

НОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ, ПРЕСС-ФОРМЫ И ТЕХНОЛОГИИ ФОРМОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДА

М.Н. Самодурова, Л.А. Барков, В.А. Иванов, В.Г. Шеркунов

THE NEW PRODUCTS, TOOLS AND TECHNOLOGY OF PRESSING CARBON-BASE POWDER MATERIALS

M.N. Samodurova, L.A. Barkov, V.A. Ivanov, V.G. Sherkunov

Представлен анализ известных и новых, выполненных в Южно-Уральском государственном университете, теоретических, экспериментальных и опытно-промышленных исследований способов и устройств для статического формования полуфабрикатов и изделий из порошков и порошковых композиций со специальными свойствами.

Ключевые слова: токосъемники, углерод, композиции, пресс-форма, электрическое сопротивление, плотность.

The paper presents an analysis of known and updated, worked by scientists of the South Ural State University, theoretical, experimental and technological investigations of methods and systems for static formation of semi-products and products from powders and powder compositions with special properties.

Keywords: inserts, carbon, compositions, die, electrical resistivity, apparent density.

Введение

В Челябинске сосредоточены крупные производства (ОАО «ЭНЕРГОПРОМ – Челябинский электродный завод» (далее ЧЭЗ), ОАО «Электрометаллургический комбинат», ООО «Графитопласт», филиал ООО «Донкарб Графит», ООО «Углеграфит», ООО «Углеродные материалы» и др.), выпускающие широкий сортамент изделий различного назначения из порошковых материалов на основе углерода. Так, крупнейшее в России производство ЧЭЗ [1] выпускает графитированные электроды, используемые во всем мире для выплавки электростали (рис. 1); огнеупорные блоки электролизеров для получения алюминия, блоки для футе-

ровки доменных печей и другие изделия (рис. 2); конструкционные изделия для ядерных реакторов, ракетной техники, а также машиностроения и электротехники (рис. 3).

Все перечисленные изделия, выпускаемые ЧЭЗ, получают по традиционной технологии, разработанной еще в конце XIX в. американской фирмой ACHESON CARBON. Эта фирма в 1928 г. объединилась с другой американской фирмой NATIONAL CARBON и в настоящее время это крупнейший в мире концерн, носящий название GRAFTECH INTERNATIONAL.

Технологическая схема получения изделий ЧЭЗ из материалов на основе углерода, показанная



Рис. 1. Графитированные электроды ЧЭЗ [1]

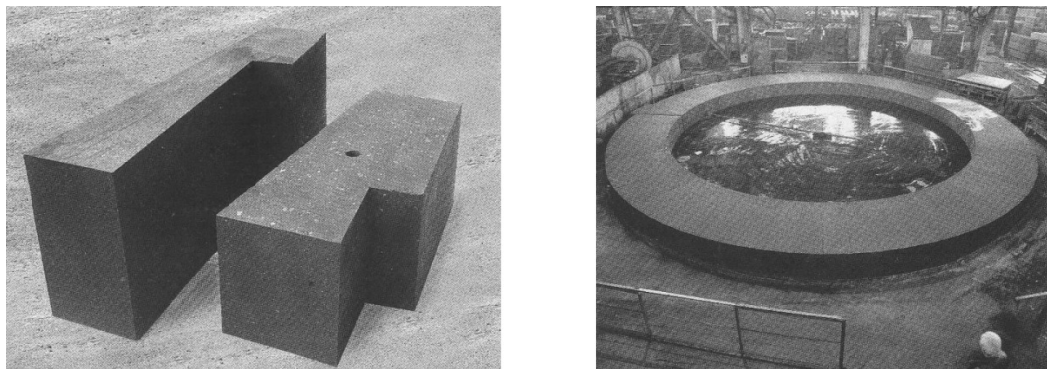


Рис. 2. Огнеупорные футеровочные блоки ЧЭЗ [1]

