

ПОВЫШЕНИЕ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТА И ГРАФИТА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКОЙ НАПОЛНИТЕЛЯ

© 2015 С. В. Мякин¹, М. М. Сычев¹, Н. Б. Шейко¹, Л. Л. Еженкова¹, А. Г. Родионов¹,
В. Н. Коробко¹, И. В. Васильева²

¹Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
Московский пр., 26, 190013, Санкт-Петербург, Россия

²ООО «Инженерно-технологический Центр РАДИАНТ», ул. Дибуновская, д. 50, 197183 Санкт-Петербург,
Россия

e-mail: sergey_mjakin@mail.ru

Поступила в редакцию 04.08.2015 г.

Аннотация. Показано, что электронно-лучевая обработка графитного наполнителя в вибропоглощающем композите на основе поливинилацетата при энергии 900 кэВ и значениях поглощенной дозы свыше 200 кГр приводит к увеличению коэффициента механических потерь материала при комнатной температуре (24 °С) и значительному росту данной характеристики при повышенных температурах (35—38 °С). Данный эффект коррелирует с ростом содержания ряда брэнстедовских центров (гидроксильных групп) на поверхности графита и может быть обусловлен формированием сетки дополнительных связей частиц наполнителя друг с другом и полимерной матрицей. Установлен осциллирующий характер изменения содержания ряда функциональных групп в зависимости от величины поглощенной дозы, что может быть обусловлено чередованием реакций гидроксирования и дегидроксирования.

Ключевые слова: вибропоглощение, полимерно-неорганические композиты, поливинилацетат, графит, электронно-лучевая обработка, поверхность, граница раздела фаз, функциональные группы, гидроксильные группы.

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) с различными дисперсными, волокнистыми и слоистыми наполнителями являются одним из важнейших типов современных вибропоглощающих материалов (ВПМ). Вибродемпфирующие свойства ПКМ обусловлены вязкоэластическим состоянием полимерного связующего и взаимодействием его макромолекул с наполнителем с образованием системы связей, обеспечивающих дополнительное эффективное поглощение механических колебаний [1]. Этим определяется важность явлений, протекающих на границе раздела полимер/наполнитель, проявляющихся в зависимости основных свойств от степени наполнения, дисперсности и поверхностной активности наполнителей, а также некоторых других факторов [2]. Согласно современным представлениям, это происходит потому, что в наполненных полимерных композитах вблизи поверхности твердых наполнителей обра-

зуются так называемые межфазные слои, разделяющие фазу наполнителя и фазу полимера-матрицы. Их образование осуществляется в результате адсорбционного взаимодействия полимера и наполнителя благодаря большой поверхностной энергии твердых тел, большой удельной поверхности дисперсных наполнителей ($S_{уд}$), а также наличия на частицах наполнителей активных центров [3]. В связи с этим управление функциональным составом поверхности наполнителей композитов является важным подходом к регулированию их вибропоглощающих свойств [4].

В качестве полимерной матрицы в составе вибропоглощающих ПКМ часто используют поливинилацетат (ПВА) благодаря его высокому коэффициенту механических потерь в сочетании с высокой термопластичностью, термостойкостью, доступностью, нетоксичностью и совместимостью с широким рядом функциональных наполнителей, а в качестве инертного и широкого доступного

структурирующего дисперсного наполнителя — углеродные материалы. В [5] представлена вибропоглощающая мастика с улучшенными вибропоглощающими характеристиками на основе дисперсии ПВА, в которой в качестве одного из основных наполнителей используется графит. Возможным подходом к дальнейшему повышению вибродемпфирующих свойств композитов данного типа является улучшение совместимости компонентов за счет специфической функционализации поверхности наполнителя, обеспечивающей усиление его взаимодействия с полимерной матрицей. В серии ранее проведенных исследований нами было показано, что направленное регулирование функционального состава поверхности твердых веществ электронно-лучевой обработкой обеспечивает формирование реакционноспособных гидроксильных групп определенной кислотности, обеспечивающих интенсификацию взаимодействия в системах подложка-функциональный слой и матрица-наполнитель [6—11]. В [12—14] были продемонстрированы возможности модифицирования поверхности графита функциональными группами различной кислотности различными химическими и физико-химическими методами. В данной работе указанный подход использован для улучшения вибропоглощающих характеристик наполненных графитом композиций на основе дисперсий ПВА.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве полимерной матрицы для изготовления вибропоглощающих композиций использовали 50 %-ную дисперсию ПВА по ГОСТ 18992-80 и ТУ 2241-086-00203521-2001 со средним размером частиц 1—3 мкм, плотностью 1.17 г/см³ и динамической вязкостью 2.0—5.0 Па·с. Композиции получали в идентичных условиях методом механического смешения следующих компонентов:

- 40 масс. % указанной дисперсии ПВА;
- 40 масс. % графита (кристаллический, листовой марки ГЛ-2 с зольностью не более 18 %) в качестве основного наполнителя;
- 7 масс. % дибутилфталата в качестве пластификатора;
- 13 масс. % нефелинового антипирена в качестве дополнительного компонента, улучшающего огнестойкость композиции.

