Вопросы химии и химической технологии. -№3, -2011. –с. 59-62

УДК 678.4.046.7

И.В. Маркова, Е.А. Дзюра

ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ СВОЙСТВА И ТЕПЛООБРАЗОВАНИЕ РЕЗИНОВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна

Научно-инновационная компания «Элко», г. Днепропетровск

Исследовано влияние армирования резин короткими полиамидными волокнами на их гистерезисные свойства. Проведены измерения теплообразования резиноволокнистых композитов на массивных модельных образцах, имитирующих часть пневматической и массивной шин. Сделан вывод об эффективности применения резин, армированных короткими полиамидными волокнами, в подпротекторном слое карьерных, а также в посадочной и демпфирующей частях массивных шин.

Введение

Одним из перспективных направлений материаловедения является создание композитных материалов, обладающих особым комплексом свойств. К таким композитным материалам относятся резины, армированные короткими волокнами [1]. Преимуществами резиноволокнистых композитов (РВК) являются их высокий модуль упругости, сопротивление ползучести и релаксации напряжения [2].

Однако, при выборе материала для массивных изделий, например, большегрузных пневматических, а также непневматических высокоэластичных шин, работающих в условиях больших нагрузок и связанных с ними высоких деформаций сжатия, особое значение приобретают его гистерезисные свойства.

Экспериментальная часть

В связи с этим представляло интерес исследовать влияние армирующих волокон на гистерезисные свойства и теплообразование резин. Объектами исследования служили резины на основе натурального каучука, содержащие короткие полиамидные волокна (l=5 мм, d=0,01

мм). Для создания адгезии между волокном и резиной в неё вводили химический модификатор *м*-фениленбисмалеимид [3,4].

Гистерезисные свойства оценивали по удельной величине гистерезисных потерь. При выборе режима испытаний (сжатие при постоянной амплитуде напряжений) стремились воссоздать условия, наиболее близкие к режиму работы подпротекторного слоя сверхкрупногабаритных шин (СКГШ), а также демпфирующего слоя массивных шин.

Гистерезисные свойства оценивали на образцах цилиндрической формы (l=37 мм, d=31 мм), которые сжимали со скоростью 10 мм/мин до нагрузки P=2000 Н 5 раз. В координатах «сила – удлинение» записывали петлю гистерезиса пятого цикла. Определяли площадь, очерчиваемую петлей, и рассчитывали удельную величину гистерезисных потерь по формуле [5]

$$W = \frac{S_1 - S_2}{\pi r_0^2 L_0},$$

где S_1 – площадь, очерчиваемая диаграммой при сжатии образца, пропорциональная энергии деформации; S_2 – площадь, очерчиваемая диаграммой при снятии нагрузки с образца, пропорциональная возвращенной энергии; r_0 – радиус цилиндрического образца до испытания; L_0 – высота цилиндрического образца до испытания.

