан, А.О. Отраднава, Т.В. Отраднава, И.В. Отраднава. – № 2013132790/07; заявл. 15.07.2013; опубл. 20.02.2014, Бюл. № 5.

10. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. В 2 т. Т. 1. Обработка материалов с применением инструмента / под ред. В.П. Смоленцева. – М.: Высшая школа, 1983. – 247 с.

11. Sandeep K. Current research trends in electrical discharge machining: a review [Electronic resource] // Research Journal of Engineering Sciences. – 2013. – Vol. 2 (2) – P. 56–60. – URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/93e1/7a1521161a361dc1600aa61618166f8de5e7.pdf> (accessed 01.02.2019).

12. Nishiwaki N., Hori S., Natsu W. Detection of electric discharge machining state by using ultrasonic technique [Electronic resource] // 17th World Conference on Nondestructive Testing, Shanghai, China, 25–28 October 2008. – Shanghai: Shanghai Exhibition Center, 2008. – P. 1–6. – URL: <https://www.ndt.net/article/wcndt2008/papers/128.pdf> (accessed: 01.02.2019).

13. Nonlinear servomotor in single pulse simulation of electrical discharge machining system modeling [Electronic resource] / H. Lee, A. Yahya, N.H. Khamis, S. Samion // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2016. – Vol. 1,

N 2. – P. 319–328. – URL: https://www.researchgate.net/publication/299433312_Nonlinear_Servomotor_in_Single_Pulse_Simulation_of_Electrical_Discharge_Machining_System_Modeling (accessed: 01.02.2019).

14. Equbal A., Sood A.K. Electrical discharge machining: an overview on various areas of research [Electronic resource] // Journal of Manufacturing and Industrial Engineering (MIE). – 2014. – Vol. 13, N 1–2. – P. 1–6. – URL: <http://www.qip-journal.eu/index.php/MIE/article/view/339> (accessed: 01.02.2019).

15. Choudhary A.K., Chhabra K.K. Effect of control parameters in electrical discharge machining – a review [Electronic resource] // International Journal of R&D in Engineering Science and Management. – 2014. – Vol. 1, N 3. – P. 72–76. – URL: http://www.rndpublications.com/wp-content/uploads/2014/10/Paper_1oct.pdf (accessed: 01.02.2019).

16. Gupta S., Singh G. A review on fabrication of copper graphite composite material & its mechanical properties [Electronic resource] // International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education. – 2017. – Vol. 3, iss. 3. – P. 537–543. – URL: <http://www.ijariie.com/PastIssueSelected.aspx?VolumeId=18> (accessed: 01.02.2019).

17. Ojha K., Garg R.K., Singh K.K. MRR improvement in sinking electrical discharge machining: a review [Electronic resource] // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2010. – Vol. 9, N 8. – P. 709–739. – URL: http://file.scirp.org/pdf/JMMCE20100800004_52519296.pdf (accessed: 01.02.2019).

18. Hsu W.-H., Chien W.-T. Effect of electrical discharge machining on stress concentration in titanium alloy holes // Materials. – 2016. – Vol. 9, iss. 12. – doi: 10.3390/ma9120957.

19. Reddy C.B., Reddy G.J., Reddy C.E. Growth of electrical discharge machining and its applications – a review [Electronic resource] // International Journal of Engineering Research and Development. – 2012. – Vol. 4, iss. 12. – P. 13–22. – URL: <http://www.ijerd.com/paper/vol4-issue12/C04121322.pdf> (accessed: 01.02.2019).

20. Singh A., Grover N.K., Sharma R. Recent advancement in electric discharge machining, a review [Electronic resource] // International Journal of Modern Engineering Research. – 2012. – Vol. 2, iss. 5. – P. 3815–3821. – URL: http://www.ijmer.com/papers/Vol2_Issue5/EN2538153821.pdf (accessed: 01.02.2019).