Структуру рассматриваемой полимерной дисперсии изучали методом ¹³C ЯМР с использованием спектрометра Bruker AM-500 с 5 мм углерод-протонным датчиком при комнатной температуре

(растворитель — дейтерированный диметилсульфоксид, (CD₃)₂SO (ДМСО-d₆, сигнал остаточных протонов при 2.50 м. д., углеродный сигнал при 39.52 м. д.)). Для устранения искажений интегральных интенсивностей пиков, спектры получены с 20-секундной релаксационной задержкой, во время которой подавление протонов выключено.

Электронно-лучевую обработку графита проводили на базе ООО «Технологический центр РАДИАНТ» с использованием среднеэнергетического ускорителя электронов РТЭ-1В при энергии электронов 900 кэВ, токе 1 мА и значениях поглощенной дозы в интервале 25—600 кГр. Поглощенную дозу задавали временем проведения обработки и контролировали спектрофотометрическим определением оптической плотности стандартных дозиметрических пленок из материала ЦДП-Ф2 (сополимер с феназиновым красителем по ТУ 2379-006-1327/76-00) [15].

Образцы графита обрабатывали в плотно закрытых полиэтиленовых пакетах в виде слоев толщиной около 1 мм, обеспечивающей равномерную обработку материала.

Распределение центров адсорбции на поверхности графита в исходном состоянии и после модифицирования под воздействием ускоренных электронов изучали методом адсорбции кислотно-основных индикаторов с различными значениями рКа в интервале от -5 до 15, которые селективно сорбируются на поверхностных функциональных группах с соответствующими значениями рКа, согласно методике, подробно описанной в [6]. Содержание соответствующих центров адсорбции определяли по изменению оптической плотности стандартных растворов индикаторов с использованием спектрофотометра СФ-46 (ЛМО, Санкт-Петербург).

Вибропоглощающие свойства полученных материалов исследовали посредством определения коэффициента механических потерь по стандартной методике, описанной в ТУ 2243-038-00203521-97 (Test Oberst) в диапазоне частот от 200 до 800 Гц и в интервале температур от 17 до 100 °С на основе измерения ширины резонансного максимума на кривой зависимости амплитуды колебаний консолино закрепленного образца от частоты при постоянной возмущающей силе. Коэффициент механических потерь (*k*) энергии изгибных колебаний определяли для стальных стержней длиной 230 ± 0.1 мм, шириной 8 ± 0.1 мм и толщиной 1.5 ± 0.1 мм, демпфированных двойным по толщине слоем покрытия из исследуемых материалов. Для каждого исследуемого материала испытания проводили для

5 демпфированных стержней, и определяли среднее арифметическое результатов измерений за вычетом крайних значений. Допустимое расхождение составляло не более ± 0.02 .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Образцы графита были обработаны ускоренными электронами при энергии 900 кэВ и значениях поглощенной дозы 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300,

400 и 600 кГр. Затем для исходного и модифицированных образцов было определено содержание ряда центров адсорбции, которые на основании ранее проведенных исследований характерны для поверхности графитов. Полученные результаты показывают, что изменение содержания на поверхности как льюисовских (рис. 1), так и бренстедовских (рис. 2) центров в зависимости от поглощенной дозы носит волнообразный характер.