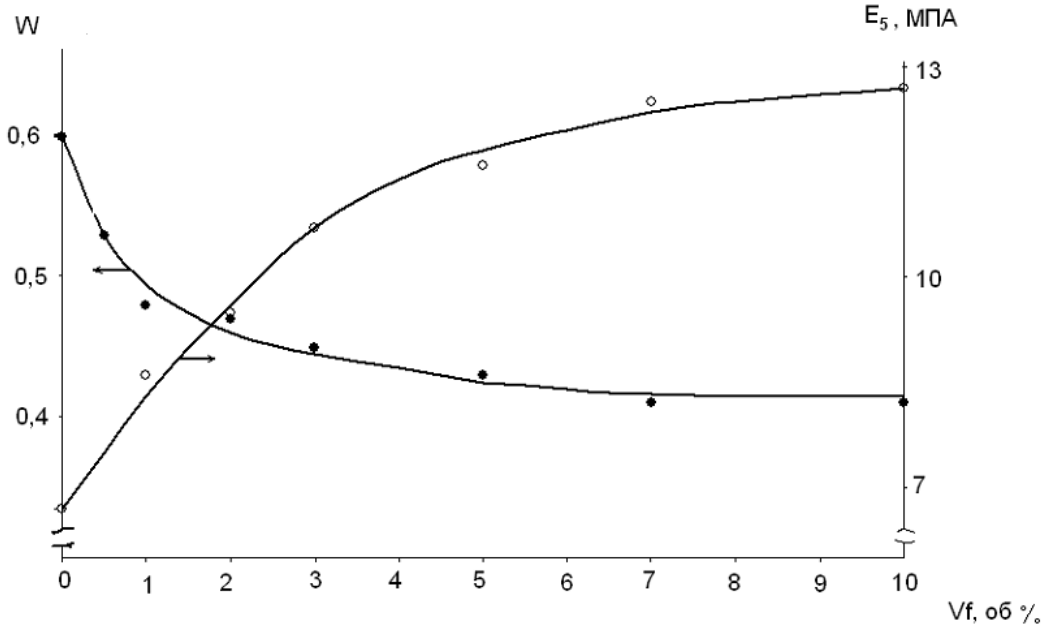

Рис. 1. Влияние концентрации армирующих ПА волокон (V_f) на удельную величину гистерезисных потерь (W) и модуль упругости при сжатии (E_5)

Предполагалось, что величина гистерезисных потерь РВК в режиме постоянных нагрузок будет определяться изменением их жесткостных свойств. Однако, результаты испытаний (рис. 1) не показали полной корреляции этих величин.

Установлено, что по мере наполнения волокнами модуль жесткости композитов при сжатии монотонно увеличивается вплоть до концентрации 7 об.%. Изменение гистерезисных потерь данных композитов носит несколько иной характер.

Уже небольшие добавки волокон (1–2 об.%) снижают этот показатель на ~ 25%. Дальнейшее повышение содержания волокон не оказывает существенного влияния на гистерезисные свойства материала. Таким образом, с точки зрения снижения теплообразования наибольший интерес представляют композиты, содержащие 1–2 об. % армирующих волокон.

Учитывая необходимость применения РВК с достаточно высоким уровнем прочностных свойств, для изучения теплообразования можно выделить композиты в двух областях концентраций коротких волокон (рис. 2).