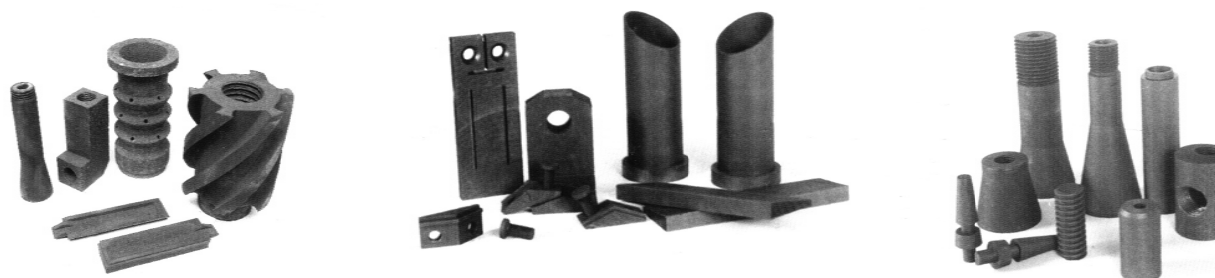


Рис. 3. Конструкционные изделия из материалов на основе углерода ЧЭЗ [1]



Рис. 4. Технологическая схема получения изделий на ЧЭЗ [1]

на рис. 4, включает подготовку кокса, связующего пека, их смешивание, прессование заготовок, их предварительный обжиг, графитацию и механическую обработку заготовок для получения изделий.

Из схемы на рис. 4. видно, что технология получения изделий многооперационна, трудоемка, требует своей реализации больших затрат времени. В результате механической обработки графитированных заготовок на изделия образуется большой объем «отходов». Конечно, эти «отходы», представляющие собой графиты различных марок, возвращаются в производственный цикл. Но, с другой стороны, эти «отходы» – исходный материал для получения, по упрощенной технологической схеме, конструкционных изделий различного назначения, например, их формованием со связкой в закрытых пресс-формах.

Так, в конце 90-х гг. прошлого века с участием ученых кафедры «Машины и технологии обработки материалов давлением» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ) было создано малое предприятие ООО «Графитопласт» [2], производящее широкий сортамент изделий электротехнического назначения на основе «отходов» ЧЭЗ. В последние годы изделия электротехнического назначения, прежде всего вставки токосъём-

ников троллейбусов, вставки пантографов городского (трамваи) и железнодорожного транспорта, перестали по своим параметрам удовлетворять потребителей России и стран ближнего зарубежья. В связи с этим сотрудниками ООО «Графитопласт» и учеными ЮУрГУ был выполнен большой объем исследований по созданию новых конструкций вставок, разработке для их получения новых пресс-форм и технологий формования этих изделий.

Конструкции пресс-форм и технология прессования вставок токосъёмников троллейбусов

Исследования по формованию новой конструкции вставок токосъёмников троллейбусов выполнены на пресс-форме (рис. 5), предназначенной для прессования порошков и порошковых композиций. Пресс-форма устанавливается на стол специализированного гидравлического пресса с вертикальным и горизонтальным плунжерами. Конструкция пресса описана в монографии [3]. В собранную пресс-форму засыпается порошковая смесь. После включения в работу пресса вначале начинает перемещаться горизонтальный плунжер, усилием P_T он зажимает пресс-форму, затем перемещается вертикальный плунжер и пуансон. Мак-

симальный ход пуансона равен 80 мм при минимальной скорости его перемещения – 2,5 мм/с. Величина скорости перемещения пуансона связана с возможностью удаления газов атмосферы из засыпки порошковой смеси в процессе прессования изделия. В описанной пресс-форме газы в процессе прессования удаляются через зазоры между стенками матрицы и пуансона. Варьирование этих зазоров позволило установить, что оптимальным для прессования токоъемников является зазор равный 150 мкм. Плотность прессовки и механические свойства готовых изделий существенно зависят от величины удельного усилия прессования.

