УДК 629.423.33 DOI: http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-3-174-180

Перспективность применения металлоуглеродных контактных вставок для токосъема на железных дорогах России*

В. Я. БЕРЕНТ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

Аннотация. Рассмотрен опыт применения в полозах токоприемников электровозов токосъемных элементов — контактных вставок из углеродных материалов с целью уменьшения износа как контактного провода, так и самих токосъемных элементов. Показано, что электрический контакт из меди и углеродных материалов является не симметричным из-за больших различий их физических свойств. В связи с этим при токосъеме высоких токов углеродные вставки интенсивно нагреваются, вызывая разупрочнение контактного провода и его электроэрозионный износ. Предлагается снизить интенсивность этих явлений приближением электрического контакта к симметрии за счет пропитки углеродного материала расплавом металла. Стендовыми и эксплуатационными испытаниями показано преимущество металлоуглеродных вставок по сравнению с угольными.

Ключевые слова: металлоуглеродные вставки; угольные вставки; вставки из природного графита; симметричный электрический контакт; несимметричный электрический контакт; износ; электроэрозия; электрическая дуга; температура; падение напряжения в контакте

Введение. Прошло более пятидесяти лет с начала применения на железных дорогах России угольных вставок для токосъема на электроподвижной состав. Использование угольных вставок было совершенно оправдано, так как для уменьшения износа медного контактного провода необходимо было исключить в трибосистеме сильноточного скользящего контакта взаимодействие одноименных металлов. Медные монолитные контактные пластины на полозах токоприемников вызывали сильный износ контактного провода за счет схватывания; это явление невозможно было предотвратить регулярной подачей в узел трения внешней смазки — жидкой или сухой графитовой. Необходимо было подобрать для скользящего контакта совместимую пару трения, не вызывающую процесса схватывания при трении скольжения. Материалом токосъемного элемента полоза в этом случае должен быть элемент, резко отличающийся по своей природе от меди. Взаимодействующими телами в этом случае должны быть металл и неметалл, что и было воспроизведено в паре медь — углерод. Преимуществом этой пары трения является то, что медь и углерод не вступают в реакцию друг с другом ни в жидком, ни в твердом состоянии. Удельный износ медного контактного провода на дорогах переменного тока был снижен в несколько раз, в среднем до 0,113 мм^2 на 10^4 проходов токоприемников. Однако при прохождении больших токов были отмечены повреждения угольных вставок и контактного провода, что потребовало вновь вернуться к рассмотрению вопросов токосъема.

Физические процессы при токосъеме. При потреблении больших мощностей при токосъеме с контактной сети переменного тока напряжением 25 кВ на электроподвижной состав снимаются сравнительно небольшие по величине токи, которые не вызывают интенсивный нагрев угольных вставок, а следовательно, и нагрев медного контактного провода. При низких температурах поверхностей скользящего контакта износ его компонентов от электроэрозионных процессов протекает весьма слабо. Контактный провод, не подвергаясь высоким нагревам от угольных вставок, не теряет своих прочностных характеристик. Однако при дуговом токосъеме в опорной точке электрической дуги температура достигает 3000–5000 °С, угольные вставки и контактный провод подвергаются интенсивному электроэрозионному износу. Совершенно другая ситуация складывается при взаимодействии с контактной сетью постоянного тока напряжением 3 кВ, т. к. в этом случае для потребления такой же мощности токи значительно возрастают, происходит интенсивный нагрев угольных вставок с опасностью разупрочнения контактного провода и его разрушения. От воздействия высоких нагревов поверхностей скользящего контакта резко увеличивается электроэрозия провода и угольных вставок, их износ повышается. При нормальном токосъеме пробег полозов с угольными вставками составляет 20–40 тыс. км.

Разупрочнение контактного провода проявляется при падении напряжения в контакте с угольной вставкой на 1,8 В, температура внутри вставки при этом достигает 700 °С, а при падении напряжения в контак-

E-mail: val.berent@yandex.ru (В. Я. Берент)

* Статья допущена к публикации в рамках научной дискуссии.