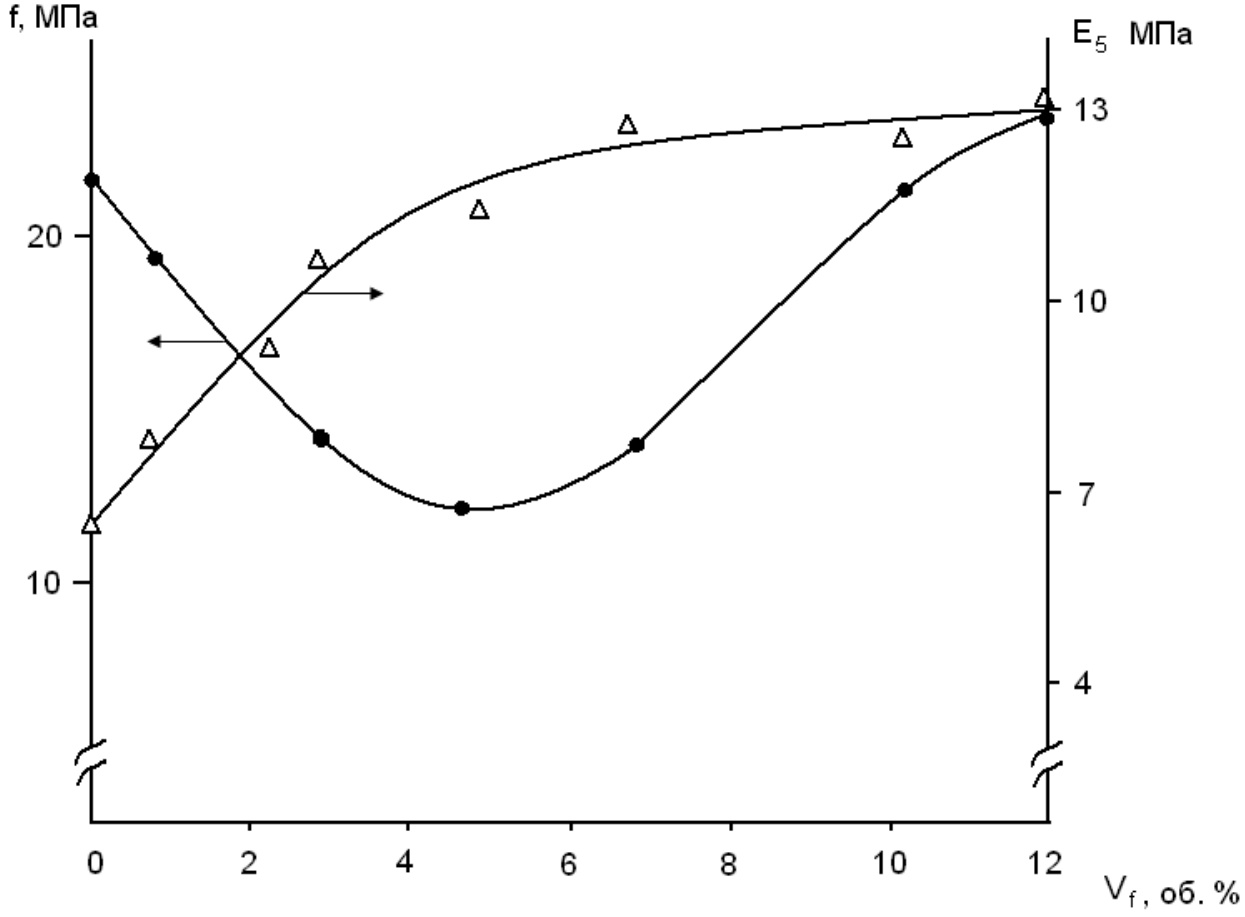

Рис. 2. Влияние концентрации армирующих ПА волокон (V_f) на условную прочность при растяжении f и модуль упругости при 5%-ном сжатии E_5

Первая – с содержанием волокон 0,5–2,0 об.%. Для композитов этого типа характерно высокое сопротивление раздиру [6]. По сравнению с неармированными резинами модуль упругости при сжатии этих материалов выше на 20–50%. В то же время, они отличаются хорошей перерабатываемостью и могут изготавливаться по традиционным режимам.

Вторая – когда прочность композита на восходящей ветви зависимости f (V_f) становится близкой прочности резиновой матрицы. Верхний предел этой области ограничивается перерабатываемостью. Для РВК с полиамидными волокнами эта область 8–12 об.%. Модуль упругости при сжатии таких композитов превосходит аналогичный показатель резиновой матрицы в 2 раза.

Гистерезисные потери материала определяют генерацию тепла в элементах шин при динамических деформациях. Уровень последних зависит от модуля упругости материала и величины нагрузки. Как показано на рис. 1 и 2, модуль упругости РВК существенно выше, что приводит к уменьшению деформации элементов изделий при постоянной нагрузке и снижает уровень генерации тепла в таких материалах.

Методы, применяемые для оценки теплообразования в резинах, не в полной мере отражают условия эксплуатации таких изделий, как шины, которые состоят из комбинации различных резиновых и резинокордных компонентов. В основном они применимы для сравнительных испытаний эластомерных композитных материалов однородных по составу.

Идея методики, которую использовали в данной работе, состоит в применении постоянной нагрузки на образец, которую определяли по зависимости напряжение – деформация. Образец в форме параллелепипеда предварительно подвергается многократному сжатию, после чего на тензометре получали зависимость напряжения от деформации. По этим зависимостям определяли величину деформации для каждого образца при заданном напряжении.