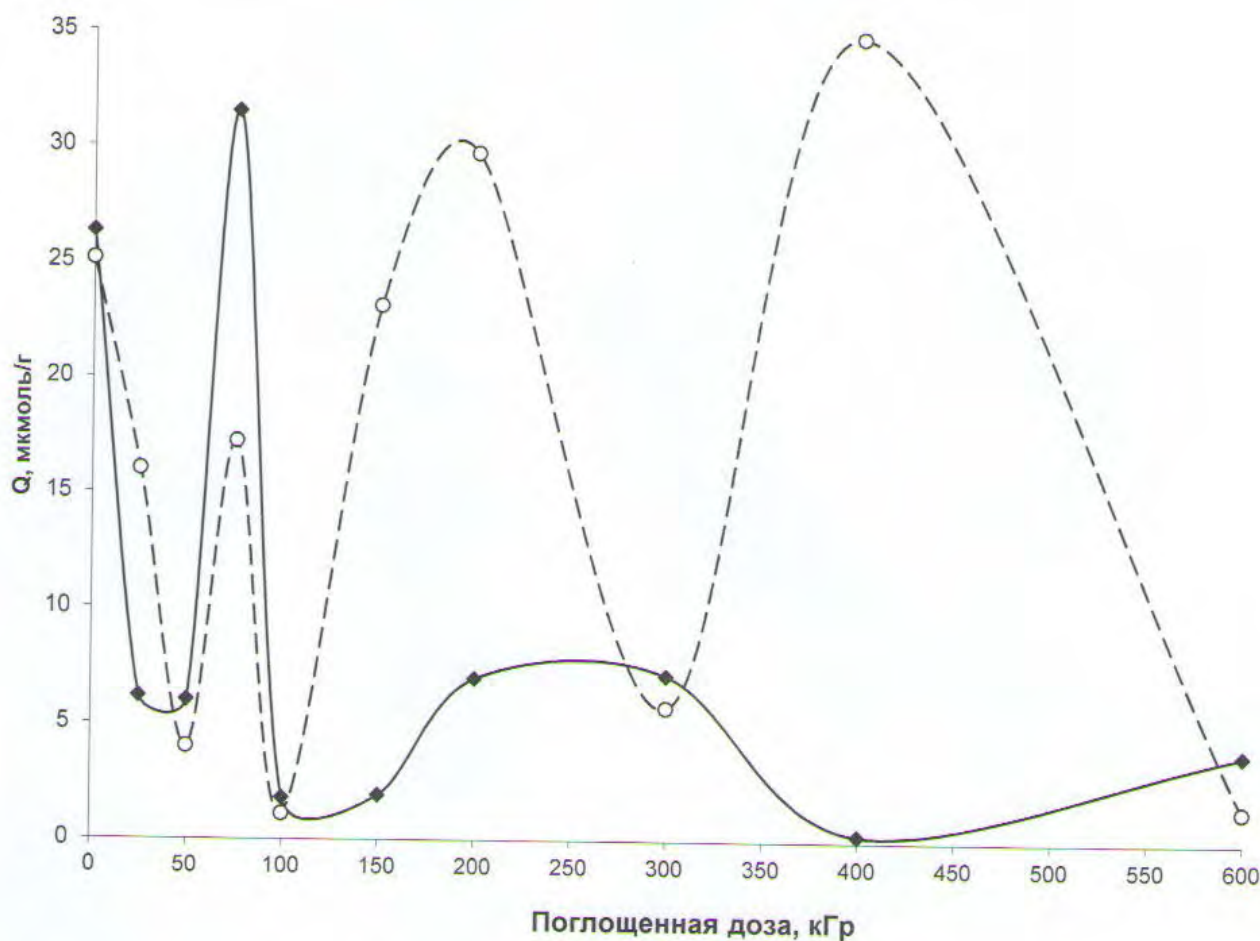


Рис. 1. Содержание основных (—, pKa=4.4) и кислотных (-----, pKa=14.2) льюисовских центров на поверхности графита в зависимости от поглощенной дозы при электронно-лучевой обработке

Разнообразие типов присутствующих на поверхности графита функциональных групп [12—14] может быть обусловлено наличием атомов углерода как в естественном для структуры графита окружении (по-видимому, соответствующих близких к нейтральным центрам с pK_a 6.4), так и в окисленном состоянии (льюисовские кислотные центры с pK_a 14.2), а также кислородсодержащих групп, в частности C=O (льюисовские основные центры с $pK_a < 0$) и гидроксильных групп — бренстедовских кислотных (pK_a 2.5) и основных (pK_a 8.8) центров.

Наблюдаемый характер изменения содержания рассматриваемых типов функциональных групп может быть обусловлен чередующимися процессами окисления поверхности с образованием карбоксильных и гидроксильных групп и частичной дегидратации/дегидроксилирования за счет радиационного разогрева. В серии ранее проведенных исследований [6—8, 11] аналогичные чередующиеся превращения функциональных групп наблюдались нами на поверхности различных материалов (дисперсных оксидов, керамики, полимеров и т. д.).