21. Banu A., Ali M.Y. Electrical discharge machining (EDM): a review // International Journal of Engineering Materials and Manufacture. – 2016. – N 1 (1). – P. 3–10. – doi: 10.26776/ijemm.01.01.2016.02.

Конфликт интересов

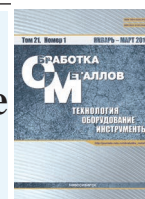
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2019 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Improving the Reliability of Locomotive Traction Motors due to the use of Electrical Discharge Machining of Collector Plates

Yurij Titov^{1, a, *}, Dmitriy Belan^{2, b}, Georgiy Toder^{2, c}, Anna Otradnova^{2, d}

¹ Omsk State Technical University, 11 Mira ave., Omsk, 644050, Russian Federation

² Omsk State Transport University, 35 Prospekt Marksa, Omsk, 644046, Russian Federation

^a <http://orcid.org/0000-0002-6454-8310>, tyrin-88@mail.ru, ^b <http://orcid.org/0000-0002-7168-103X>, Baltazar.13@mail.ru,

^c <http://orcid.org/0000-0001-5000-7137>, georgyt@mail.ru, ^d <https://orcid.org/0000-0001-7801-753X>, anna3812_88@mail.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 21 October 2018

Revised: 15 January 2019

Accepted: 29 January 2019

Available online: 15 March 2019

Keywords:

Traction electric motor

Collector

Pulse generator

Carbon

Electrical discharge machining

ABSTRACT

Introduction. One of the most important tasks of locomotive repair production of Russian Railways is to increase the service life of the rolling stock: locomotives and wagons. This paper discusses the use of a new method of repair of collector-brush unit of the electric locomotive, which will improve the switching characteristics, improve the reliability of electric traction motors (ETM) and increase the operating time of the entire electric locomotive as a whole. **The purpose of the work** is to improve the reliability and service life of ETM of electric locomotives. **Methods.** To reduce the coefficient of friction between the collector plates and brushes and increase the service life of the collector-brush unit, it is proposed to carburize the surface standing copper plates of the collector by means of electrical discharge machining (EDM). The method of electrical discharge machining, in comparison with traditional mechanical methods of repair of electric traction motors, is more preferable, because it allows increasing the wear resistance of the contact surface of the collector plates, which provides the required performance properties and increases the reliability of the collector-brush unit. **Results.** The article proposes a technological process of repair of the electric motor collector, characterized by the use of electrical discharge machining with the formation of a carbon surface layer on the contact surface of the collector. A device for the formation of a carbon layer on the working surface of the collector of electric traction motors by means of electrical discharge machining is presented. The results of atomic emission spectral analysis of carbonized copper sample, which showed that the proportion of carbon in the carbonized copper sample increased by 0.1 % compared to the copper plate, not subjected to electrical discharge machining, are given. An evaluation model of the dependence of the depth of the composite layer on the voltage applied to the electrodes is presented. **Discussion.** the evaluation model Presented in the article allows: 1) to make a preliminary estimate of the dependence of the depth and thickness of the layers forming the composite structure of the surface subjected to EDM on the voltage applied to the electrodes; 2) based on this calculation, to conduct an experimental EDM of the collector surface of the ETM with the adjustment of the thickness and depth of the layers by means of the described technique; 3) to experimentally determine the processing modes for the samples.

For citation: Titov Yu.V., Belan D.Yu., Toder G.B., Otradnova A.A. Improving the reliability of locomotive traction motors due to the use of electrical discharge machining of collector plates. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2019, vol. 21, no. 1, pp. 16–24. doi 10.17212/1994-6309-2019-21.1-16-24. (In Russian).