Динамические испытания образцов с частотой 100 циклов в минуту при установленных деформациях сжатия, соответствующих для каждого из них напряжению 1,25 МПа, показали, что введение армирующих волокон позволяет существенно снизить теплообразование: 1об.% ПА – на 5^0С, а 10 об.% – на 11^0С. При этом замеры температур проводили через 25 мин после начала динамического воздействия. Повышение жесткости материала за счет увеличения содержания технического углерода, напротив, приводит к росту теплообразования.

Таким образом, армирование резин короткими волокнами позволяет существенно снизить теплообразование при постоянной нагрузке. В таком режиме работают протекторные резины пневматических и весь объем массивных шин. Поэтому применение резин, армированных волокнами, наиболее актуально в зонах максимального разогрева, например, в подпротекторной части шин для карьерных автомобилей и демпфирующей части массивных шин [7,8].

С целью оценки взаимного влияния резиноволокнистых композитов и прилегающих к ним резин на теплообразование, а также для дальнейшего приближения условий испытаний к

реальным режимам работы материала, модельные образцы изготавливались в трехслойном варианте, что имитировало части пневматических и массивных шин.

Известны также попытки введения коротких армирующих волокон в обкладочные резины кордных слоев пневматических шин [9,10]. Такой прием, по мнению авторов, позволяет повысить когезионную прочность резинокордного полотна и, тем самым, избежать его неравномерного растяжения в процессе сборки изделия. Принимая во внимание эффект снижения теплообразования при армировании резин короткими волокнами, представляло интерес оценить влияние волокон на теплообразование не только подпротекторного слоя, но и брекера.

Образцы, моделирующие элемент пневматической шины (рис. 3,а), состояли из бегового, подпротекторного слоя и слоя брекера. Подпротекторный слой содержал 1 об.% ПА волокон. Брекерный слой, имитирующий брекер СКГШ, состоял их 4-х слоев корда 133 А. Обкладочная резина корда и надбрекерная прослойка содержали 0,5 об.% ПА волокон. Такое количество волокон определялось необходимостью обеспечения хорошего затекания обкладочной резины между нитями корда, а также важностью соблюдения точного калибра обрезиненного корда и надбрекерной прослойки.