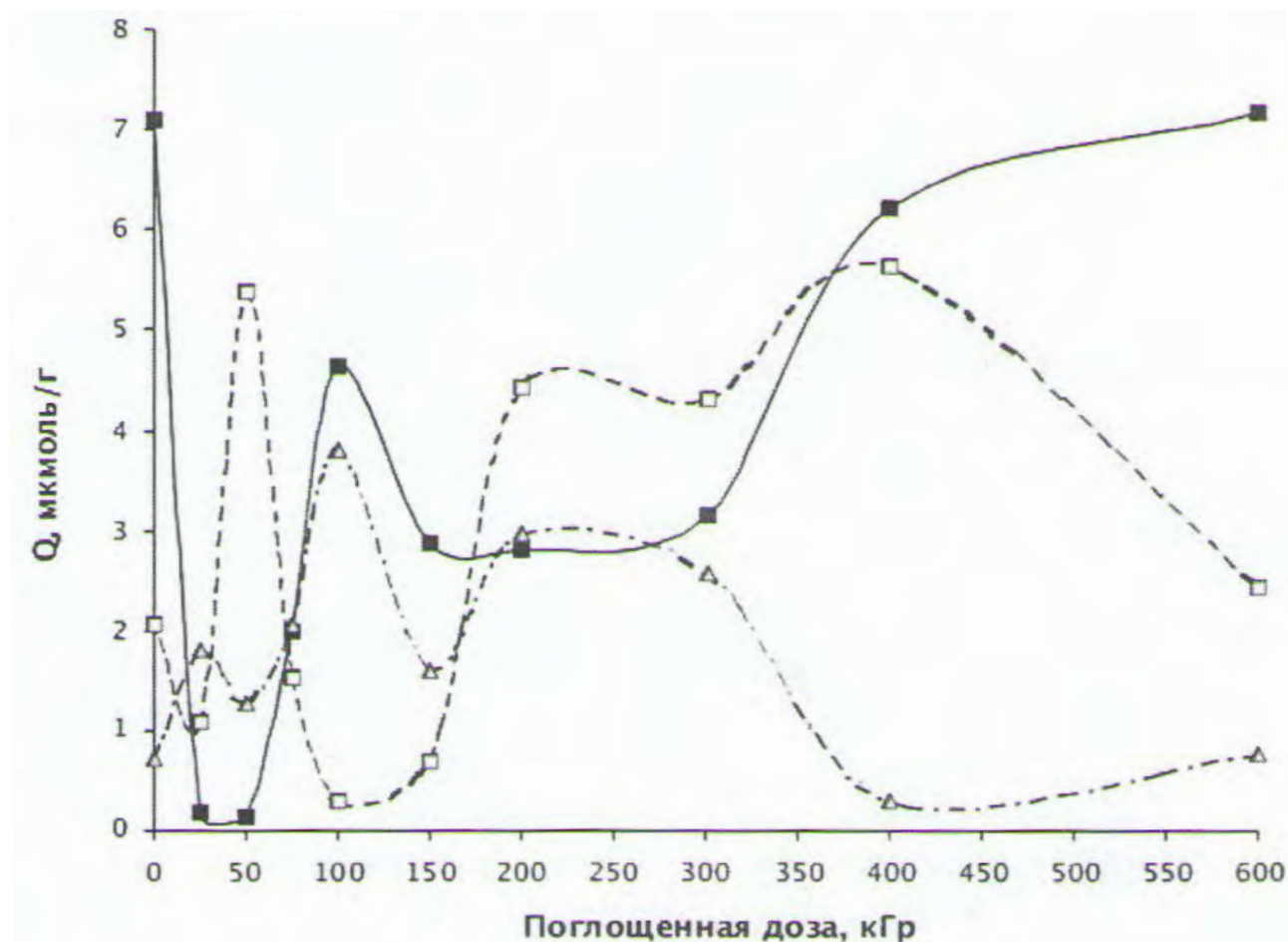


Рис. 2. Содержание кислотных (□, pK_a 2.5), нейтральных (■, pK_a 6.4) и основных (Δ, pK_a 8.8) брэнстедовских центров на поверхности графита в зависимости от поглощенной дозы при электронно-лучевой обработке

Измерение вибропоглощающих свойств композитов на основе ПВА с введением исследуемых образцов модифицированного графита показало, что электронно-лучевая обработка приводит к заметному повышению коэффициента механических потерь при нормальных условиях (температуре 24 °С) при значениях дозы свыше 200 кГр (рис. 3). Максимальный рост коэффициента механических потерь составил около 20 % от исходной величины для немодифицированного графита (от 0.25 до 0.3) при поглощенной дозе 300 кГр.

Сопоставление полученных данных показывает наличие корреляции между коэффициентом механических потерь исследуемых композиций и суммарным содержанием брэнстедовских центров на поверхности графитного наполнителя (рис. 4). Это указывает на возможный механизм повышения коэффициента вибропоглощения, связанный с диссипацией механической энергии сеткой связей, образуемых в результате частичной межфазной конденсации с участием

гидроксильных групп в составе наполнителя и ПВА.

Высокое содержание способного к участию в рассматриваемых взаимодействиях поливинилового спирта (источника гидроксильных групп) в полимерной фазе грубодисперсной поливинилацетатной дисперсии подтверждается данными ^{13}C -ЯМР-спектроскопии (рис. 5).

Молярную долю спиртовых звеньев [ОН] определяли как:

$$[\text{ОН}] = \frac{I(46.5 - 44.0)}{I(46.5 - 44.0) + I(\text{Ac})},$$

где $I(46.5 - 44.0)$ интегральная интенсивность сигналов цепных метиновых групп спиртовых звеньев в диапазоне 46.5—44.0 м. д., а в качестве $I(\text{Ac})$ использовали интегральную величину либо для пика карбонильных при 169.71 м. д., либо для пика метильных групп при 20.73 м. д. Расчетное содержание звеньев [ОН] в обоих указанных вариантах составило 12 %.



