

Ю. Л. БОЛЬШАКОВ (ООО «Глория»), И. С. ГЕРШМАН (ВНИИЖТ, Россия),
В. Г. СЫЧЕНКО (ГП ДОСЖТ), С. М. ЖУКОВИН (ООО «Союзкарбон», Россия)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВСТАВОК ТОКОПРИЕМНИКОВ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Розглянуто основні напрямки створення нових композиційних матеріалів для вставок струмоприймачів електротранспорту.

Рассмотрены основные направления создания новых композиционных материалов для вставок токоприемников электротранспорта.

Basic directions of creation of new composition materials for the insertions of current receiver electric transport are considered in the article.

На протяжении многих лет не угасает интерес специалистов к вставкам токоприемников как городского электротранспорта, так и электроподвижного состава железных дорог (ЭПС). К материалу вставки, которая является основным связующим элементом токосъема с контактного провода (КП), предъявляются жесткие эксплуатационные требования в полной мере раскрытые в [1; 2].

Анализ технических требований показывает, что она должна удовлетворять многим взаимоисключающим условиям работы. С одной стороны это требование минимального износа КП при обеспечении надежного токосъема, а с другой – максимально возможный межремонтный пробег полоза токоприемника. Первое требование выполняется при определенном сочетании комплекса свойств таких как: электропроводность, дугостойкость, триботехнические характеристики, а второе – высокими значениями показателей твердости, прочности и износостойкости вставок.

Представляется весьма актуальной практической задачей проанализировать существующие принципиальные подходы к выбору состава

ва композиционных материалов (КМ), технологии их применения в производстве вставок, возможности серийного изготовления. Важным фактором в последнее время служит экономическая обоснованность использования КМ с позиции их стоимости и доступности.

Можно выделить три основных направления исследований по совершенствованию материала вставок. К первому относятся работы и непосредственно производство вставок на металлической основе, их эксплуатация на ЭПС переменного и постоянного тока (ЭР2, ВЛ-8, ВЛ-11, ЧС-7 и др.), а также на троллейбусах. В настоящее время на железных дорогах стран СНГ широко используются пластины из медного проката в обязательном сочетании с графитовой смазкой марки СГС, закладываемой в углубления полоза между рядами пластин. Преимущества и недостатки такого решения достаточно полно отражены в работах [1; 3].

Более детально рассмотрим принципы создания металлокерамических вставок, получаемых методами порошковой металлургии. В основном такие вставки производят на основе железа или меди (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Весовое содержание компонентов (масс. %) в материале вставок на основе железа

Наименование работ или марки материала	Fe	Гр	Cu	Pb	Sn	Примечание
1. ВЖ-3П [1; 3]	70	–	12	16	1	1...Ni
2. [4]	85	–	15	–	–	Пропитка: СО5
3. [5]	95	5	–	–	–	Пропитка: металлополимер «капрон-медь»
4. [6]	Остальн.	1,2...1,5	5...10	–	–	0,3...0,8 S

Наименование работ или марки материала	Fe	Гр	Cu	Pb	Sn	Примечание
5. [7]	Остальн.	0,3...2	1...20	1...15	–	0,2...0,8 S
6. [8]	Остальн.	0,3...2	2...10	1...15	0,5...1,25	0,3...1,0 S
7. [9]	Остальн.	8...18	8...20	–	–	–
8. [10]	70	–	30	–	–	–
9. [11] Пат.87231(ЧССР)	82	14	4	–	–	Пропитка: Pb,Sn
10. ООО «Глория» (Украина)	75	15	10	–	–	Пропитка: суспензия «масло + коллоидный графит» «глицерин + коллоидн. графит»