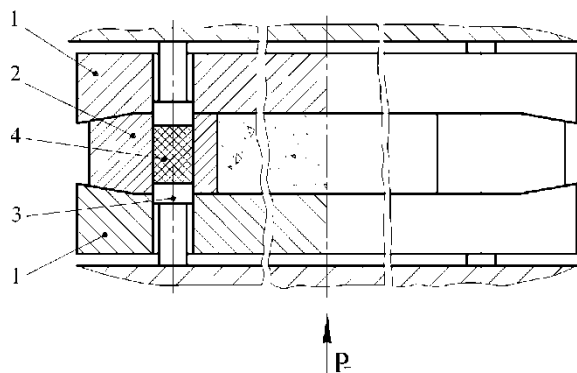


Рис. 5. Одноместная пресс-форма для прессования графитопластовых вставок токоъемников: 1 – боковина; 2 – торцевая пластина; 3 – штифт; 4 – упругий элемент [4]

В процессе исследования удельное усилие прессования меняли от 10 до 50 МПа. При усилии 10 МПа плотность прессовки была менее 1,6 г/см³ (пористость > 20 %). Предел прочности на сжатие – ниже 20 МПа, предел прочности на изгиб – менее 10 МПа и твердость по Шору – менее 20 НШ. При усилии прессования 50 МПа и скорости перемещения пуансона 4,5 мм/с наблюдается на ряде прессовок расслой (брак изделия). Поэтому для

новой технологии рекомендуются удельные усилия прессования равные 30 МПа, при скорости перемещения пуансона равной 2,5 мм/с, при температуре порошковой смеси не менее 170 °С и выдержке под давлением при этой температуре не менее 5 мин [5].

Исследованы свойства новых вставок [6], конструкция одной из них показана на рис. 6. Значения свойств готовых вставок, полученных на основе состава: 86 % графита и 14 % фенолформальдегидной смолы, приведены в таблице.

Разработанная технология была использована при организации промышленного производства графитопластовых вставок на ООО «Графитопласт». Были разработаны технологические условия ТУ 3497-001-56404425-2002 на опытно-промышленное производство токоъемников троллейбусов на ООО «Графитопласт». После освоения этого производства были проведены сертификационные испытания графитопластовых вставок токоъемников на специальном стенде Гортранса города Челябинска. Испытания показали, что износ провода от графитопластовых вставок токоъемников, по сравнению с ранее применявшимися вставками, изготовленными из порошков алюминия с добавлением 3–4 % порошка графита, уменьшился с 0,042 мм на 10 тыс. проходов до 0,0035 мм на 10 тыс. проходов, т. е. в 12 раз. При этом устранились явления приваривания токоъемника к проводу, задилов провода. Испытания позволили проверить требования к свойствам вставок и уточнить параметры основных операций промышленной технологии их производства. Технические условия на промышленную технологию были разработаны М.Н. Самодуровой и утверждены в 2004 году. Новая конструкция вставок токоъемников троллейбусов, как показал опыт их эксплуатации, по сравнению с другими известными конструкциями [7, 8] имеет повышенную износостойкость.

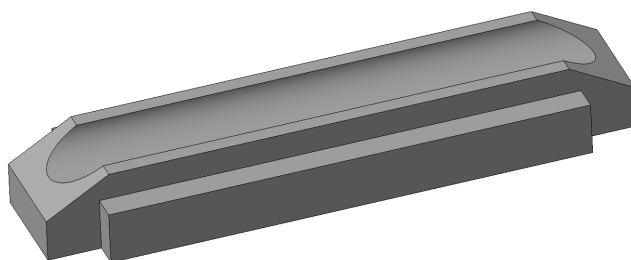


Рис. 6. Общий вид конструкции токоъемника по патенту [6]

Показатели свойств вставок токоъемников

Наименование показателя	Диапазон значений	Единица измерения
Плотность изделий	1,55–1,60	г/см ³
Прочность на сжатие	30–35	МПа
Прочность на изгиб	15–20	МПа
Твердость	25–30	по Шору в НШ
Удельное электрическое сопротивление	50–60	мкОм · м

Существенным отличием нового способа получения вставок токосъемников является более длительная и ступенчатая термообработка прессовок. Это позволяет полностью завершить полимеризацию связующего, т. е. прочно связать все частицы графита между собой, что ведет к улучшению механических свойств изделий, а при их эксплуатации устраняется явление «пыления» токосъемников несвязанными мелкими частицами графита.

