

Сравнительное исследование материалов контактных вставок токоприемников железнодорожного электротранспорта

Л. А. Крячко, В. Г. Затовский, М. Е. Головкова

Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, Киев, e-mail: 29min@materials.kiev.ua

Изучено влияние повышенных нагрузок на износостойкость при трении скольжения, антифрикционные характеристики и коммутационную способность пар трения со скользящим контактом из материалов трех типов: на металлической основе, из угляграфитовой и углерод-металлосодержащей композиций. Скользящий контакт из материала на металлической основе испытаний не выдержал вследствие развития схватывания с материалом контртела. Высокая твердость контактов из углерод-металлосодержащей композиции вызвала повышенный износ контртела. На основании результатов комплексного исследования сделан вывод о необходимости повышения антифрикционных свойств этого материала для его возможного использования в условиях высоких нагрузок.

Ключевые слова: контактные вставки, электроподвижной состав, износостойкость при трении, коммутационная способность.

Введение

Контактные вставки для токоприемников электроподвижного состава (ЭПС) железнодорожного транспорта обеспечивают передачу электрической энергии с контактной сети на ЭПС. Существующее многообразие материалов контактных вставок обусловлено различием условий их эксплуатации, к которым относятся величина и род пропускаемого тока при различных скоростях движения и мощностях ЭПС, климатические и географические условия. Несмотря на интенсивные работы, которые в течение десятилетий ведутся в направлении разработки и исследования материалов для контактных вставок, до сих пор не создан универсальный материал, обеспечивающий необходимый ресурс токосъемного узла ЭПС как в целом, так и для конкретных дифференцированных параметров нагрузок, в частности по роду тока, скорости движения ЭПС и его мощности. Выбор оптимального состава материала контактных вставок осложнен непостоянством условий токосъема при эксплуатации электроподвижного состава (изменение скорости перемещения, погодных условий, рельефа местности). Все возрастающие скорости и мощности электровозов требуют обеспечения надежного токосъема в более сложных условиях эксплуатации, что влечет за собой необходимость разработки материалов для вставок с повышенной стойкостью к механическому износу, электрической эрозии и воздействию агрессивных сред [1]. Для решения указанной проблемы представляется целесообразным оценить перспективность существующих материалов для их использования при более высоких нагрузках на основании результатов сравнительных испытаний материалов различных типов.

© Л. А. Крячко, В. Г. Затовский, М. Е. Головкова, 2016

Применяемые в настоящее время и вновь разрабатываемые материалы контактных вставок в зависимости от состава подразделяют на три основные группы [1—5]:

материалы на металлической основе (преимущественно, медь или железо), но, как правило, с твердым смазывающим наполнителем, которым чаще всего служит графит;

материалы на углеродной основе (графит или кокс); при этом в качестве связующего используют фенолформальдегидную смолу, высоко-температурный пек или их смесь, которые при термообработке образуют кокс;

углерод-металлосодержащие композиции, получаемые введением металла в углеграфитовый композит путем пропитки углеродного каркаса, металлизацией графитовых гранул, добавлением в шихту меди в виде коротких волокон [2—6].

В настоящей работе исследованы износостойкость при трении скольжения, антифрикционные характеристики и коммутационная способность пар трения со скользящим контактом из материала, принадлежащего к одному из указанных типов, при повышенных нагрузках, определяемых малой площадью контактирования и высокой частотой (многократной) повторяемости пути трения по контртелу. Такие условия трения вызывают существенное повышение температуры в зоне контактирования, что усугубляет износ трущейся пары за счет развития процессов схватывания, окисления и др.

Испытаниям подвергали скользящие контакты из материалов на металлической основе (тип I), из углеграфитовой композиции (тип II) и на основе кокса с добавлением меди в виде коротких волокон (тип III). Детали для скользящих контактов в виде цилиндрических образцов с округленной рабочей поверхностью вытачивали из токоъемных пластин, согласно эскизу (рис. 1). Контртелом служили кольца из нагартованной меди с наружным диаметром 110 мм, шириной 4 мм. Условия испытаний: нагрузка на контактную пару составляла 1,8 Н (180 г), скорость скольжения — 750 об/мин, что соответствует линейной скорости 15,2 км/ч (4,23 м/с). Плановый путь трения — 100 км, коммутируемый ток через 2 запараллеленных контакта — 4 А (двойное резервирование), через одиночный контакт — 2 А (без резервирования). Род тока — постоянный, напряжение — 24 В.