те с угольной вставкой на 2,7 В температура внутри вставки поднимается до 1580 °С и идет ее интенсивное окисление. Выделение высоких температур в контакте опасно из-за возможности возгорания вставок, температура угольной вставки 360 °С является порогом начала интенсивного ее окисления [1]. Прижатие угольных вставок с удельным электрическим сопротивлением 35 мкОм·м к проводу с усилием 20 Н при токах более 90 А приводило к чрезмерному нагреву контактного провода. Расчетами определено, что падение напряжения в контакте, при котором наступает разупрочнение поверхностного слоя меди провода, составило 1,8 В для нормальных условий эксплуатации. При токосъеме угольными вставками на постоянном токе поверхностные слои контактного провода величиной до 1 мм полностью разупрочняются с прохождением рекристаллизации. Рентгеноструктурным анализом было установлено менее интенсивное разупрочнение провода в поверхностном слое до 3 мм [2]. Аналогичные явления в микроструктуре меди контактных проводов были установлены в работе компании Furrer+Frey [3]. Исследованиями определялась структура и твердость меди провода в месте контакта провода с угольными вставками SK01 с удельным сопротивлением 35 мкОм·м, в зависимости от величины снимаемого тока. Твердость контактного провода в исходном состоянии — 100 НВ, при снятии тока 120 А провод нагревается до 270 °С со снижением твердости до 57 НВ — почти до твердости отожженной меди (50 НВ). Высокие температуры нагрева угольных вставок были подтверждены и отечественными исследованиями. При токосъеме 890 А угольными вставками марки А в течение 0,5 секунд материал вставки на расстоянии 3 мм от поверхности контакта нагревается до 405 °С, а вставками марки Б — до 225 °С. Поверхность контакта провода при взаимодействии с угольной вставкой при токосъеме в течение одной секунды нагревается до 305 °С (при вставке А) и 210 °С (при вставке Б) [2].

На однополозном токоприемнике электровоза ВЛ11, ведущего поезд массой 6000 т, при скорости 60 км /ч и токе 1200 А угольные вставки марки А нагревались до 420 °С, марки Б — до 240 °С [2]. По данным компании SNCF интенсивный нагрев поверхностных слоев угольных вставок до 200–250 °С наблюдался при испытании высокоскоростного электропоезда TGV в режиме тяги на подъеме со скоростью 200 км/ч и снимаемом токе 1500 А. В связи с этим было предложено ограничить снимаемый ток при движении величиной не более 1200 А [4].

Анализ свойств материала вставок. Действительно, токосъем больших токов делает применение угольных вставок невыгодным, несмотря на устранение схватывания трущихся поверхностей, снижение механического износа, так как интенсивный нагрев ведет к повышению изнашивания из-за увеличения интенсивности электроэрозионных процессов. Так, если доля поездов с электровозной тягой на участках возрастает с 35 до 50 и 67 %, то износ контактного провода увеличивается соответственно до 0,104, 0,158 и 0,204 мм^2 на 10^4 проходов токоприемников [5]. На участке Малоярославец — Сухиничи Московской железной дороги после 10 лет использования для токосъема угольных вставок износ провода на отдельных анкерных участках составил от 0,36 до 0,95 мм^2 на 10^4 проходов токоприемников. На перегоне Москва — Ожерелье, где преобладает грузовое движение, износ провода в 1,6–2 раза выше по сравнению со средними значениями для дорог переменного тока и достигает 0,481 мм^2 на 10^4 проходов токоприемников.

Определение допустимых предельных токов для угольных вставок с целью предотвращения разупрочнения от перегрева контактного провода и его повышенного электроэрозионного износа осуществляли на натурном стенде ВЭлНИИ в Новочеркасске. Испытаниями было установлено, что угольные вставки марок А и Б могут на стоянке летом снимать соответственно ток 73 и 95 А, зимой — 95 и 115 А, в движении — 900 и 1050 А. В связи с этим в [6, 7] было показано, что для современных мощных электровозов постоянного тока угольные вставки применять нецелесообразно, т. к. величины токов могут достигать 3000 А.

Одной из причин неустойчивой работы вставок была несимметричность электрического контакта с проводом. Попытки повысить симметричность за счет понижения у углеродного материала удельного электрического сопротивления до 5–8 мкОм·м не принесли положительных результатов. Например, угольные вставки марки С из природного графита с такими электрическими свойствами в массовом порядке выходили из строя по износу в зимний период при дуговом токосъеме из-за низкой электроэрозионной стойкости. Пробег полозов с вставками марки С на перегоне Мурманск — Кандалакша Октябрьской железной дороги достигал 1800 км [7], в то время как они должны обеспечивать пробег полозов токоприемников в экстремальных условиях до 20 тыс. км.

Эрозия контактов зависит от выделившейся на электродах энергии, а следовательно, от количества электричества, протекающего в дуге, и возрастает линейно с током. Повреждения от электроэрозии снижаются при повышении теплопроводности материала контакта из-за более интенсивного отвода тепловой энергии от зоны воздействия электрической дуги.