В настоящее время графитопластовые вставки токосъемников троллейбусов производства ООО «Графитопласт» используются не только в большинстве крупных городов России, но и во многих городах ближнего зарубежья.

Для реализации новой технологии формования вставок токосъемников троллейбусов были разработаны на уровне изобретений новые конструкции пресс-форм, устанавливаемые на гидравлических прессах общего назначения. Пуансон в этих пресс-формах перемещается со скоростью в пределах от 15 до 30 мм/с, а скорость деформации порошковой смеси имеет значения не более $0,003 \text{ с}^{-1}$. Принцип работы односторонней пресс-

формы специальной конструкции для одностороннего прессования на прессах общего назначения [9] показан на рис. 7, многосторонней пресс-формы – на рис. 8 [10].

Подвижность боковин пресс-формы (см. рис. 7) позволяет в процессе прессования уменьшить реактивные силы трения порошковой смеси на поверхностях контакта с боковинами. Это снижает анизотропию плотности по высоте прессовки и приближает процесс одностороннего прессования по своим показателям к двухстороннему. Повышаются также механические свойства прессовок, снижается их удельное электрическое сопротивление.

Прессование в многосторонней пресс-форме позволяет увеличить производительность процесса получения вставок троллейбусов.

Конструкции пресс-форм и технология прессования вставок пантографов

Исследования по статическому формованию новых вставок пантографов выполнены в пресс-форме, конструкция которой описана в патенте [11]. Принципиальная схема пресс-формы приведена на рис. 9.

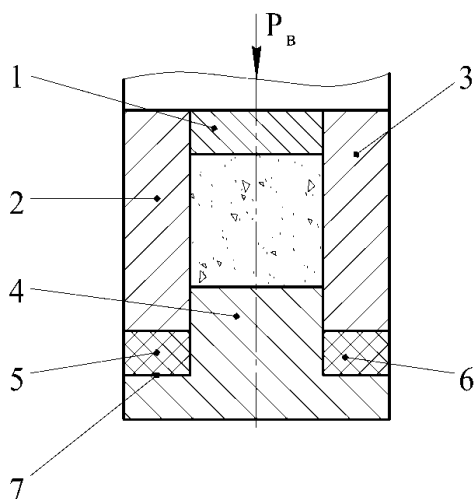


Рис. 7. Пресс-форма для прессования вставок токосъемников троллейбусов: 1 – пуансон; 2, 3 – подвижные боковины; 4 – основание; 5, 6 – упругие элементы; 7 – запечки

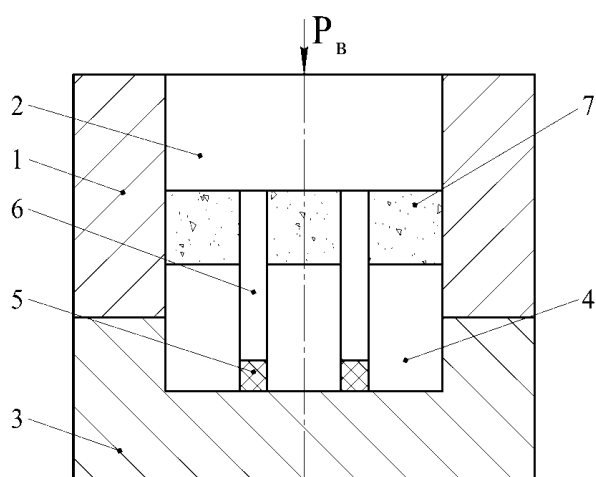


Рис. 8. Многосторонняя пресс-форма для прессования вставок токосъемников троллейбусов: 1 – матрица; 2 – пуансон; 3 – обойма; 4 – нижний пуансон; 5 – упругий элемент; 6 – подвижные вставки; 7 – засыпка