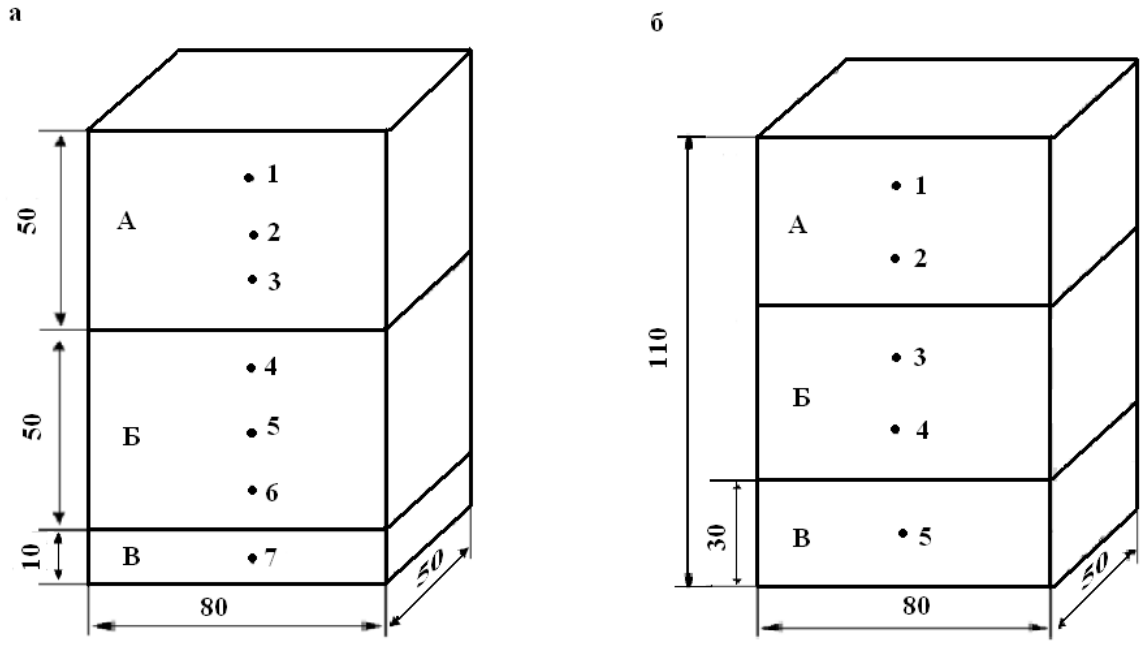

Рис. 3. Трехслойные модельные образцы, имитирующие элемент: а – пневматической шины (А – беговой слой; Б – подпротекторный слой; В – слой брекера); б – массивной шины (А – протекторная часть; Б – демпфирующая часть; В – посадочная часть). 1,2,3,4,5,6,7 – точки замера температуры

Образцы, моделирующие элемент массивной шины (рис. 3, б), состояли из протекторной, демпфирующей и посадочной части. Посадочная часть состояла из РВК с большим наполнением короткими волокнами (10 об.%). Такой материал обладает достаточно высоким модулем упругости при растяжении и сопротивлением релаксации напряжения, что обеспечивает сохранение заданного натяга на ободе в процессе эксплуатации [7]. Демпфирующий слой содержал 1 об.% ПА волокон.

Измеряли теплообразование образцов, испытываемых в режиме динамического сжатия при постоянной нагрузке.

Результаты и их обсуждение

Результаты испытаний образцов, моделирующих часть пневматической шины, представлены на рис.4.