Выявлено три механизма разрушения контактов при электроэрозии: испарение, разбрызгивание расплавленного материала и химические процессы, связанные с взаимодействием материала контактов с

элементами окружающей среды, и как следствие, разрушение образовавшихся пленок при термическом воздействии. Всеми исследователями эрозии отмечается различие в износе и повреждаемости композиционных и однородных материалов контактов [8, 9, 10]. Несовместимое сочетание свойств у материалов контактов достигается при монофазном их исполнении. Гетерогенная структура материалов, представляющая собой смесь отдельных фаз с различными свойствами, позволяет на основе аддитивности получить композит с набором противоречивых свойств [8, 11, 12, 13].

Для сильноточных скользящих контактов следует применять термостойкую матрицу — каркас, а для придания ей необходимых электрических и теплопроводных свойств в матрице следует размещать менее тугоплавкую фазу с соответствующими характеристиками. В данном случае проявляется положительная роль гетерогенной структуры композиционных материалов, так как в опорной точке дуги потери тепловой энергии происходят от нагрева, плавления, кипения и испарения легкоплавкой фазы, а термостойкий каркас в меньшей степени подвергается тепловому воздействию и затрудняет выброс жидкой фазы из материала контакта [12], удерживая ее в порах силами поверхностного натяжения [8]. В результате происходит рассредоточение тепловых потоков, исходящих из опорной точки дуги.

Общепринятое правило построения электрических контактов каркасного типа полностью согласуется со структурным построением металлоуглеродных вставок. В результате электроэрозионная стойкость металлоуглеродных вставок оказалась выше, чем у однофазных матричных контактов из углерода. Это было установлено не только эксплуатационными испытаниями на отечественных и зарубежных дорогах, но и проведением стендовых испытаний [13]. В серии натурных испытаний было показано, что при бездуговом токосъеме износ обоих вставок (угольных и металлоуглеродных) был примерно одинаков, (1 мм^3/км). При увеличении интенсивности дугообразования износ угольных вставок возрастал до 4,15 мм^3/км, а металлоуглеродных вставок — до 2,65 мм^3/км.

Сравнительные испытания показали, что металлоуглеродные вставки фирмы Hoffmann с гетерогенной структурой с легкоплавкой фазой меди на стоянке могли снимать ток 180–220 А, в движении — 1850 А. Угольные вставки С и О имели такое же удельное сопротивление, как и Hoffmann, но по своей структуре не позволяли противодействовать дуговым разрядам и не могли быть использованы для снятия токов на мощных электровозах [7].

Учитывая приведенные закономерности поведения материалов контактов при воздействии на них электрических разрядов, автором произведены исследования материалов токосъемных элементов полозов токоприемников, их свойств и процессов, происходящих во время эрозии.

Наилучшим способом приближения к симметричному электрическому контакту является металлизация углеродной матрицы вставки. Ввод меди или ее сплавов в виде их расплавов в пористый углеродный материал пропиткой позволяет получить электрический контакт каркасного типа с более высокой теплопроводностью и электропроводностью. Автором были проведены исследования теплоемкости, теплопроводности и пластичности углеродных материалов различной природы на автоматическом сканирующем калориметре КСИТ-1300. В калориметре использовался метод плоского теплового источника в стационарном и динамическом тепловом режиме. Исследовались серийные угольные вставки марок А, Б, О и металлоуглеродные вставки отечественного опытного производства и зарубежных фирм. У материалов этих вставок в интервале температур от 20 до 1000 °С определялись относительное удлинение, термический коэффициент линейного расширения и теплопроводность (см. таблицу).

Физические свойства угольных вставок марки Б, изготовленных из искусственного графита, были более благоприятными, чем у угольных вставок марки А, так как их удельное сопротивление в два раза ниже. Это отразилось на характере их повреждаемости электрической дугой. В месте воздействия электрического разряда у угольных вставок марки А образовывались многочисленные глубокие трещины с разрыхлением поверхности, а у вставок марки Б эти повреждения проявлялись в меньшей степени.

По своей теплопроводности и пластичности металлоуглеродные вставки превосходят угольные вставки, а следовательно, обладают более высокой стойкостью к электроэрозии. У металлоуглеродных вставок от воздействия той же мощности дуг термические трещины вообще не появились. Исследования на растровом микроскопе JEOL JXA-50A показали, что в донной части небольшого кратера от воздействия дуги меди оставалось мало, но она в большей степени разместилась по краям кратера. В этом месте происходит вытеснение, выпотевание меди на поверхность. В ряде случаев из-за вытеснения расплава меди газами образовывались сферические полые частицы (рис. 1). На периферии от кратера медь из паров выделяется в виде чешуйчатых образований и мелких частиц сферической формы (рис. 2).