Рис. 3. Зависимость коэффициента механических потерь при 24 °С композиций на основе ПВА от поглощенной дозы при электронно-лучевой обработке графитного наполнителя

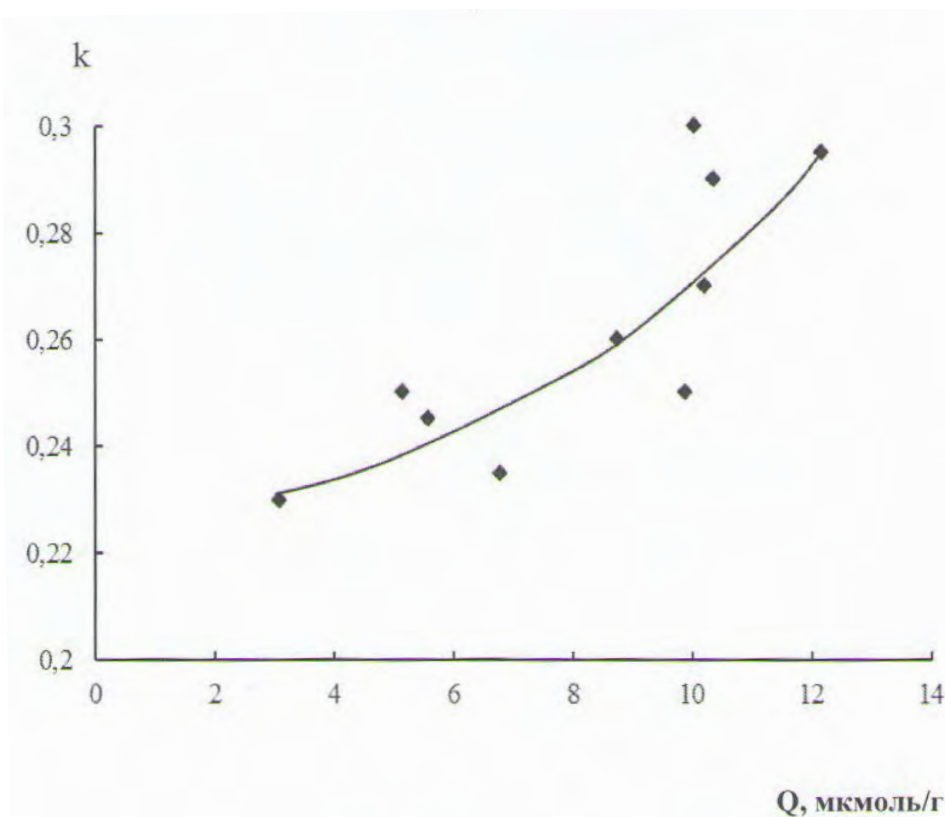


Рис. 4. Зависимость коэффициента механических потерь при 24 °С композиций на основе ПВА от содержания центров с рКа 2.5, 6.4 и 8.8 на поверхности графитного наполнителя