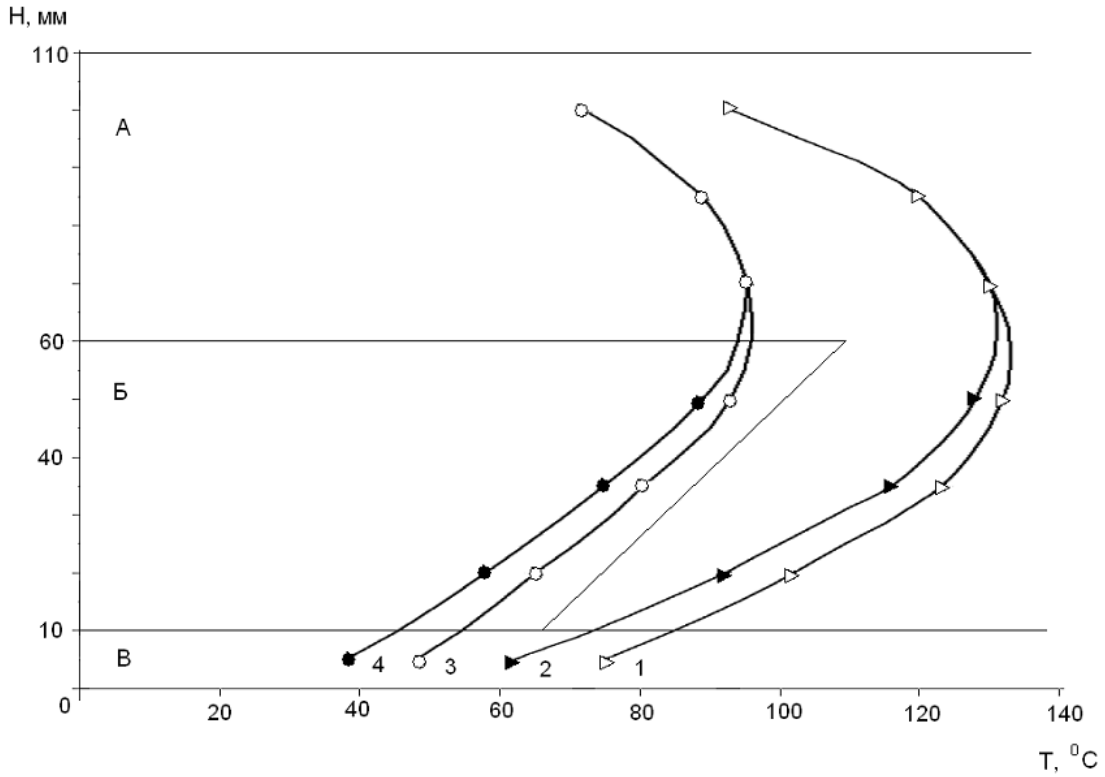

Рис. 4. Распределение температуры по высоте (Н) трехслойных модельных образцов, имитирующих элемент пневматической шины: 1 – без армирующих волокон; 2 – 0,5 об.% ПА в резине брекерного слоя; 3 – 1 об.% ПА в резине подпротекторного слоя; 4 – 1 об.% ПА в резине подпротекторного слоя и 0,5 об.% ПА в резине брекерного слоя

Полученные данные позволяют сделать вывод о высокой эффективности армирования резин короткими волокнами для снижения теплообразования. Так, армирование короткими волокнами обкладочных слоев брекера снижает его температуру на 10^0С. При этом

температура неармированного подпротекторного слоя уменьшается на 5^0С. Еще более эффективно совместное применение подпротекторного слоя и брекера, содержащих короткие волокна. В этом случае температура подпротекторного слоя снижается на 35–40^0С. Влияние армирующих волокон подпротекторного слоя распространяется и на беговой, снижая его температуру на 20–35^0С.

Результаты испытаний образцов, моделирующих часть массивной шины, представлены на рис. 5.