Эти явления, обнаруженные при испытаниях различных видов углеродных материалов от действия электрической дуги, позволили объяснить как устойчивость одних материалов к электроэрозии, так и высокую повреждаемость других (рис. 3).

На установке ИМД-1 автором проведена сравнительная оценка дугостойкости материалов токосъемных элементов. Воздушный промежуток между графитовым электродом и испытываемым материалом составлял 1 мм, время горения дуги — 2 с при токе 125–159 А. Результаты испытаний показали, что показатели потери материала (D_1, D_2) у металлоуглеродных вставок, изготовленных по технологии пропитки (фирм Schunk, Ringsdorf, Morganite) ниже, чем у углеродных вставок А и Б. Ввод меди до 30 % в виде порошка в шихту вставок А и Б (вставки УМА и УМБ) малоэффективен из-за разобщенности частиц меди в углеродной матрице. В металлоуглеродных вставках, изготовленных пропиткой углеродной матрицы металлом, образовывались взаимосвязанные каналы тепло- и электропроводимости, что и позволяет повысить их эрозионную стойкость.

Наличие теплопроводной, электропроводной и легкоплавкой фазы в составе углеродного материала улучшило электрический контакт с проводом за счет снижения при их взаимодействии переходного сопротивления и появления жидкой фазы от расплавления нагретой током меди. Это, в свою очередь, уменьшило электроэрозионные повреждения контактов и потери электроэнергии при токосъеме. Процесс, при котором отмечалось снижение переходного сопротивления, был исследован при определении зависимости переходного сопротивления металлоуглеродных вставок и провода от времени контакта (рис. 4).

Сравнение переходного сопротивления $R_к$ в различные промежутки времени показало, что достижение высоких температур нагрева в зоне контакта и формирование проводящих ток участков происходит за миллисекунды и завершается в первом полупериоде переменного тока частотой 50 Гц (10 мс). Поэтому зависимости $R_к = f(I)$ были построены для в основном сформировавшегося контакта (за 0,07 с) и сложившегося контакта (за 1,5 с протекания тока). Механизм формирования контакта при прохождении тока через контактный провод на токосъемный элемент полоза косвенно определяется по искажениям синусоид тока I и напряжения U в различные моменты времени. Синусоиды строились процессором SF-920 для самого начального момента прохождения тока через контакт и по истечении некоторого времени.

В первый момент на контакте медного провода с металлоуглеродной вставкой образуется пятно проводимости в месте выхода на поверхность при расплавлении металлической фазы из углеродной основы вставки, но из-за высокой плотности тока происходит разбрызгивание и испарение расплавленного металла. В этот момент мгновенные значения тока I и напряжения U претерпевают изменения. Затем осуществляется контакт медь провода — углеродный материал металлоуглеродной вставки, и напряжение увеличивается. По истечении 20–30 мс при выделении тепловой энергии в контакте в зону его поступает легкоплавкая фаза, и в таких количествах, что обеспе-

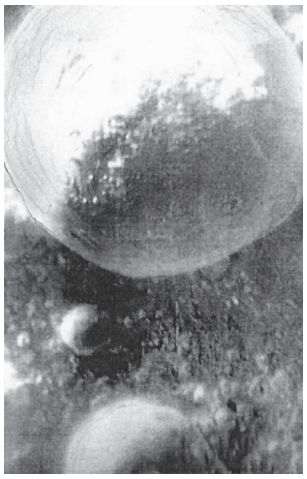

Рис. 1. Выделение меди в виде сферических частиц на поверхности углеродного материала у кратера от воздействия дуги (×300)
Fig. 1. Separation of copper by the form of spherical particles on the surface of the carbon material at the crater from the action of the arc (×300)

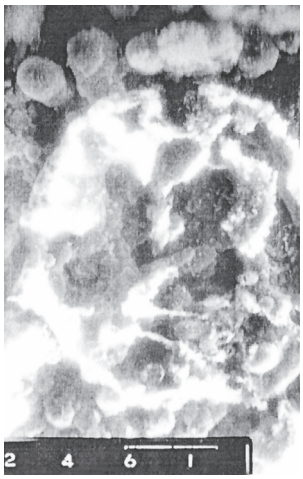

Рис. 2. На участках поверхности, удаленных от кратера, выделения меди носят чешуйчатый характер в виде мелких сфер (×300)
Fig. 2. In the areas of the surface remote from the crater, the discharge of copper is scaly and in the form of small spheres (×300)