Примечание: Гр – графитовый материал; остальные обозначения – общепринятые

Таблица 2

Весовое содержание компонентов (масс. %) в материале вставок на основе меди

Наименование работы или марки материала	Cu	Гр	Pb	Sn	Примечание
1. [17]	Остальн.	1...15	–	–	1...10 CuS, 0,5...3,0 MoS ₂
2. [18]	Остальн.	0,3...3,0	–	2...8	2...10 CuS, 3...12 Fe
3. [19]	Остальн.	0,2...5,0	–	7...11	0,3...6,0 Ni, 3...25 Mo (FeW)
4. [20]	Остальн.	0,5...6,0	2,0...8,0	2...13	3...15 Ni
5. [21]	Остальн.	1...5	–	5...15	0,5...2,0 Ni, 3...15 FeS (CuS)
6. P8 [10]	85	1,0	7,0	–	5 Fe, 1Ni, 1 MoS ₂
7. [22]	Остальн.	1...4	12...16	3...8	–
8. Производство завода «Красная Звезда» г. Стаханов (Украина) [23]	82,5	5,0	–	–	12,5 Fe
9. НМГ-1200 ТТУ6-035347-94	98	1,2	–	–	0,4 Cr
10. [24]	50	50*	–	–	*Смесь: натуральн. графит + высокотемпературный пек (5:1)
11. [25]	Остальн.	5...30*	–	–	*Смесь: графит + полукок (4:1)
12. [26]	Остальн.	3...6*	–	–	*Стеклоуглерод
13. [27]	Остальн.	10,5...25,0	–	–	9,6...12 Fe, 2,4...16 Zn, 0,48...1,2 P; Гр. + Cu в виде гранул 0,4...2,0 мм
14. [28]	68	Остальн.	–	–	Добавки Zn, MoS ₂ , Si, частицы Гр < 5 мкм
15. [29]	Остальн.	3,5...5,0	0,5...7,5	–	Графит в виде гранул

Под термином «основа» авторы понимают порошок материал, который в процессе изготовления образует несущую каркасную матрицу, обуславливающую в конечном итоге структурную прочность изделия, его размеры и т. д.

Как правило, объемное содержание основы в КМ составляет более 50 %. Понятно, что в рамках одной статьи практически невозможно отразить весь объем научно-технической и патентной информации, посвященной данному вопросу.

Авторы на примерах попытались отразить характерные черты и тенденции развития подбора КМ применительно к конкретному изделию. Предложение авторов [12; 13] добавлять в КМ вставок вольфрам (0,5...10 масс. %) или карбид вольфрама (2...30 масс. %) в качестве дисперсно-упрочняющей фазы нам представляется нерациональным, так как твердость материала вставки становится практически равной твердости КП. Получение эффекта самосмазывания, путем пропитки железуграфитового каркаса изделия легкоплавными металлами Pb, Sn, Zn, Cd и их сплавами, известно из технологии производства антифрикционных порошковых материалов.

В работах [10; 11] достаточно полно описаны физико-механические и химические процессы, происходящие в этом случае на контактных поверхностях пары трения. Кратко, суть заключается в следующем: с повышением температуры в зоне контакта или же смятия микронеровностей под действием давления, легкоплавная металлическая смазка расплавляется, или же выдавливается из микропор, и тем самым создается разделительная пленка, достигается эффект саморегуляции.

Для подшипников скольжения указанное явление просматривается вполне определенно. Однако следует заметить, что в подшипниковом узле процесс взаимодействия происходит в основном при стабильной атмосфере и долговременно, т. е. контактирующие поверхности трения не обновляются. Интенсивность изнашивания существенно меньше, чем скорость протекания наблюдаемых физико-химических процессов [14]. Напротив, соприкосновение участков поверхности КП и вставки кратковременно, участки постоянно обновляются.

Например, при скорости ЭПС 72 км/ч длительность линейного контакта длиной в 1,0 мм составляет 0,05 и 5 мс в продольном и поперечном направлениях соответственно. В результате достижение эффекта саморегуляции практически не наблюдается [1]. Фактически это объясняет тот факт, что на железных дорогах Украины металлокерамические вставки используются совместно с графитовой смазкой СГС. Кроме того, в связи с резким подорожанием свинца, олова и других металлических смазок приходится учитывать экономическую целесообразность их применения, а также все более жесткие требования по охране окружающей среды.

Перспективными являются КМ с содержанием графита не менее 10...15 % (20...30 % объем). Только в этом случае, как показано

в работе [15], обеспечивается устойчивая реализация эффекта самосмазывания. При этом возникают технологические затруднения получения бездефектной плотной заготовки на стадии прессования [16], так как частицы графита пластически не деформируются и обладают гораздо большим уровнем упругого последействия, чем железо и медь. Одним из способов решения может служить такая технологическая схема:

- 1) прессование заготовки с пористостью 30...40 %;
- 2) спекание в среде инертного газа с защитной засыпкой и выдержкой при $T_{\max} = 1150$ °C не менее 2 ч;
- 3) пропитка суспензией (см. табл. 1 поз.10);
- 4) окончательное прессование (допрессовка) заготовки до требуемых размеров изделия.