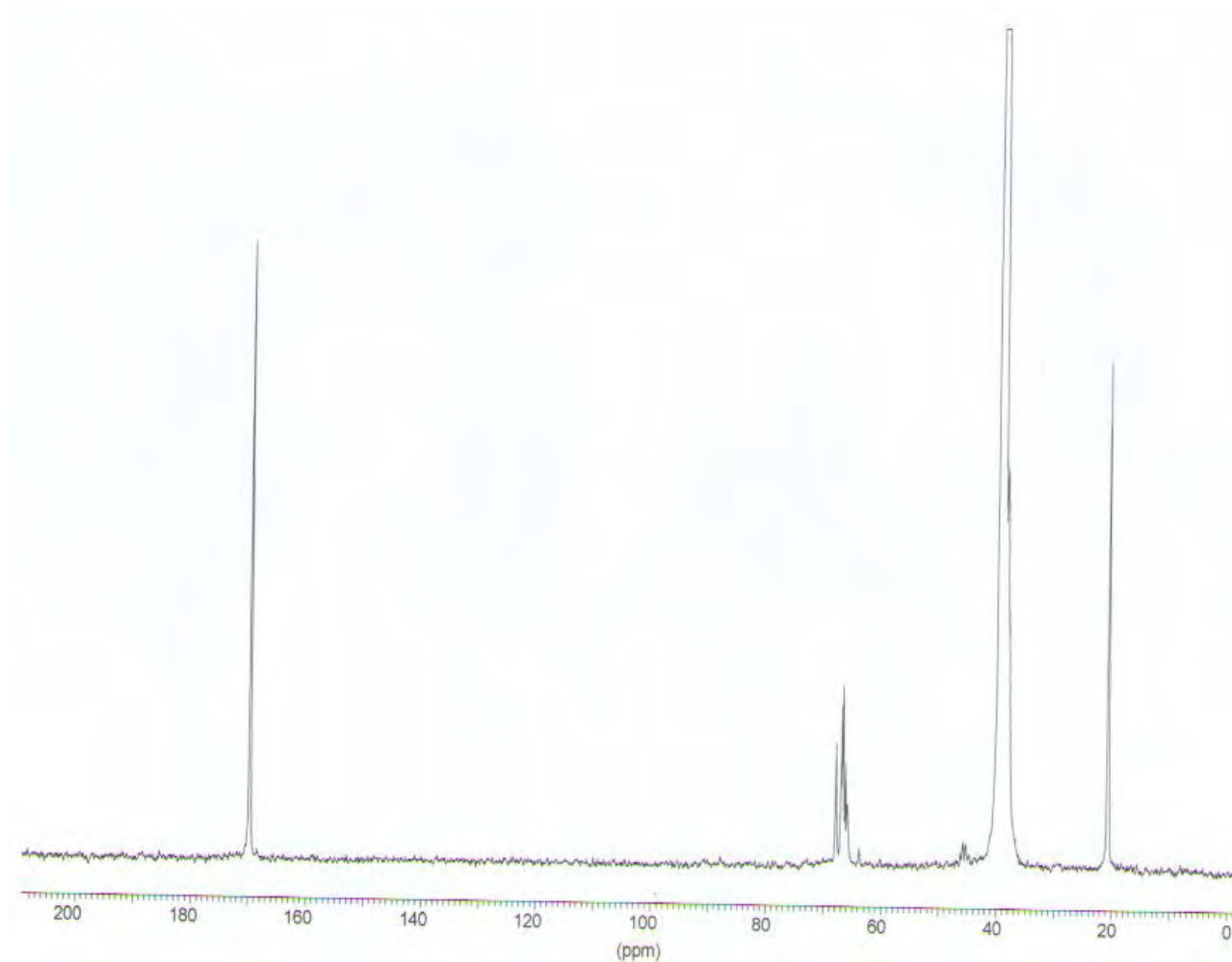


Рис. 5. 125 МГц ^{13}C ЯМР-спектр используемой дисперсии ПВА.

Основные сигналы: 169.71 м. д. — карбонильные боковые цепи винилацетатных звеньев; 68.4—63.3 м. д. — цепные метиновые группы ацетатных и спиртовых звеньев; 46.5—44.0 м. д. — сигналы цепных метиленовых групп спиртовых звеньев; 39.52 м. д. — растворитель, сигнал зашкален; 42.3—35.0 м. д. — накрытые растворителем сигналы цепных метиленов ацетатных звеньев; 20.73 м. д. — пик метила боковых цепей винилацетатных звеньев

Рост коэффициента механических потерь в результате электронно-лучевой обработки графитного наполнителя значительно сильнее проявляется при повышенных температурах (35—38 °С). В данном случае измерения вибропоглощающих свойств проводились при значениях поглощенной дозы 300—600 кГр. Данные, приведенные в табл. 1, показывают, что обработка графита при поглощенной дозе 300 кГр приводит к увеличению коэффициента механических потерь примерно в 1.5 раза, а в случае 600 кГр — примерно в 2.5 раза по сравнению с композитом на основе необработанного графита. Это подтверждает вывод о том, что достигаемый эффект обусловлен образованием сетки донорно-акцепторных связей, препятствующей тепловому движению сегментов макромолекул при повышенных температурах.

Таблица 1. Изменение коэффициента механических потерь вибропоглощающих композиций на основе ПВА при температуре 35—38 °С в зависимости от поглощенной дозы при обработке графитного наполнителя