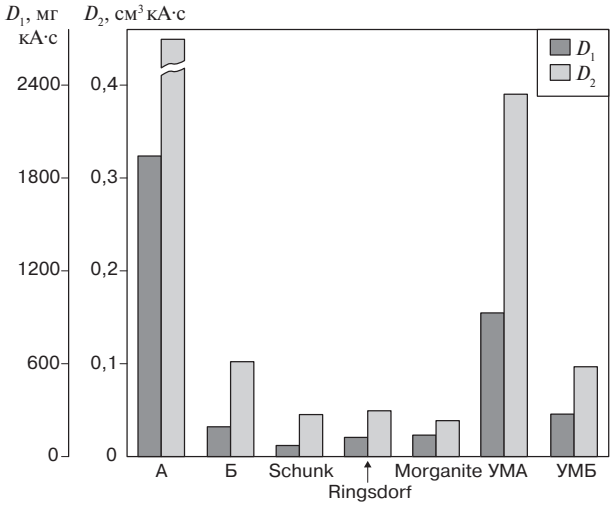

Рис. 3. Потери материала при электроэрозии углеродных токосъемных вставок, не содержащих и содержащих медь: D_1 — весовая потеря материала; D_2 — объемная потеря материала; УМА и УМБ — вставки марок А и Б с вводом медного порошка через углеродную шихту; вставки фирм Schunk, Ringsdorf, Morganite — металлоуглеродные
Fig. 3. Wastage of material in case of electric erosion of carbon collector strips which contains and are free of copper: D_1 — weight loss of material; D_2 — volume loss of material; УМА and УМБ strips of grades A and B with the introduction of copper powder through the carbon charge; strips of Schunk, Ringsdorf, Morganite production — metallocarbon

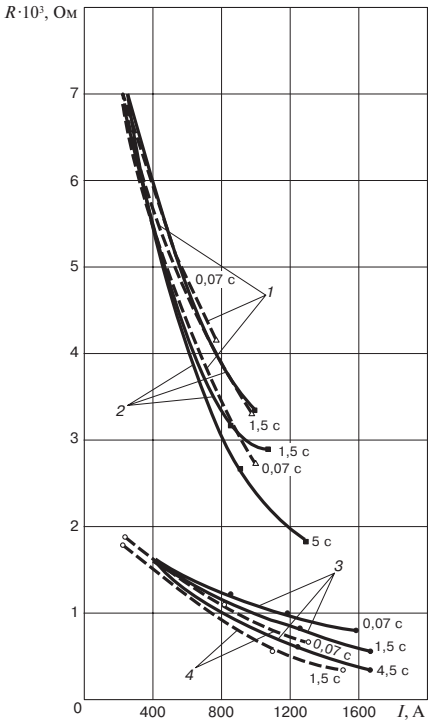

Рис. 4. Изменение переходного сопротивления различных видов углеродных вставок с медным контактным проводом в зависимости от величины снимаемого тока и времени его протекания: *1* — вставка марки А; *2* — вставка марки Б; *3, 4* — металлоуглеродные вставки фирм Morganite и Ringsdorf

Fig. 4. Change in the transient resistance of various types of carbon strips with a copper contact wire, depending on the value of the current being removed and the time it takes to flow: *1* — strip of grade A; *2* — strip grade B; *3, 4* — metallocarbon strips by Morganite and Ringsdorf

чивается металлический контакт со стабилизацией значений I и U, где $U = f(t)$, $I = f(t)$ без изменений.

Величины $R_к$ имеют наибольшие значения для серийных угольных вставок без легкоплавкой фазы, а ввод в углеродную матрицу легкоплавкой структурной составляющей снижает $R_к$ в несколько раз [2].

Высокие эксплуатационные свойства металлоуглеродных вставок вызвали необходимость проведения научно-исследовательских работ по разработке состава и технологии изготовления отечественных металлоуглеродных вставок с целью устранения их импорта. Ранее закупались металлоуглеродные вставки фирмы Hoffman для скоростных поездов ЭР-200, в настоящее время закупаются вставки фирмы Siemens для поездов «Сапсан». В связи с этим автором статьи были проведены исследования свойств углеродных материалов марок МПГ-7, МГ-1 и ниппельного графита после пропитки медью. Результаты исследования показали, что по токовой нагрузочной способности опытные металлоуглеродные вставки превосходят аналогичные вставки фирмы Hoffmann. На стоянке летом пропитанная медью вставка из ниппельного графита может снимать ток 215 А, а фирмы Hoffmann — 180 А.