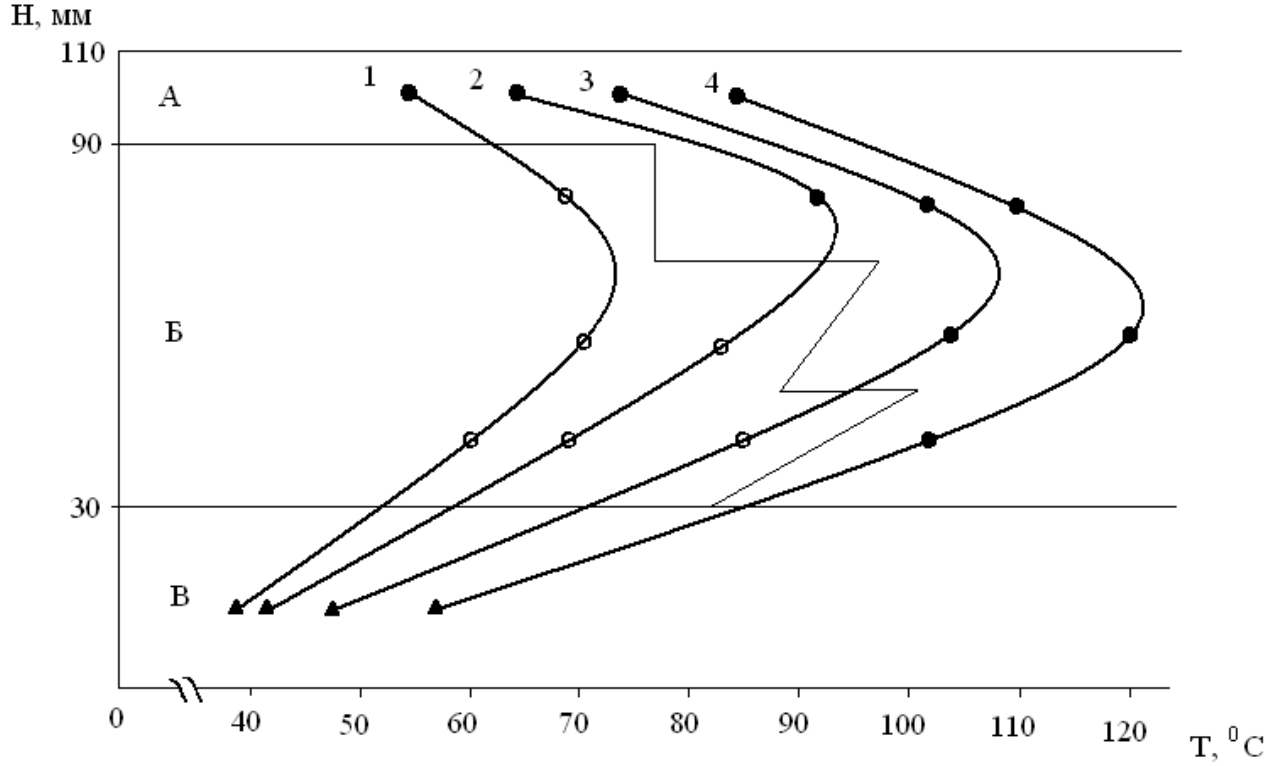

Рис. 5. Распределение температуры по высоте трехслойных модельных образцов в зависимости от соотношения демпфирующей и протекторной частей: 1,2,3 – трехслойные образцы с различным соотношением слоев; 4 – двухслойный образец. А – неармированный протекторный слой; Б – демпфирующий слой с 1 об.% ПА волокон; В – посадочный слой с 10 об.% ПА волокон

Анализ данных показывает высокую эффективность демпфирующего слоя, армированного ПА волокнами. Введение такого слоя позволяет обеспечить плавный переход от жесткой посадочной к мягкой протекторной части.

Это способствует не только значительному снижению температуры «горячей» точки, но и уменьшению теплообразования в посадочной части.

Было исследовано распределение температуры по высоте трехслойных модельных образцов в зависимости от соотношения демпфирующего и протекторного слоев. Увеличение

толщины демпфирующего слоя в 3 раза позволяет снизить максимальную температуру образца на 24^0C. При этом температура протекторной части уменьшается на 39^0C («горячая» точка переходит в демпфирующую часть), демпфирующей – на 15^0C, а посадочной – на 9^0C. Таким образом, демпфирующий слой, армированный короткими ПА волокнами, позволяет значительно снизить теплообразование массивных шин.

Выводы

Введение коротких ПА волокон в резиновую матрицу позволяет значительно (на ~25%) снизить гистерезисные потери материала и уменьшить его теплообразование.

РВК с малыми (до 1 об.%) и большими (10 об.%) концентрациями коротких волокон могут эффективно использоваться в большегрузных пневматических и массивных непневматических шинах. Применение РВК в подпротекторной части карьерных, а также в посадочной и демпфирующей части массивных шин позволяет заметно снизить рабочую температуру изделий, обеспечив, тем самым, повышение их эксплуатационной производительности [11].

Список литературы

1. *Дзюра Е.А., Серебро А.Л.* Свойства и применение в пневматических шинах резин, армированных короткими отрезками волокон различной природы // Тем. обзор. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1978. – 64 с.

2. *Пути* варьирования жесткостных свойств резиноволокнистых композитов / Е.А. Дзюра, Л.М. Волченок, И.В. Маркова, В.П. Жилко // Промышленность СК, шин и РТИ. – 1986. – № 5. – С.13–16.

3. *Dzyura E.A., Volchenok L.M.* Modification of rubbers by bis-maleimids / International Rubber Conference. Препринты IRC – 92. Пекин. Китай. – 1992. – С.289–291.