Поглощенная доза, кГр	k
0	< 0.1
300	0.13
400	0.17
600	0.23

ВЫВОДЫ

Электронно-лучевая обработка графита приводит к осциллирующему изменению содержания различных типов центров адсорбции, присутствующих на его поверхности, что может быть обусловлено чередованием процессов частичной дегидратации/дегидроксилирования за счет радиационного разогрева и гидроксигирирования за счет взаимодействия с радикалами, образующимися при радиолитическом физическом сорбировании молекул воды. Обработка графита при энергии 900 кэВ и значениях поглощенной дозы 200—600 кГр позволила существенно повысить коэффициент механических потерь вибропоглощающих композиций, получаемых при введении модифицированного графита в матрицу ПВА. Наблюдаемое улучшение вибропоглощающих свойств исследуемых композиций коррелирует с увеличением содержания брэнстедовских центров на поверхности графитного наполнителя, способных к образованию сетки донорно-акцепторных связей, усиливающих взаимодействие частиц наполнителя с полимером матрицы и друг с другом и поглощающих энергию механических колебаний. С увеличением температуры от 24 до 35—38 °С достигаемый эффект повышения коэффициента механических потерь в результате электронно-лучевой обработки графитного наполнителя значительно возрастает.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-07-00277 и программы ОХНМ РАН № 7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аскадский А. А., Лучкина Л. В., Никифорова Г. Г. *Новые вибропоглощающие материалы и покрытия и их применение в промышленности* / Под ред. А. С. Никифорова. Л., Знание, 1976, 100 с.
2. Соломатов В. И., Борбышев А. Н., Химлер К. Т. *Полимерные композиционные материалы в строительстве*. Москва, Стройиздат, 1988, 312 с.
3. Незвиевская Н. Н., Никитина И. В., Крыжановский В. К. // *Пластические массы*, 1998, № 7, с. 37—41.
4. Ерохина Л. С., Калугина К. В., Михайлов С. К. *Методы прогнозирования конструкционных материалов*. Л., Машиностроение, 1980, 256 с.
5. Бакуткин Ю. И., Владимиров Е. А., Дубинский Я. А., Корюкин А. Б., Курлянд С. К., Курчанов А. П. Патент РФ, 2181739, 2002.
6. Васильева И. В., Мякин С. В., Рылова Е. В., Корсаков В. Г. // *Журнал физической химии*, 2002, т. 76, № 1, с. 84—89.
7. Корсаков В. Г., Алексеев С. А., Сычев М. М., Цветкова М. Н., Комаров Е. В., Ли Б., Мякин С. В., Васильева И. В. // *Журнал прикладной химии*. 2007, т. 80, № 11, с. 1908—1912.
8. Sychov M. M., Zakharova N. V., Mjakin S. V. // *Ceramics International*, 2013, vol. 39, pp. 6821—6826.
9. Мякин С. В., Корсаков В. Г., Панова Т. И., Сошнов Е. А., Фомченкова Ю. С., Сычев М. М., Шилова О. А. // *Физика и химия стекла*, 2011, т. 37, № 6, с. 867—875.
10. Sychov M. M., Bakhmet'ev V.V., Nakanishi Y., Mjakin S. V., Havanova L. V., Cheremisina O. A., Korsakov V. G. // *J. of the Society for Information Display*, 2003, vol. 11/1, pp. 33—38.
11. Бахметьев В. В., Сычев М. М., Корсаков В. Г. // *Журнал прикладной химии*, 2010, т. 83, № 11, с. 1170—1177.
12. Солдатов А. И. // *Вестник Челябинского государственного университета*, 2004, т. 4, вып. 1, с. 155—163.
13. Сорокина Н. Е., Никольская И. В., Ионов С. Г., Авдеев В. В. // *Изв. Академии наук, сер. хим.*, 2005, т. 54, № 8, с. 1699—1716.
14. Островский В. С., Виргильев В. И. *Искусственный графит*. Москва, Металлургия, 1986—272 с.
15. Генералова В. В., Гурский М. Н. *Дозиметрия в радиационной технологии*. Москва, Издательство стандартов, 1981, 184 с.

IMPROVEMENT OF VIBRO-ABSORPTION PROPERTIES OF POLYVINYL ACETATE-GRAPHITE COMPOSITES BY ELECTRON BEAM PROCESSING OF THE FILLER

© 2015 S. V. Mjakin¹, M. M. Sychov¹, N. B. Sheiko¹, L. L. Ezhenkova¹, A. G. Rodionov¹, V. N. Korobko¹, I. V. Vasiljeva²

¹Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University), 26 Moskovsky pr., 190013 St. Petersburg, Russia

²Engineering Technology Center RADIANT, Ltd., 50 Dibunovskaya st., 197183 St. Petersburg, Russia

e-mail: sergey_mjakin@mail.ru

Received 04.08.2015

Abstract. Polymer based composites involving various dispersed, fibrous and layered fillers are one of the main types of modern vibro-protection materials (VPM). Their vibro-absorption properties are determined by the viscoelastic state of the polymer binder and interaction of its macromolecules with the filler to form a network of bonds affording an additional effective absorption of mechanical vibrations. Therefore, the control over the filler surface functional composition is an important approach to the enhancement of their vibro-absorption properties.

Modern VPM are often based on polyvinyl acetate (PVA) as a polymer binder due to its high mechanical loss factor, good thermoplastic properties, thermal stability, availability and non-toxicity in combination with carbon materials as inert and highly available dispersed filler. In this study PVA based composites were modified by electron beam processing of a graphite filler in order to adjust its surface functionality for more effective interaction with the binder. The filler processing was carried out using a resonance-transforming electron accelerator RTE-1V (produced by D. V. Efremov Institute of Electrophysical Apparatus, St.Petersburg, Russia) with the energy 900 keV, current 1 mA and absorbed dose in the range from 25 to 600 kGy. Graphite treatment at doses above 200 kGy was found to provide a certain (up to about 20 %) increase of mechanical loss factor for these composites at ambient temperature (24 °C) and a significant (up to 2.5 times) increase of this parameter at elevated temperatures (35—38 °C) due to the formation of an additional network of bonds preventing from heat motion of macromolecular segments at elevated temperatures.

According to the filler surface characterization using the adsorption of acid-base indicators with different pK_a values, the observed improvement of vibro-absorption properties obviously correlates with the increase in the content of Broensted centers (hydroxyl groups) on the modified graphite surface. This effect is probably determined by an additional bonding of the filler particles with each other and especially with PVA binder via the condensation of OH-groups groups as further confirmed by a relatively high content of hydroxyls (about 12 % mol. of OH-groups corresponding to polyvinyl alcohol units) in the applied PVA dispersion according to NMR data. Moreover, the content of a series of functional groups on the graphite surface is found to undergo oscillating changes with absorbed dose probably due to the alternating hydroxylation (upon breaking surface bonds and chemisorption of water) and dehydroxylation (upon radiation heating and condensation of neighboring OH-groups) reactions induced by accelerated electrons. Generally, the considered approach is promising for the improvement of VPM and probably other kinds of composites due to a precise adjustment of the filler surface functionality by processing at optimized conditions to enhance the filler-binder interaction involving specific functional groups.