Троллейбусные вставки, выпускаемые с 1990 г. ООО «Глория» по приведенной технологии, имеют следующие характеристики: $УЭС \leq 0,8$ мкОм·м, НВ (10/250/30) = 35...45 ед., $\rho = 4,8...5,3$ г/см³, пробег, в зависимости от климатических условий, составляет 2 000...5 000 км. За все годы эксплуатации замечаний по недопустимому износу КП не поступало. К сожалению, авторы не располагают данными об эффективности использования указанных вставок на ЭПС железных дорог.

Представленные в табл. 1 и 2 примеры отражают тенденцию, направленную на исключение из КМ дорогостоящих компонентов Pb, Sn, Ni и др. На наш взгляд, важный момент состоит в том, что одновременно предлагаются специальные технологические способы, позволяющие получать композиции со значительным содержанием углеродного материала различного состава и вида. В особенности это относится к вставкам на медной основе.

Вторым общепризнанным и наиболее развиваемым направлением является использование для вставок углеграфитовых КМ. Достигнуты существенные успехи при их длительной эксплуатации на городском электротранспорте и железных дорогах [30]. В табл. 3 представлены основные технические решения, характеризующие соотношение между отдельными компонентами.

В современном производстве вставок из углеграфитовых КМ в качестве связующего предпочтительно используется:

- а) фенолформальдегидная смола (ФФС) новолачного или резольного типа;
- б) высокотемпературный пек с температурой размягчения не менее 140 °C;
- в) смесь ФФС и пека в соотношении (9:1).

Состав вставок из углеграфитовых КМ (весовое содержание масс. %)

Наименование работ или марки материала	Углеродный наполнитель			Связующее	Примечание
	Графит	Кокс	Техуглерод		
1. [31] на основе АТМ – 1 [32]	Коксо-графитовая смесь			13...17 ФФС 1,5...2,5 уротропин	Обжиг: 1 000...1 200 °С 0,5...1,5 стеарин
2. НОВЭЗ					*Связующее композиц.
тип «А»	5	61,5...63,0	5	27...28,5*	Обжиг
тип «Б»	68...73	–	0...5	27*	Обжиг
тип «С»				–	Обжиг + графитация
3. [33]	60...79,5	–	–	Остальн. ФФС + + уротропин (7,5 : 1)	0,5...20 Си, 3,9 стеарин 1,7 известь
4. [34]	1,8...3,7 НГр	Остальн.	21,2...31,0	37,5...39,5 В/пек	Обжиг + графитация
5. [35]	1,2...33 0НГр	1,2...33,0	4,1...34,7	Остальн. В/пек	5...35 углерод. аэрогель, обжиг + графитация
6. [36]	67...75	5...12	–	11...20 ФФС	0,5...20 стеарат цинка + + Al-порошок
7. [37]	7 НГр	63	–	30 В/пек	Обжиг + графитация. Пропитка: фурфурило- вый спирт
8. [38]	2,9...52,4	2,9...54,0	3,0...52,4	Остальн. В/пек	Кокс пропитывают фу- рфуриловым спиртом
9. [39]	1...16	6...32	2...20	Остальн.	3...6 НГр, 2...20 угле- род аэрогель, 1...16 углерод обожженный материал
10. [40]	Остальн.	–	–	34...41 В/пек	55...62 углеродный наполнитель (гранулы углерода насыщенны пироуглеродом со сте- пенью 140...200 %)
11. [41]	10...20	10...20	–	ФФС	49...58 углерод. волок- на. 2...31 пироуглерод
12. [42]	Основа НГр			Пироуглерод	

Примечание: НГр – натуральный графит; В/пек – высокотемпературный пек.

Такой выбор обоснован тем, что они при карбонизации имеют выход коксового остатка больше 60 % [43; 44], а следовательно, обуславливают минимальную величину усадки и трещиноватость изделия в процессе термообработки. Кроме того, по сравнению с другими органополимерами, прослойка кокса из указанных карбонизированных связующих материалов обладает наилучшим сочетанием сродства, прочности и износостойкости.