Износостойкость определяли по потере массы за единицу пути трения; коэффициент трения — тензомерией. Падение напряжения на контактной паре измеряли цифровым милливольтметром Ц300. Для микроструктурных исследований использовали микроскоп Neophote-2.

Величина выбранной контактной нагрузки 1,8 Н соответствует статическому нажатию на контактный провод, составляющему 90 Н (9 кг) для однополосных токоприемников [7]. Действительно, если для контактного провода ИФ-100 диаметром 11,8—12,9 мм допустимая площадь износа, согласно ГОСТ 2584-86, составляет 30 мм² (30% от исходной площади), то в начальный период эксплуатации ширина контактной площадки

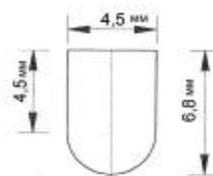


Рис. 1. Эскиз скользящего контакта.

на нем может составлять 0,5—1 мм. Для однополосных токоприемников ширина контактной вставки равна 60 мм [1] и, соответственно, удельное контактное нажатие составляет 1,5—3 Н/мм² (1,5—3 МПа). Максимальный размер следа на испытываемых образцах ограничен их диаметром и обычно составляет <1—2 мм, его площадь $S \approx 0,8—1,5 \text{ мм}^2$ и удельное контактное нажатие $P \approx 1,2—2,2 \text{ Н/мм}^2$ (1,2—2,2 МПа), что соответствует реальным нагрузкам на токосъемный узел.

Результаты испытаний и их обсуждение

Микроструктура испытанных образцов представлена на рис. 2. Видно, что материал на металлической основе (тип I) имеет в своем составе три фазы (рис. 2, а). Анализ показал, что основой материала служит упрочненная медь, в которой распределены равноосные включения фазы на основе железа и частицы графита удлиненной формы.

Компоненты углеграфитового материала представляют собой различные формы углерода со слабой связью между отдельными конгломератами (рис. 2, б). Отличительной чертой углерод-металлосодержащей композиции является наличие меди в виде волокон различной длины (рис. 2, в). Волокна большей длины имеют изогнутый вид, по-видимому, вследствие деформации при формовании материала, однако образования каналов сплошной проводимости не было достигнуто.

Удельное электросопротивление образцов составляет 0,0546 мкОм·м, 0,15 мОм·м и 0,8 мкОм·м для материалов I, II и III типов соответственно.

Характеристики трения и износа приведены в табл. 1 и 2, падение напряжения на контактных парах — в табл. 3.

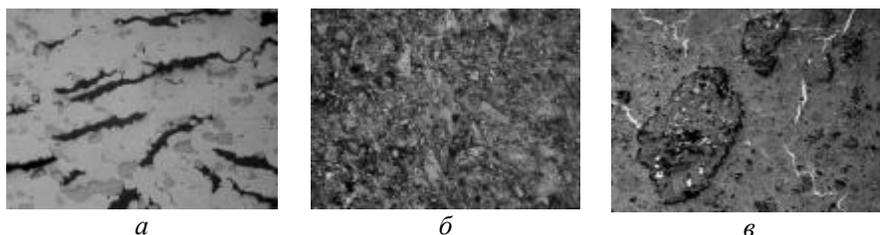


Рис. 2. Микроструктура испытанных образцов I—III типов (а—в соответственно).

Т а б л и ц а 1. Износостойкость при трении контактов из исследуемых типов материалов

Тип материала контакта	Условия трения	Удельный износ, мг/км
I	$L = 33 \text{ км}, I = 0$	1 — 5,86; 2 — 6,28
	$I = 4 \text{ А}$ на 2 пары трения	>10 (катастрофический износ)
II	$L = 100 \text{ км}, I = 0$	$(7—8) \cdot 10^{-3}$
	$I = 4 \text{ А}$ на 2 пары трения	$1,2 \cdot 10^{-2}$
	$I = 2 \text{ А}$ на 1 пару трения*	$1,6 \cdot 10^{-2}$
III	$L = 100 \text{ км}, I = 0$	10^{-3}
	$I = 4 \text{ А}$ на 2 пары трения	$4 \cdot 10^{-3}$
	$I = 2 \text{ А}$ на 1 пару трения*	10^{-2}

* При коммутации тока отмечалось искрение.