References

1. *Rasporyazhenie prezidenta OAO "RZhD" ot 17.01.2005 № 3r "O sisteme tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta lokomotivov"* [The order of the President of JSC "Russian Railways" dated 17.01.2005 N 3r "About system of maintenance and repair of locomotives"]. Moscow, JSC "Russian Railways" Publ., 2005. 8 p.
2. *Rasporyazhenie prezidenta OAO "RZhD" ot 13.01.2006 № 181 "Dopolnitel'nye mery po povysheniyu urovnya obespecheniya bezopasnosti dvizheniya v lokomotivnom khozyaistve zheleznykh dorog OAO "RZhD"* [The order of the President of JSC "Russian Railways" dated 13.01.2006 N 181 "Additional measures to improve the level of

* Corresponding author

Titov Yuriy V., Assistant

Omsk State Technical University

11 Mira ave.,

644050, Omsk, Russian Federation,

Tel.: +7 (913) 681-56-64, e-mail: tyrin-88@mail.ru

traffic safety in the locomotive industry of Railways of JSC “Russian Railways”]. Moscow, JSC “Russian Railways” Publ., 2006. 7 p.

3. *Poruchenie pervogo vitse-prezidenta OAO “RZhD” ot 26.08.2010 № P-VM-120 “Ob optimizatsii struktury i povyshenii effektivnosti lokomotivoremontnogo kompleksa”* [The order of the first Vice-President of JSC “Russian Railways” dated 26.08.2010 N P-VM-120 “About optimization of structure and increase of efficiency of the locomotive repair complex”]. Moscow, JSC “Russian Railways” Publ., 2010. 6 p.

4. Avilov V.D., Petrov P.G., Moiseenok E.M. K voprosu o povyshenii kommutatsionnoi ustoychivosti kollektornykh elektricheskikh mashin postoyannogo toka [Increasing of switching stability on dc machines]. *Izvestiya Transsiba = Journal of Transsib Railway Studies*, 2010, no. 2 (2), pp. 2–6. Available at: [http://izvestia-transsiba.ru/images/journal_pdf/2010-2\(2\).pdf](http://izvestia-transsiba.ru/images/journal_pdf/2010-2(2).pdf) (accessed 01.02.2019).

5. Stepanov Yu.S., Sotnikov V.I., Tkachenko A.N. Eksperimental’noe issledovanie protsessa kombinirovannoi obrabotki tocheniem i almaznym vyglazhivaniem tortovykh poverkhnostei detalei iz medi [Experimental study of combined treatment of turning and diamond caress end surface of components made of copper]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Strengthening Technologies and Coatings*, 2012, no. 8, pp. 43–48. Available at: http://www.mashin.ru/files/2012/utp8_12.pdf (accessed 01.02.2019).

6. Fel’dshstein E.E., Kardapolova M.A., Gaida R., Khorodyski B., Kaval’chuk O.V. [Tribological properties of electrosark-deposited and further laser-hardened coatings]. *Journal of Friction and Wear*, 2013, vol. 34, no. 2, pp. 137–141. doi: 10.3103/S1068366613020049. Translated from *Trenie i iznos*, 2013, vol. 34, no. 2, pp. 175–180.

7. Safonova M.N., Tarasov P.P., Syromyatnikova A.S., Fedotov A.A. Effect of nanodispersed diamond additions on properties of composite materials based on bronze. *Metal Science and Heat Treatment*, 2013, vol. 55, iss. 5–6, pp. 229–231. doi: 10.1007/s11041-013-9610-z. Translated from *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*, 2013, vol. 55, no. 5 (695), pp. 3–6.

8. Koeffitsienty treniya pokoya i skol’zheniya dlya par naibolee rasprostranennykh materialov [Coefficients of friction of rest and slip for pairs of the most common materials]. Available at: <http://www.dpva.info/Guide/GuidePhysics/Frication/FrictionToVariousPairs> (accessed 01.02.2019).

9. Kuznetsov A.A., Belan D.Yu., Otradnova A.O., Otradnova T.V., Otradnova I.V. *Ustanovka dlya elektroiskrovoi obrabotki s pozitsionirovaniem elektrodov otnositel’no poverkhnosti kollektora elektricheskoi mashiny* [Installation for electrical discharge machining with the positioning of the electrodes relative to the surface of the collector electric machines]. Patent RF, no. 137639, 2014.