С целью повышения прочности, улучшения триботехнических характеристик и снижения

УЭС, углеродные термообработанные заготовки пропитывают фурфуриловым спиртом или жидкой фурилфенолоформальдегидной смолой, и затем дополнительно осуществляют термообработку при 300 °С. Преимущество их заключается в хорошей адгезии к углероду, химической стойкости, низкой вязкости, высоком выходе твердого полимера при термообработке. Значительное внимание уделяется модифицированию ФФС, например, кремнийорганическими соединениями [45], органометаллическими комплексами различных металлов [46] или пропаргильовыми эфирами [47].

Углеродный наполнитель состоит из смеси порошков искусственного графита, прокаленного кокса, натурального графита, техуглерода (сажи). Показано [48], что оптимальным подбором гранулометрического состава дисперсного наполнителя достигается максимально возможная степень заполнения матричной структуры КМ. Однако на практике приходится ограничиваться двумя–тремя узкими фракциями [49–51]. Перспективным является использование игольчатого прокаленного кокса и порошка графита, полученного на его основе, что позволяет снизить электросопротивление на 30...40 % без потери прочностных свойств материала вставки.

Введение порошка графита марок МПГ-6, МПГ-7 повышает износостойкие характеристики вставок в 1,5...2 раза. При таком варианте появляется возможность существенно повысить в композиции процентное содержание натурального графита.

Новый класс углеграфитовых КМ создан при объемном уплотнении углеродной основы изделия пиролизическим углеродом [52]. Проведенный в работе [53] сравнительный анализ известных вставок и вставок с пироуглеродом, изготовленных по технологии [42], выявил особенности взаимодействия с КП и проявил их лучшие эксплуатационные характеристики. Представляет значительный интерес апробирование вставок с антифрикционными добавками фторуглерода формулы $(CF_x)_n$ и фуллерена C_{60} [54].

Качественно новым, более гибким и открывающим новые возможности оказывается путь создания вставок на основе углеродметалло-содержащих композиций. Анализ указанного направления уделяется достаточное внимание со стороны специалистов ВНИИЖТ [55; 56]. Можно выделить несколько способов введения металлической составляющей в углеграфитовый КМ вставки:

- а) пропитка пористой углеродной заготовки жидким расплавом меди или ее сплавами;
- б) добавка порошка меди на стадии приготовления шихты КМ;
- в) введение в КМ частиц графита или кокса с медным покрытием (плакирование) толщиной 5...15 мкм [11; 57; 58];
- г) в КМ металлическую составляющую добавляют в виде коротких волокон диаметром 0,1...0,5 мм и длиной 2...15 мм [59–61].

Из технических решений самым нерациональным следует признать способ (б), т. к. для заметного снижения $УЭС < 10$ мкОм·м необходимо, чтобы содержание металлического порошка составляло не менее 30 масс. % в компо-

зиции [53; 62]. Это согласуется с общими представлениями об электропроводимости полидисперсных наполненных структур [63]. При содержании меди более 30 масс. % в материале вставки из углеграфитового КМ существенно увеличивается вероятность схватывания с КП.

Совершенствованием способов (а) и (б), несомненно, следует считать предложение [64], в котором удалось добиться смачивания медью поверхности модифицированного графитового материала. Это позволило получить опытные вставки с совершенной матричной структурой, низким значением $УЭС = 3,15$ мкОм·м при содержании меди 25 масс. %. Признавая выгодные стороны способа (в), авторы должны отметить, что, к сожалению, в промышленных масштабах означенные металлизированные гранулы углеродного материала не выпускаются.

В рамках инициативных работ совместно с ООО «Глория» проведен комплекс исследовательских работ по разработке угольных контактных вставок с улучшенными эксплуатационными свойствами применительно к использованию на скоростных участках дорог, а также для электровозов типов ВЛ-82М, ВЛ-8, ВЛ-11. В результате ООО «Глория» разработало и освоило опытное производство вставок типа АМ из углеродполимерной композиции модифицированной медными волокнами со следующими свойствами: $УЭС = 8...16$ мкОм·м; $НВ (10/250/30) = 26...36$; $\rho = 1,8...2,2$ г/см³.

Опытная эксплуатация указанных вставок, проведенная по согласованию с ЦТ и ЦЭ «Укрзалізниця» в локомотивных депо Купянска и Мелитополя, показала возможность обеспечения надежного токосъема на электровозах ВЛ-82М, ВЛ-8.