Т а б л и ц а 2. Коэффициент трения f испытанных контактных пар

Тип материала скользящего контакта	L , км	f		
		$I = 0$	$I = 4$ А на 2 пары трения	$I = 2$ А на 1 пару трения
I	0—0,05	0,12	0,4—0,5*	—
	30	0,45 ± 0,01	0,6—0,7**	—
II	0—0,05	0,22—0,27	0,1 ± 0,02	0,1 ± 0,02
	30	0,07 ± 0,02	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01
	75	0,1 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,12 ± 0,02*
	100	0,1 ± 0,02	0,1 ± 0,01	0,11 ± 0,02
III	0—0,05	0,15	0,14 ± 0,02	0,15
	30	0,12	0,11 ± 0,02	—
	75	0,17—0,18	0,18 ± 0,05	0,06 ± 0,02
	100	0,10—0,12	0,22 ± 0,08	0,08 ± 0,02

* $L = 5$ км; ** $L = 10$ км.

Т а б л и ц а 3. Падение напряжения ΔU на контактных парах в статических ($\Delta U_{\text{стат}}$) и динамических ($\Delta U_{\text{дин}}$) условиях

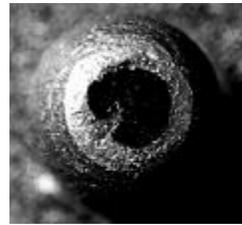
Тип материала контакта	L , км	$I = 4$ А на 2 пары трения				$I = 2$ А на 1 пару трения	
		Пара № 1		Пара № 2		$\Delta U_{\text{стат}}$, В	$\Delta U_{\text{дин}}$, В
		$\Delta U_{\text{стат}}$, В	$\Delta U_{\text{дин}}$, В	$\Delta U_{\text{стат}}$, В	$\Delta U_{\text{дин}}$, В		
II	0	0,65	0,75 ± 0,05	0,60	0,75 ± 0,05	0,70	0,93 ± 0,05
	30	0,73	0,80 ± 0,05	0,70	0,80 ± 0,05	0,55	1,4 ± 0,3
	75	0,70	0,84 ± 0,05	0,70	0,72 ± 0,05	0,40	0,80 ± 0,1
	100	0,72	0,81 ± 0,05	0,74	0,78 ± 0,05		
III	0	0,63	0,92 ± 0,03	0,66	0,92 ± 0,03	0,45	1,05 ± 0,03
	30	0,68	1,14 ± 0,05	0,66	1,16 ± 0,05	0,16	0,93 ± 0,03
	75	0,58	1,05 ± 0,03	0,63	1,08 ± 0,03	0,35	0,87 ± 0,05
	100	0,49	1,03 ± 0,03	0,52	1,04 ± 0,03		

Состояние рабочих поверхностей образцов из материала I типа оказалось не типичным для скользящих контактов, а больше соответствовало электроэрозионному разрушению поверхностей контактных деталей релейного типа (рис. 3). Об этом свидетельствуют глубокие кратеры с оплавленными краями и большим количеством продуктов износа. Следы схватывания наблюдаются в виде отдельных бугров, которые образовались в результате повышения плотности тока на этих участках при изменении положения трущейся поверхности при вибрации, а глубокие каверны и борозды, очевидно, являются следствием абразивного воздействия контактного материала, перенесенного на контртело.

В процессе испытаний установлено, что скользящие контакты из материала на металлической основе имеют повышенный износ даже при отсутствии нагружения током (табл. 1), поэтому они досрочно были сняты с испытаний. Коэффициент трения контактных пар также был довольно



$L = 5 \text{ км}$



$L = 10 \text{ км}$

Рис. 3. Рабочие поверхности контактов из материала на металлической основе (I тип); $I = 2 \text{ А}$.