Эксплуатационные сравнительные испытания металлоуглеродных и угольных вставок марки Б проводили в зимний период при наличии дугового токосъема. На 15 электровозах ЧС2т один полоз был оборудован в локомотивном депо Мурманск Октябрьской железной дороги угольными вставками марки Б, а другой — металлоуглеродными вставками фирмы Ringsdorf. На участке постоянного тока Мурманск — Лоухи за месяц по предельному износу было заменено 32 полоза с угольными вставками и 7 полозов с металлоуглеродными вставками. При резком понижении температуры износ вставок марки Б в период дугового токосъема составил 16,5 мм на 10^3 км, а металлоуглеродных вставок — 8 мм на 10^3 км. Контактная поверхность металлоуглеродных вставок в отличие от угольных была гладкой и ровной и без электроэрозионных повреждений.

После замены на этом участке системы постоянного тока на переменный были повторно проведены аналогичные испытания на базе локомотивного депо Кандалакша. Полоза токоприемников электровозов ВЛ82 в количестве 20 локомотивов оборудовались угольными вставками марки А, а 20 других — металлоуглеродными вставками фирмы Hoffmann. В зимний период при наличии дугового токосъема средний износ угольных вставок составил 13,5 мм на 10^4 км, а металлоуглеродных — 5,3 мм на 10^4 км. Анализ состояния контактных поверхностей показал, что металлоуглеродные повреждались электрическими разрядами в меньшей степени. Средний пробег полозов токоприемников электровозов ЧС2 с металлоуглеродными вставками фирмы Hoffmann на Московской железной дороге составил 50–70 тыс. км, в то время как у угольных вставок отечественного производства — 20–40 тыс. км.

Убедительные результаты, подтверждающие преимущество металлоуглеродных вставок, были получе-

Показатели контактных вставок (при температуре 300° С)
Indicators of contact strips (at the temperature of 300 °C)

Марка	Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	Теплопроводность, Вт/(м·°К)	Теплоемкость, кДж/(кг·°К)	Коэффициент линейного расширения, 10^{-6} 1/К	Относительное удлинение, %
А	30	28	0,70	3,1	0,23
Б	15	26	0,71	3,0	0,22
О	8	24	0,75	3,8	0,28
Металлоуглеродные	8	42	0,85	5,0	0,34

ны и при испытании опытных отечественных токосъемных элементов в зимний период на Мурманском отделении Октябрьской железной дороги. Удельный износ на 10^3 км у опытных образцов ниже в 2,5–3 раза, чем у угольных вставок. У металлоуглеродных вставок на основе углеродного материала марки МПГ-7 износ составил 7,0–7,88 мм на 10^3 км, а у вставок марки Б — 22,76 мм.

Экономический эффект от использования металлоуглеродных вставок за счет увеличения сроков службы вставок и контактного провода, снижения случаев разрушений, уменьшения электропотерь при токосъеме прогнозируется по сети железных дорог до 840,9 млн руб. в год, а ожидаемая величина эффекта в расчете на один электровоз — до 84 тыс. руб. в год.

Выводы. 1. Приближение контактного провода и токосъемных элементов полоза токоприемника к достижению симметричного электрического контакта достигается путем металлизации углеродных вставок по технологии их пропитки медью. Такие вставки показали высокую дугостойкость и износостойкость.

2. В связи с различной мощностью электроподвижного состава, разными скоростями движения на участках переменного и постоянного тока, в различных климатических условиях в каждом отдельном случае следует использовать определенный вид токосъемных элементов.

3. Результаты исследований и опытная эксплуатации показали, что при высокой токовой нагрузке от 1200 до 1800 А экономически целесообразно использование в полозах токоприемников исключительно медноуглеродных вставок, при меньших токах до 1050 А — чисто углеродных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Biesenack H., Pintscher F. Kontakt zwischen Fahrdraht und Schleifleiste – Ausgangspunkte zur Bestimmung des elektrischen Verschleißes. EB: Elektrische Bahnen. 2005. № 3. S. 138–146.

2. Берент В.Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта. М.: Интекст, 2005. 408 с.

3. Hayoz P., Wili U., Rogler R.-D., Kitzrow G., Pupke F. Fahrdrahtschäden in Streken-trennungen – Härte und Zugfestigkeit. EB: Elektrische Bahnen. 2014. № 4. S. 207–213.