Средний пробег электровозов до полного износа вставок при испытаниях составил 22...27 тыс. км и может быть повышен в 2...2,5 раза при незначительной технической доработке. При этом эксплуатация вставок АМ в локомотивном депо Мелитополь производилась в период с 04.10.2005 г. по 20.01.2006 г., т. е. в критических, с точки зрения износа, погодных условиях. Вставками АМ оборудовался только один токоприемник на каждом электровозе, вторые токоприемники были снабжены медными накладками. Эксплуатационные испытания опытных вставок проводились на линиях, где остальной электроподвижной состав оборудован медными накладками, что, само по себе, противоречит нормам Укрзалізниця в части применения угольных вставок.

Результаты испытаний признаны положительными и могут быть улучшены при оснащении электровозов ВЛ-8:

1) серийными трехрядными полозами с медной подложкой толщиной не менее 0,6 мм;

2) устройствами токоприемников (каетки, пружины) для электровозов типа ВЛ-82М, с целью обеспечения требуемой статической характеристики.

Для продолжения работ по модифицированным угольным вставкам, считаем целесообразным, включение в перечень научно-технических проблем «Укрзалізниця» следующей работы: «Разработка, внедрение и освоение серийного производства модифицированных угольных вставок для высоконагруженных и скоростных электропоездов». Возможные этапы работ:

– разработка, изготовление опытной партии (около 2 т) и расширенные испытания;

– разработка, изготовление и внедрение лабораторной установки-стенда для испытаний на износ пары контактный провод-вставка;

– разработка ТУ, сертификация продукции, освоение серийного производства.

Сроки проведения указанных работ – 1–1,5 года.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Купцов Ю. Е. Беседы о токоосъеме, его надежности, экономичности и о путях совершенствования. – М., 2001. – 256 с.
2. Трофимов А. Н. Контактные вставки токоосъемников троллейбусов. – М., 1966. – 142 с.
3. Купцов Ю. Е. Увеличение срока службы контактного провода. – М., 1972. – 160 с.
4. Берент В. Я. Новый токоосъемный материал для скользящего контакта электрического транспорта / В. Я. Берент, М. Ю. Круминя и др. // Вестник машиностроения, – 1981, – №12 – С. 21–23.
5. Харитиных Н. Е. Некоторые эксплуатационные свойства троллейбусных токоосъемников марки ЖГрМП-1 // Порошковая металлургия, – 1979, – № 1. – С. 85–87.
6. А.С. № 366992 (СССР). Оpubл. 23.01.73. БИ № 8.
7. А.С. № 389970 (СССР). Оpubл. 11.07.73. БИ № 30.
8. А.С. № 385769 (СССР). Оpubл. 14.06.73. БИ № 26.
9. Пат. № 2126457 (Россия). Оpubл. 20.02.1999.
10. Степанчук А.Н. и др. Технология порошковой металлургии. – Киев, 1989. – 415с.
11. Зозуля В.Д. Эксплуатационные свойства порошковых подшипников. – Киев, 1989. – 288с.
12. А.С. № 434036 (СССР). Оpubл. 30.06.74. БИ № 24.
13. А.С. № 472826 (СССР). Оpubл. 05.06.75. БИ № 21.
14. Справочник по триботехнике. Т.1. Теоретические основы / Под ред. Чичинадзе А. В. – М., 1989. – 400 с.
15. Федорченко И. М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы / И. М. Федорченко, Л. И. Пугина. – К., 1980. – 404 с.