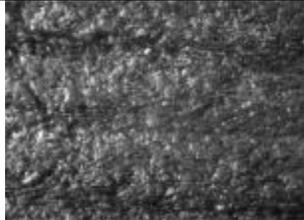
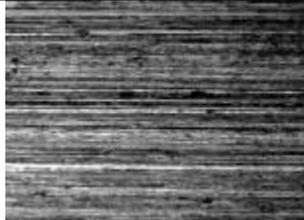
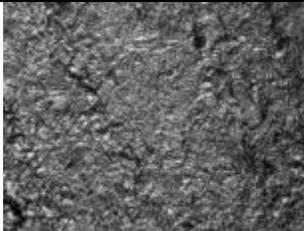
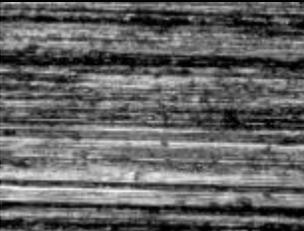
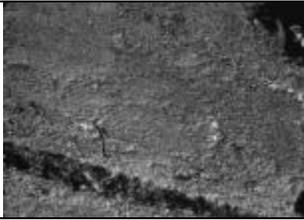
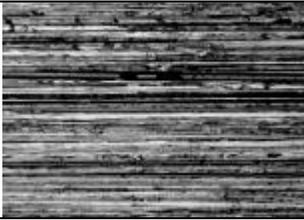
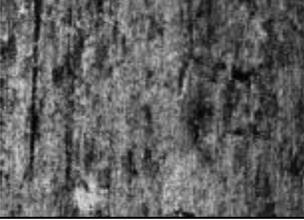
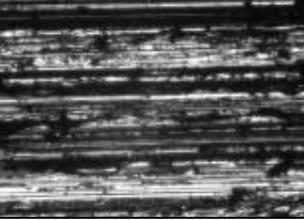
Тип материала контакта	Рабочие поверхности токосъемной пары	
	Скользящий контакт	Контртело
II		
	$I = 0, \text{ x100}$	x50
II		
	$I = 2 \text{ А}, \text{ x100}$	x125
III		
	$I = 0, \text{ x100}$	x125
III		
	$I = 2 \text{ А}, \text{ x63}$	x125

Рис. 4. Рабочие поверхности скользящих контактных пар после испытаний.

высоким (табл. 2), несмотря на наличие графита в составе скользящего контакта. Нагружение током еще более усугубило износ контактов: из-за вибрации вследствие схватывания они выпали из кареток, и их дальнейшие испытания были прекращены.

Скользящие контакты из композиций II и III типов выдержали полный цикл испытаний ($L = 100$ км как без токовой нагрузки, так и при коммутации тока) с небольшой потерей массы и при невысоких значениях коэффициента трения и падения напряжения на контактных парах. Следует, однако, отметить более высокую износостойкость контактов из материала III типа (табл. 1); при этом значения коэффициента трения и падения напряжения у контактной пары со скользящими контактами из композиции II типа были ниже и отличались большей стабильностью (табл. 2 и 3). Кроме того, при трении без токовой нагрузки у контактов из углеграфитовой композиции имел место скрип, а при коммутации тока без резервирования периодически возникало искрение у скользящих пар с контактами из обоих типов материалов, но у скользящей пары с контактом из углеграфита оно проявлялось значительно реже. Анализ состояния поверхностей трения контактных пар (рис. 3) показал, что это явление вызвано наличием на них продуктов износа.

В результате металлографических исследований установлено, что в отсутствие коммутации тока на поверхности контртел, работавших в паре со скользящими контактами из углеграфитовой композиции (II тип) происходит намазывание материала контакта в углублениях на дорожках трения, которые образовались в процессе приработки поверхностей. При наложении токовой нагрузки износ поверхностей усиливается, вследствие искрения продукты износа частично выгорают, оставляя глубокие выемки на обоих элементах трущейся пары.

Контакты из композиции, содержащей медь в виде волокон (III тип), изнашиваются меньше, но при этом в большей степени изнашивают контртело. Как видно на рис. 4, при коммутации тока износ контртел в этом случае становится весьма значительным.