4. Auditeau G. A high-intensity carbon for pantographs. Revue Générale des Chemins de fer. 2010. № 200. P. 9–19.

5. Купцов Ю.Е., Хлопков М.В. Способы увеличения срока службы контактного провода: экспресс-информация // Электрификация и электрическое хозяйство. М.: ЦНИИТЭИ МПС, 1972. Вып. 5. С. 18.

6. Берент В.Я. Сильноточный скользящий контакт (свойства, повреждаемость и процессы, протекающие в нем). М.: Аналитика Родис, 2016. 328 с.

7. Альтман А.Б., Быстрова Э.С. К вопросу о структуре износоустойчивых электрических контактов // Электрические контакты: сб. М.: Госэнергоидат, 1958. С. 214–223.

8. Францевич И.Н. Материалы электрических контактов: лекции Всесоюзной школы по электрическим контактам и электродам. Ч. 1 / АН УССР. Инст. проблем материаловедения. Киев, 1969. 120 с.

9. Теодорович О.К., Дьяченко И.М., Кацалуха С.А. Композиционные электроконтактные материалы и экономическая эффективность их применения / Укр. НИИТИ. Киев, 1973. 85 с.

10. Альтман А.Б., Мелашенко И.П., Быстрова И.С. Современные электрокерамические контакты // Электрические контакты: сб. М.: Госэнергоиздат, 1958. С. 171–185.

11. Мелашенко И.П. Материалы для электрических коммутирующих контактов // Справочник по электротехническим материалам / под ред. Ю.В. Крицкого. М.: Энергия, 1976. С. 473–499.

12. Францевич И.Н., Теодорович О.К. Металлокерамические контакты // Электрические контакты: сб. М.: Госэнергоиздат, 1958. С. 186–199.

13. Белкин Г.С., Данилов И.М. Исследование особенности электрической эрозии металлокерамических материалов // Электричество. 1972. № 8. С. 63–66.

14. Auditeau G., Arronsart S., Courtois Ch., Krötz W. Carbon contact strip materials – Testing of wear. EB: Elektrische Bahnen. 2014. № 4. S. 207–213.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

БЕРЕНТ Валентин Янович,
д-р техн. наук, научный консультант, научно-консультационный центр, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 02.02.2017 г., актуализирована 14.04.2017 г., принята к публикации 10.05.2017 г.

Prospectivity of application of metal-carbon contact strips for current collection on Russian railways

V. Ya. BERENT

Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

Abstract. The article considers the experience of using contact strips from carbon materials in slides of current collectors of electric locomotives with the purpose of reducing the wear of both the contact wire and the current collectors themselves. The electrical contact made of copper and carbon materials from which the strips are made is not symmetrical due to the large differences in their physical properties. In connection with this, when collecting high currents, the carbon strips are intensively heated, causing softening of the contact wire and its electroerosive wear. It is proposed to reduce the intensity of these phenomena by approximating the electrical contact to symmetry. Approximation to the symmetrical electrical contact of the wire and the slide of the current collector was achieved by metallization of the carbon strips. The most effective insert samples are made by the technology of impregnation of the

carbon matrix with copper. Such strips showed high arc resistance and wear resistance as a result of bench tests and operational tests.

Experimental operation of electric locomotives with various types of strips was carried out when working on the sections of the Murmansk branch of the October Railway on a constant and then alternating current basis. Numerous studies and operational experience have shown that with a high current load from 1200 to 1800 A, it is economically feasible to use exclusively copper-carbon strips, with lower currents up to 1050 A – purely carbon ones.

Keywords: Metal-carbon strips; coal strips; strips of natural graphite; symmetrical electrical contact; non-symmetrical electrical contact; wear; electric erosion; electric arc; temperature; current decrease in contacts

DOI: http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-3-174-180

REFERENCES

1. Biesenack H., Pintscher F. *Kontakt zwischen Fahrdraht und Schleifleiste – Ausgangspunkte zur Bestimmung des elektrischen Verschleißes.* EB: Elektrische Bahnen, 2005, no. 3, pp. 138–146.

2. Berent V. Ya. *Materialy i svoystva elektricheskikh kontaktov v ustroystvakh zheleznodorozhnogo transporta* [Materials and properties of electrical contacts in railway transport devices]. Moscow, Intext Publ., 2005, 408 p.

3. Hayoz Patrick, Wili Urs, Rogler Ralf-Dieter, Kitzrow Gerd, Pupke Frank. *Fahrdrahtschäden in Streken-trennungen – Härte und Zugfestigkeit.* EB: Elektrische Bahnen, 2014, no. 4, pp. 207–213.