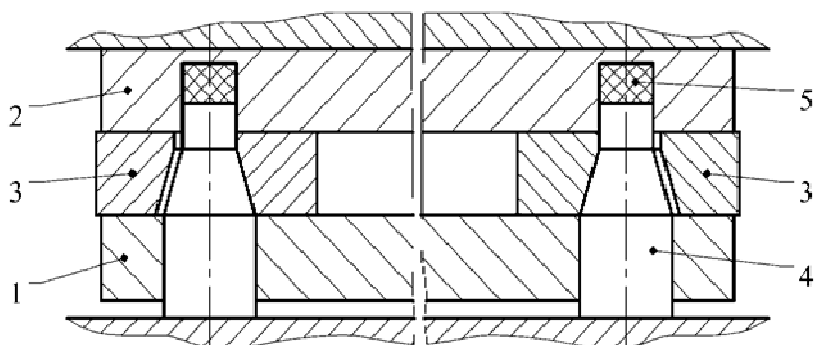


Рис. 9. Пресс-форма для формования вставок пантографов: 1, 2 – боковины; 3 – торцевые пластины; 4 – соединительный штифт; 5 – упругий элемент

Исследования также выполнялись в пресс-формах, показанных на рис. 5 и 7. Кроме состава: графит 86 % и смола 14 %, для исследований использовались составы, содержащие наполнителя от 85 до 81 % и связки от 15 до 19 %. Промышленная технология формования вставок пантографов разработана для 15 % содержания в порошковой смеси фенолформальдегидной смолы марки СПФ-11А. Исследование физико-механических свойств полученных вставок показало, что удельное электрическое сопротивление равно $60 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$, пределы прочности: на сжатие – 30 МПа, на изгиб – 20 МПа, твердость – 30 НШ (по Шору) при средней плотности вставок равной $1,55 \text{ г/см}^3$.

Анализ конструкций, применяемых в промышленности вставок [9], а также предложенных в зарубежных [13, 14] и отечественных патентах [15–18], показал, что они имеют существенные недостатки.

Для устранения недостатков в конструкциях известных углеродных вставок пантографов электроподвижного транспорта, а также снижения их материалоемкости и повышения износостойкости авторами статьи на уровне изобретений [19, 20] разработана новая усовершенствованная конструкция вставок пантографов.

Поставленная цель по снижению материалоемкости и повышению износостойкости достигается тем, что в токоъемном элементе, содержащем металлический держатель с закрепленными в нем с помощью «ласточкина хвоста» составными частями вставки, имеющими заходную часть для контактного провода, центральная часть вставки

на длине $0,4 \div 0,6$ малого основания трапеции выполнена параллельной этому основанию, на остальной части малого основания трапеции высота центральных частей вставок монотонно убывает. Сам металлический держатель для центральных и крайних частей вставки выполнен в виде равнобоковой трапеции с углами при нижнем основании $16 \div 20^\circ$ (рис. 10).

Отличие предлагаемой вставки от известных конструкций заключается также в том, что заходная часть для контактного провода описана ветвью параболы с формулой $y = (0,2 \div 0,4)x^2$, где y – текущая ширина вставки, x – текущая разница. Стыки торцов центральных и крайних частей вставки выполнены под углом 45° к горизонту. Снижение материалоемкости и повышение износостойкости вставки достигается тем, что контактная центральная часть вставки на длине $(0,4 \div 0,6)L_T$ малого основания трапеции держателя выполнена параллельной этому основанию, за счет этого достигается экономия от 25 до 35 % материала центральной части вставки. Износостойкость центральной части вставки, как показали промышленные исследования, повышается за счет удаления части дугообразной поверхности с пониженной плотностью, прочностью, механической и электрической износостойкостью. Снижение высоты вставок повышает надежность их крепления в держателе.