10. Smolentsev V.P. *Elektrofizicheskie i elektrokhimicheskie metody obrabotki materialov*. V 2 t. T. 1. *Obrabotka materialov s primeneniem instrumenta* [Electrophysical and electrochemical methods of materials processing. In 2 vol. Vol. 1. Processing of materials with the use of tools]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1983. 247 p.

11. Sandeep K. Current research trends in electrical discharge machining: a review. *Research Journal of Engineering Sciences*, 2013, vol. 2 (2), pp. 56–60. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/93e1/7a1521161a361dc1600aa61618166f8de5e7.pdf> (accessed 01.02.2019).

12. Nishiwaki N., Hori S., Natsu W. Detection of electric discharge machining state by using ultrasonic technique. *17th World Conference on Nondestructive Testing*, Shanghai, China, 25–28 October 2008, pp. 1–6. Available at: <https://www.ndt.net/article/wcndt2008/papers/128.pdf> (accessed 01.02.2019).

13. Lee H., Yahya A., Khamis N. H., Samion S. Nonlinear servomotor in single pulse simulation of electrical discharge machining system modeling. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 2016, vol. 1, no. 2, pp. 319–328. Available at: https://www.researchgate.net/publication/299433312_Nonlinear_Servomotor_in_Single_Pulse_Simulation_of_Electrical_Discharge_Machining_System_Modeling (accessed 01.02.2019).

14. Equbal A., Sood A.K. Electrical discharge machining: an overview on various areas of research. *Journal of Manufacturing and Industrial Engineering (MIE)*, 2014, vol. 13, no. 1–2, pp. 1–6. Available at: <http://www.qip-journal.eu/index.php/MIE/article/view/339>. (accessed 01.02.2019).

15. Choudhary A.K., Chhabra K.K. Effect of control parameters in electrical discharge machining – a review. *International Journal of R&D in Engineering Science and Management*, 2014, vol. 1, no. 3, pp. 72–76. Available at: http://www.rndpublications.com/wp-content/uploads/2014/10/Paper_1oct.pdf (accessed 01.02.2019).

16. upa S., Singh G. A review on fabrication of copper graphite composite material & its mechanical properties. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, 2017, vol. 3, iss. 3, pp. 537–543. Available at: <http://www.ijariie.com/PastIssueSelected.aspx?VolumeId=18> (accessed 01.02.2019).

17. Ojha K., Garg R.K., Singh K.K. MRR improvement in sinking electrical discharge machining: a review. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 2010, vol. 9, no. 8, pp. 709–739. Available at: http://file.scirp.org/pdf/JMMCE20100800004_52519296.pdf (accessed 01.02.2019).
18. Hsu W.-H., Chien W.-T. Effect of electrical discharge machining on stress concentration in titanium alloy holes. *Materials*, 2016, vol. 9, iss. 12. doi: 10.3390/ma9120957.
19. Reddy C.B., Reddy G.J., Reddy C.E. Growth of electrical discharge machining and its applications – a review. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2012, vol. 4, iss. 12, pp. 13–22. Available at: <http://www.ijerd.com/paper/vol4-issue12/C04121322.pdf> (accessed 01.02.2019).
20. Singh A., Grover N.K., Sharma R. Recent advancement in electric discharge machining, a review. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2012, vol. 2, iss. 5, pp. 3815–3821. Available at: http://www.ijmer.com/papers/Vol2_Issue5/EN2538153821.pdf (accessed 01.02.2019).
21. Banu A., Ali M.Y. Electrical discharge machining (EDM): a review. *International Journal of Engineering Materials and Manufacture*, 2016, no. 1 (1), pp. 3–10. doi: 10.26776/ijemm.01.01.2016.02.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2019 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).