Выводы

Проведены комплексные испытания скользящих контактов из материалов трех основных типов, используемых для вставок токоприемников электроподвижного состава железнодорожного транспорта: на металлической основе, на основе углеграфита и на основе кокса с включением меди в виде дискретных волокон. Установлено, что материал на металлической основе непригоден к использованию в качестве вставок токоприемников, работающих при повышенных нагрузках, вследствие развития схватывания. Наиболее высокую износостойкость при умеренном удельном сопротивлении проявили контакты на коксовой основе с включением медных волокон, однако их повышенная твердость вызывала значительный износ контртела. Введение твердого смазывающего наполнителя в состав этой композиции позволит существенно улучшить ее антифрикционные свойства и обеспечит ее конкурентоспособность для использования в качестве вставок токоприемников, предназначенных для работы при повышенных нагрузках.

1. Берент В. Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта. — М. : Интекст, 2005. — 408 с.
2. Большаков Ю. Л. Современные подходы к производству углеродных контактных вставок электроподвижного состава / Ю. Л. Большаков, В. Г. Сыченко // Научный вісник КУЕІТУ. Нові технології. — 2012. — № 4 (38). — С. 64—67.
3. Большаков Ю. Л. Основные направления создания новых композиционных материалов для вставок токоприемников электротранспорта / [Ю. Л. Большаков, И. С. Гершман, В. Г. Сыченко, С. М. Жуковин] // Вісник ДНУЗТ. — 2006. — Вип. 13. — № 5. — С. 14—20.
4. Большаков Ю. Л. Перспективные направления создания современных углеродных материалов для вставок токоприемников электротранспорта / Ю. Л. Большаков, И. С. Гершман, В. Г. Сыченко // Електрифікація транспорту. — 2013. — № 5. — С. 19—24.
5. Пат. 74952 України. МПК (2006) В60L 5/08. Контактна вставка для струмоприймачів електрорухомого складу / Ю. Л. Большаков, М. Ю. Большаков. — Опубл. 15.02.2006. Бюл. № 2.
6. Pat. 2511705 JP. МПК В60L 5/00; C04B 35/52; C04B 35/80. Carbon-metal composite material // К. Masato, S. Yukihiro, S. Kiyoshi. — Опубл. 03.07.1996.
7. Купцов Ю. Е. Технично-економические показатели и перспективы использования различных способов снижения интенсивности изнашивания контактного провода // Электрические контакты. — М. : Наука, 1975. — С. 100—118.

Порівняльне дослідження матеріалів контактних вставок струмоприймачів залізничного транспорту

Л. О. Крячко, В. Г. Затовський, М. Є. Головкова

Вивчено вплив підвищених навантажень на зносостійкість при терті ковзання, антифрикційні характеристики і комутаційну здатність пар тертя з ковзним контактом із матеріалів трьох типів: на металевій основі, з вуглеграфітової і вуглець-металомісткої композиції. Ковзний контакт з матеріалу на металевій основі випробувань не витримав внаслідок розвитку схоплювання з матеріалом контртіла. Висока твердість контактів з вуглець-металомісткої композиції викликала підвищений знос контртіла. На підставі результатів комплексного дослідження зроблено висновок про необхідність підвищення антифрикційних властивостей цього матеріалу для можливого його використання в умовах важких навантажень.

Ключові слова: контактні вставки, електрорухомий склад, зносостійкість при терті, комутаційна здатність.

Comparative study materials contact inserts for the pantograph on electric railway

L. A. Kryachko, V. G. Zatovskiy, M. Ye. Golovkova

The influence of high loads on the wear resistance in sliding friction, anti-friction characteristics and switching capacity of friction pairs with a sliding contact of the three types of materials: metal-based, from carbon and graphite and carbon-metal-containing compositions. Sliding contact of metal material on the basis of the test could not stand because of the development setting with counterface material. High hardness contacts from carbon-metal-containing composition has caused increased wear of the counterface. Based on the results of a comprehensive study concluded that the need to improve the anti-friction properties of this material for possible use in high loads.

Keywords: contact inserts, the composition of electric, wear by friction, switching capacity.