4. *Волченок Л.М., Лейкин А.Д., Дзюра Е.А.* Бис-малеимиды – универсальные химические агенты для резин и резиноволокнистых композитов // Каучук и резина. – 1994. – № 2. – С.18–22.

5. *Определение* удельной величины гистерезисных потерь. Методика Гос. НИИ КГШ от 30.03.87.

6. *Сопротивление* раздиру и порезу резиноволокнистых композитов / Е.А. Дзюра, Л.М. Волченок, А.В. Кузьмин, И.В. Маркова // Повышение технического уровня производства крупногабаритных шин. М.: ЦНИИТЭнефтехим. – 1988. – С.100–106.

7. *Дзюра Е.А., Науменко А.П., Некрылов В.И.* Применение резиноволокнистых композитов в посадочной части массивных шин // Промышленность СК шин и РТИ. – 1987. – № 12. – С.21–23.

8. *Смирнов А.Г., Дзюра Е.А., Гоголев А.А.* Влияние свойств подпротекторных резин на тепловое состояние шин для карьерных автомобилей // Каучук и резина. – 2005. – № 1. – С.18–21.

9. *Пат. №1067755 Великобритания.* Автомобильная пневматическая шина // Опубл. 3.05.1967. МКИ В60С. www.espacenet.com.

10. *Пат. №1224264 Великобритания.* Радиальная шина // Опубл. 10.03.1971. МКИ В60С 9/20. www.espacenet.com.

11. *Способ* оценки эксплуатационной производительности карьерных шин / В.М. Смелянский, А.Г. Смирнов, Л.Б. Никитина, Е.А. Дзюра // Каучук и резина. – 1991. – № 5. – С.12–13.

Поступила в редакцию 12.04.2011

Сведения об авторах:

Маркова Ирина Викторовна – доцент кафедры химии и инженерной экологии Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, кандидат технических наук.

Раб. тел. 373-15-76

Дзюра Евгений Антонович – технический директор научно-инновационной компании «Элко» (г. Днепропетровск), доктор технических наук.

Раб. тел. 790-01-76

УДК 678.4.046.7

Гістерезисні властивості та теплотворення гумоволокнистих композитів / І.В. Маркова, Є.А. Дзюра

Досліджено вплив наповнення гум короткими поліамідними волокнами на їх гістерезисні властивості. Проведені вимірювання теплотворення гумоволокнистих композитів на масивних модельних зразках, які імітують частину пневматичної та масивної шини. Зроблено висновок щодо ефективності використання гум, армованих короткими поліамідними волокнами в підпротекторному шарі кар'єрних, а також у посадочної та демпфуючої частинах масивних шин.

Ключові слова: гумоволокнисті композити, гістерезис, теплотворення.

УДК 678.4.046.7

Гистерезисные свойства и теплообразование резиноволокнистых композитов / И.В. Маркова, Е.А. Дзюра

Исследовано влияние армирования резин короткими полиамидными волокнами на их гистерезисные свойства. Проведены измерения теплообразования резиноволокнистых композитов на массивных модельных образцах, имитирующих часть пневматической и массивной шин. Сделан вывод об эффективности применения резин, армированных короткими полиамидными волокнами в подпротекторном слое карьерных, а также в посадочной и демпфирующей частях массивных шин.

Ключевые слова: резиноволокнистые композиты, гистерезис, теплообразование.

Hysteretic properties and heat buildup of rubber-fibre composites / I.V. Markova, E.A. Dzyura

Influence of filling rubber with a short polyamide fibres on their hysteretic properties was investigated. Measurings of heat buildup of rubber-fibre composites on a massive model samples, imitating the part of pneumatic and solid tires were carried out. The conclusion about effectiveness of application of rubber-fibre composites in undertread of pneumatic ORT and bead seat and damping parts of solid tires have been drawn.

Keywords: rubber-fibre composites, hysteresis, heat buildup.