4. Auditeau Gérard. *A high-intensity carbon for pantographs.* Revue Générale des Chemins de fer, 2010, no. 200, pp. 9–19.

5. Kuptsov Yu. E., Khlopkov M. V. *Sposoby uvelicheniya sroka sluzhby kontaktnogo provoda.* Ekspress-informatsiya. Elektrifikatsiya i elektricheskoe khozyaystvo [Ways of increasing the service life of the contact wire. Express information. Electrification and electrical economy]. Moscow, TsNIITEI of MPS Publ., 1972, no. 5, 18 p.

6. Berent V. Ya. *Sil'notochnyy skol'zyashchiy kontakt (svoystva, povrezhdaemost' i protsessy, protekayushchie v nem)* [High-current sliding contact (properties, damage and processes occurring in it)]. Moscow, Analitika Rodis Publ., 2016, 328 p.

7. Al'tman A. B., Bystrova E. S. *K voprosu o strukture iznosoustoychivykh elektricheskikh kontaktov.* Elektricheskie kontakty. Sb. [On the structure of wear-resistant electrical contacts. Electrical contacts. Coll.]. Moscow, Gosenergoidat Publ., 1958, pp. 214–223.

8. Frantsevich I. N. *Materialy elektricheskikh kontaktov.* Lektsii Vsesoyuznoy shkoly po elektricheskim kontaktam i elektrodam. Ch. 1 [Materials of electrical contacts. Lectures of the All-Union School of Electrical Contacts and Electrodes. Part 1]. Kiev, AN USSR, Inst. problem materialovedeniya [Institution on material science] Publ., 1969, 120 p.

9. Teodorovich O. K., D'yachenko I. M., Katsalukha S. A. *Kompozitsionnye elektrokontaktnye materialy i ekonomicheskaya effektivnost' ikh primeneniya* [Composite electrocontact materials and cost-effectiveness of their application]. Kiev, Ukr. NIITI Publ., 1973, 85 p.

10. Al'tman A. B., Melashenko I. P., Bystrova I. S. *Sovremennye elektrokeramicheskie kontakty.* Elektricheskie kontakty. Sb. [Modern electroceramic contacts. Electric contacts. Coll.]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 1958, pp. 171–185.

11. Kritskiy Yu. V., Melashenko I. P. *Materialy dlya elektricheskikh kommutiruyushchikh kontaktov.* Spravochnik po elektrotekhnicheskim materialam [Materials for electrical commutating contacts. Handbook of electrotechnical materials]. Moscow, Energiya [Energy] Publ., 1976, pp. 473–499.

12. Frantsevich I. N., Teodorovich O. K. *Metallokeramicheskie kontakty.* Elektricheskie kontakty. Sb. [Metalloceramic contacts. Electrical contacts. Coll.]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 1958, pp. 186–199.

13. Belkin G. S., Danilov I. M. *Issledovanie osobennosti elektricheskoy erozii metallokeramicheskikh materialov* [Investigation of the peculiarity of electric erosion of metal-ceramic materials]. Elektrichestvo [Electricity], 1972, no. 8, pp. 63–66.

14. Auditeau Gérard, Arronsart Stephane, Courtois Christian, Krötz Werner. *Carbon contact strip materials – Testing of wear.* EB: Elektrische Bahnen, 2014, no. 4, pp. 207–213.

ABOUT THE AUTHOR

Valentin Ya. BERENT,
Dr. Sci. (Eng.), Scientific Consultant, Scientific Consultancy Center, JSC "VNIIZhT"

Received 02.02.2017
Revised 14.04.2017
Accepted 10.05.2017

E-mail: val.berent@yandex.ru (V. Ya. Berent)

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Берент В. Я. Сильноточный скользящий контакт (свойства, повреждаемость и процессы, протекающие в нем). М.: ООО «АНАЛИТИКА РОДИС», 2016. 328 с.

Рассмотрены процессы, протекающие в материалах сильноточного скользящего контакта при их взаимодействии, а также свойства различных электротехнических медных сплавов применительно к проводам контактной сети электрифицированных железных дорог. Проведена классификация дефектов и повреждений контактных проводов и токосъемных элементов полозов токоприемников в эксплуатации. Показана перспективность использования нанотехнологии для изготовления проводов и токосъемных элементов полозов из медных дисперсно-упрочненных композитов и сделано технико-экономическое обоснование целесообразности использования новых разработок.

Книга предназначена для использования в работе специалистами служб электрификации и локомотивного хозяйства ОАО «РЖД», а также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.