16. Кипарисов С. С. Порошковая металлургия / С. С. Кипарисов, Г. А. Либенсон. – М., 1980 – 496 с.
17. Пат. № 19806 (Япония). Оpubл. 28.09.63.
18. Пат. № 19868 (Япония). Оpubл. 14.09.64.
19. Пат. № 5931 (Япония). Оpubл. 15.02.72.
20. Пат. № 48-20963 (Япония). Оpubл. 25.06.73.
21. Пат. № 49-44841 (Япония). Оpubл. 30.11.74.
22. Пат. № 2156704 (Россия). Оpubл. 27.09.2000.
23. Полищук В. С. Композиционные накладки пантографов электроподвижного состава / В. С. Полищук, В. И. Буковский // Залізничний транспорт України, – 2001, – № 3. – С. 14–17.
24. А.С. № 353303 (СССР). Оpubл. 29.09.72. БИ № 29.
25. А.С. № 658636 (СССР). Оpubл. 25.04.77.
26. Пат. № 3-0072306 (Франция). Оpubл. 16.02.83.
27. Пат. № 2049687 (Россия). Оpubл. 12.10.95.
28. Пат. № 2001119452 (Россия). Оpubл. 08.10.2003.
29. А.С. № 1239777 (СССР). Оpubл. 23.06.86.
30. Большаков Ю. Л. Современные подходы к производству углеродных контактных вставок электроподвижного состава / Ю. Л. Большаков, В. Г. Сыченко, С. М. Жуковин // Залізничний транспорт України, – 2005, – № 3/2. – С. 64–67.
31. А.С. № 337281 (СССР). Оpubл. 05.05.72. БИ № 15.
32. Сагалаев Г. В. Антегмит и его применение. – М., 1959. – 88 с.
33. А.С. № 467846 (СССР). Оpubл. 25.04.75. БИ № 15.
34. А.С. № 1335096 (СССР). Оpubл. 1987.
35. А.С. № 1619989 (СССР). Оpubл. 20.03.89.
36. А.С. № 1809725 (СССР). Оpubл. 10.01.95.
37. Пат. № 2058640 (Россия). Оpubл. 20.04.96.
38. Пат. № 2030044 (Россия). Оpubл. 27.02.05.
39. Пат. № 920159/07 (Россия). Оpubл. 20.04.95.
40. А.С. № 1362376 (СССР). Оpubл. 17.07.85.
41. А.С. № 1774521(СССР). Оpubл. 07.11.92.
42. Пат. № 2150444 (Россия). Оpubл. 10.06.2000.
43. Привалов В. Е. Каменноугольный пек / В. Е. Привалов, М. А. Степаненко. – М., 1981. – 208 с.
44. Кнои А. и Шейб В. Фенольные смолы и материалы на их основе. – М., 1983. – 273 с.
45. Пластические массы // Композиционные материалы в промышленности: Обзор материалов 24-й международной научно-практической конференции, – 2005, – № 2. – С. 4–7.
46. Бухаров С. В. Жаростойкие композиционные материалы / С. В. Бухаров, В. И. Костиков // Пластические массы, – 2005, – № 1 – С. 51–53.
47. Наибова Т. М. и др. Модификация фенол формальдегидных олигомеров пропаргильовыми эфирами // Пластические массы, – 2004, – № 11. – С. 34–35.
48. Симонов-Емельянов И. Д. Принципы создания и переработки полимерных композиционных материалов дисперсной структуры // Пластические массы, – 2005, – № 1 – С. 11–16.
49. А.С. № 368687 (СССР). Оpubл. 26.01.73. БИ № 9.
50. Пат. № 93028627/07 (Россия). Оpubл. 10.11.95.
51. Пат. № 10265А (Украина). Оpubл. 25.12.96.
52. Фиалков А. С. Углеродистые материалы. – М., 1979. – 320 с.
53. Гершман И. С. Токоосъемные углеродные материалы нового поколения / И. С. Гершман, Л. М. Бучнев // Вестник ВНИИЖТ, – 2003, – № 6.

54. Фиалков А. С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе. – М., 1997. – 718 с.
55. Гершман И. С. Токосъемные углеродно-медные материалы // Вестник ВНИИЖТ, – 2002, – № 5 – С. 15–20.
56. Берент В. Я. Перспективы улучшения работы сильноточного скользящего контакта «контрольный провод – токосъемный элемент полоза токоприемника» // Железные дороги мира, – 2002, – № 10. – 6 с.
57. Родомысельский И. Д. и др. Производство и использование порошковых деталей в легкой промышленности. – К., 1982. – 175 с.
58. Пат. № 48851 (Украина). Оpubл. 15.06.2004. Бюл. № 6.
59. Пат. № 5158828 (США). Оpubл. 27.10.1992.
60. Пат. № 2160665 (Япония). Оpubл. 20.06.1990.
61. Пат. № 74952 (Украина). Оpubл. 15.02.2006.
62. Анисимов Ю.Н. и др. Получение и свойства эпоксидных композитов, наполненных высокодисперсными металлами // Пластические массы, – 2006, – № 3 – С. 4–6.
63. Гуль В. Е. Электропроводящие полимерные композиции / В. Е. Гуль, Л. З. Шенфиль. – М., 1984. – 240 с.
64. Пат. № 2086682 (Россия). Оpubл. 27.08.97.

Поступила в редколлегию 25.04.2006.