Кроме того, износостойкость вставки повышается за счет выполнения поверхности заходной части по параболической форме. Устранение углов на боковой поверхности и замена их на плавную ветвь параболы позволяет в начальный момент

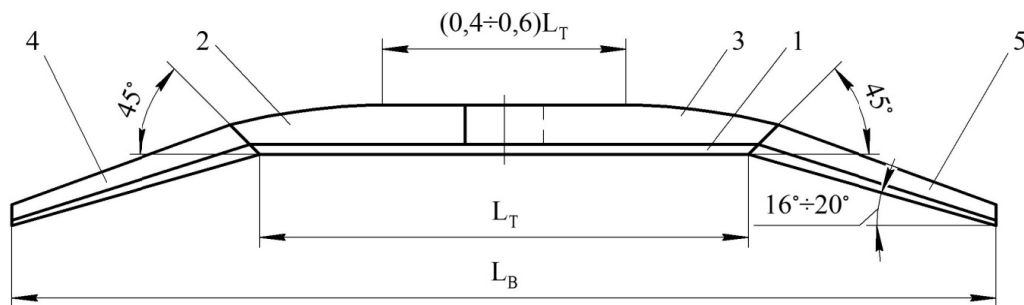


Рис. 10. Конструкция усовершенствованной вставки по [20]

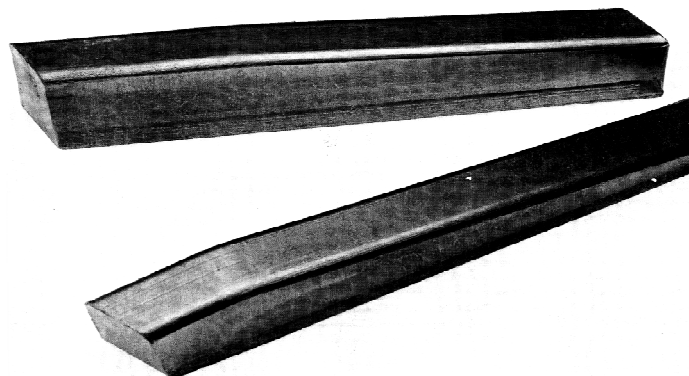


Рис. 11. Внешний вид центральной и одной боковой частей вставки

эксплуатации вставки избежать возникновения сколов, трещин и других макродефектов от динамического воздействия деталей подвески и стыковки контактного провода, а также деталей механизмов пересечения различных контактных линий. После приработки контактная поверхность, как показала исследования, также остается близкой к параболической.

Выполнение стыков торцов крайних и центральных частей вставки по углом 45° к горизонту также повышает износостойкость вставок. Такое сопряжение торцов позволяет устранить «пропилы» в процессе работы вставок. За счет устранения ручных операций подгонки, запиловки торцов достигается экономия углеграфитового материала и сокращаются трудозатраты.

Внешний вид центральной и одной боковой частей составной вставки, выпускаемой по промышленной технологии ООО «Графитопласт» показаны на рис. 11.

В настоящее время НИР ведутся в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (Мероприятие 1.1).

Литература

1. Проспект ОАО «Челябинский электродный завод». – www.chez.ru. – 16 с.
2. Проспект ООО «Графитопласт». – Челябинск, 2005. – 5 с.
3. Оборудование для обработки давлением порошков и порошковых заготовок / под ред. Л.А. Баркова. – Челябинск: Металл, 1992. – 296 с.
4. А.с. 1803261 СССР, В22F 3/02. Пресс-форма для прессования изделий из порошков / Л.А. Барков, М.Я. Ямпольский, С.А. Мырмин. – Заявл. 09.05.1991; опубл. 23.03.1993, Бюл. № 11.
5. Пат. 2267411 РФ, МПК В60L 5/08. Способ изготовления контактных вставок / П.Н. Зеленков, М.Н. Самодурова, Е.И. Власов. – Заявл. 28.06.2004; опубл. 10.01.2006, Бюл. № 7.
6. Пат. 39541 РФ, МПК⁷ В60L 5/08. Вставка токосъемников троллейбуса / П.Н. Зеленков, Е.И. Власов, М.Н. Самодурова. – Заявл. 02.04.2004; опубл. 10.08.2004, Бюл. № 22.
7. Пат. 465352 РФ, МПК В60L 5/00. Контактная вставка для токосъемника троллейбуса / М.Я. Вольвак, А.С. Паитала, А.А. Чугунов. – Заявл. 14.01.1974; опубл. 30.03.1975, Бюл. № 3.
8. Пат. 2201876 РФ, МПК В60L 5/08. Токосъемная вставка для электрического транспортного средства / С.М. Жуковин, Е.И. Власов, В.А. Зайцев. – Заявл. 10.04.2000; опубл. 10.04.2003, Бюл. № 9.

9. Пат. 93321 РФ, МПК В22F 3/02. Пресс-форма для прессования порошка / Л.А. Барков, С.А. Мырмин, А.Б. Чаплыгин. – Заявл. 14.08.2009; опубл. 27.04.2010, Бюл. № 12.

10. Пат. 115261 РФ, МПК В22F 3/02. Многоместная пресс-форма для прессования порошков / М.Н. Самодурова, Л.А. Барков, В.А. Иванов. – Заявл. 10.08.2011; опубл. 27.04.2012, Бюл. № 12.

11. А.с. 1694344. Пресс-форма для прессования порошков / М.Л. Ямпольский, Л.А. Барков, С.А. Мырмин и др. – Заявл. 24.04.1991; опубл. 30.11.1991, Бюл. № 44.

12. Ивин, К.В. Токосъемники городского наземного транспорта / К.В. Ивин, А.Н. Трофимов, Г.Г. Энгельс. – М.: Изд-во лит. по строительству, 1965. – 160 с.

13. G.B. Patent 1374972. Improvements in or relating to current collectors for use with overhead power cables / I.C. Ferguson. – Publ. 20 Nov. 1974.

14. U.S. Patent 4578546. Electric traction current-collector / I.C. Ferguson. – Publ. Apr. 28, 1983.

15. А.с. 1397323 СССР, МКИ Н 02 Н 5/12. Устройство крепления контактной вставки токоприемника / В.М. Павлов, В.П. Михеев. – № 412548/24-07; заявл. 21.01.1986; опубл. 25.05.1988, Бюл. № 19.

16. Пат. 1809725 Российская Федерация, МПК Н01R39/20. Композиция для изготовления токоприемников / Л.Д. Чупарова, И.К. Бороха, В.И. Грищай. – Заявл. 02.12.1993; опубл. 09.10.1995, Бюл. № 28.

17. Пат. 2168422 Российская Федерация, МПК⁷ В60L5/08. Токосъемный элемент токоприемника электрического транспортного средства / С.М. Жуковин, Е.И. Власов. – № 2229395; заявл. 30.12.2002; опубл. 27.05.2004, Бюл. № 16.

18. Пат. 2184041 Российская Федерация, МПК В60L5/08. Токосъемный элемент токоприемника электрического транспортного средства / С.М. Жуковин, Е.И. Власов, Ю.Н. Волегов и др. – № 2001103829/28; заявл. 12.02.2001; опубл. 27.06.2002, Бюл. № 6.

19. Пат. 30687 Российская Федерация, МПК⁷ В60L5/08. Токосъемный элемент электрического транспортного средства / М.Н. Самодурова, Л.А. Барков. – № 2002135796/282002135796/28; заявл. 30.12.2002; опубл. 10.07.2003, Бюл. № 19.

20. Пат. 2229395 Российская Федерация, МПК⁷ В60L5/08. Токосъемный элемент электрического транспортного средства / М.Н. Самодурова, Л.А. Барков. – № 2002135796/282002135795/26; заявл. 25.10.2002; опубл. 27.05.2004, Бюл. № 15.

Поступила в редакцию 21 августа 2012 г.