Keywords: vibrodamping, vibro-absorption, polymer-inorganic composites, polyvinyl acetate, graphite, electron beam, surface, interface, functional groups, hydroxyls.

REFERENCES

1. Askadskii A. A., Luchkina L. V., Nikiforova G. G. *Novye vibropogloschajushchie materialy i pokrytija i ikh primeneniye v promyshlennosti* [New vibration-absorbing materials and coatings and their application in industr] / Ed. by A. S. Nikiforov, Znanie Publ., 1976, 100 p.
2. Solomatov V. I., Borbyshev A. N., Himler K. T. *Polimernye kompozitsionnye materialy v stroitel'stve* [Polymer composite materials in the construction]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988, 312 p.
3. Nezvievskaya N. N., Nikitina I. V., Kryzhanovskiy V. K. *Plasticheskie massy*, 1998, no. 7, pp. 37—41.
4. Erokhina L. S., Kalugina K. V., Mikhailov S. K. *Metody prognozirovaniya konstruktsionnykh materialov* [Forecasting methods of structural materials]. Mashinostroyeniye Publ., 1980, 256 p.
5. Bakutkin Ju.I., Vladimirov E. A., Dubinsky Ja.A., Koryukin A. B., Kurlyand S. K., Kurchanov A. P. Patent RF, no. 2181739, 2002.
6. Vasiljeva I. V., Myakin S. V., Rylova E. V., Korsakov V. G. *Russian J. Phys. Chem.*, 2002, vol. 76, no. 1, pp. 71—76.
7. Korsakov V. G., Alekseev S. S., Sychev M. M., Tsvetkova M. N., Komarov E. V., Lee B., Myakin S. V. Vasil'eva I. V. *Russian J. Appl. Chem.*, 2007, vol. 80, iss. 11, pp. 1931—1935, DOI: 10.1134/S1070427207110316
8. Sychov M. M., Zakharova N. V., Mjakin S. V. *Ceramics International*, 2013, vol. 39, pp. 6821—6826. DOI: 10.1016/j.ceramint.2013.02.013
9. Myakin S. V., Korsakov V. G., Panova T. I., Sosnov E. A., Fomchenkova Ju.S., Sychov M. M., Shilova O. A. *Glass Physic and Chemistry*, 2011, vol. 37, iss. 6, pp. 624—628. DOI: 10.1134/S1087659611060125
10. Sychov M. M., Bakhmet'ev V.V., Nakanishi Y., Mjakin S. V., Havanova L. V., Cheremisina O. A., Korsakov V. G. *J. of the Society for Information Display*, 2003, vol. 11/1, pp. 33—38. DOI: 10.1889/1.1831716

11. Bakhmetjev, V.V., Sychov, M.M., Korsakov, V. G. Russian J. Appl. Chem., 2010, vol. 83, 1903—1910. DOI: 10.1134/S1070427210110029

12. Soldatov A. I. *Vestnik Chelyabinskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 2004, vol. 4, iss. 1, pp. 155—163.

13. Sorokina N. E., Nikol'skaya I.V., Ionov S. G., Avdeev V. V. *Izvestija Akademii Nauk, Ser. Khim.*, 2005, vol. 54, no. 8, pp.1699—1716.

14. Ostrovskii V. S., Virgiljev V. I. *Iskusstvennyi grafit* [Synthetic graphite]. Moscow, Metallurgija Publ., 1986, 272 p.

15. Generalova V. V. Gurskii M. N. *Dozimetrija v radiatsionnoi tehnologii* [Dosimetry in radiation technology]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1981, 184 p.

Мякин Сергей Владимирович — к. х. н., доцент, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет); тел.: +7(812) 4949397, e-mail: sergey_mjakin@mail.ru

Mjakin Sergey V. — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University); ph.: +7(812) 4949397, e-mail: sergey_mjakin@mail.ru

Сычев Максим Максимович — д. т. н., профессор, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет); тел.: +7(812) 4949397, e-mail: msychov@yahoo.com

Sychov Maxim M. — Dr. Sci. (Eng.), Professor, Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University); ph.: +7(812) 4949397, e-mail: msychov@yahoo.com

Шейко Надежда Борисовна — аспирант, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет); тел.: +7(812) 4949397, e-mail: diesone555@yandex.ru

Sheiko Nadezhda B. — post-graduate student, Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University); ph.: +7(812) 4949397, e-mail: diesone555@yandex.ru

Еженкова Лариса Львовна — научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет); тел.: +7(812) 4949397, e-mail: ezhenkovall@mail.ru

Ezhenkova Larisa L. — Researcher, Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University); ph.: +7 (812) 4949397 e-mail: ezhenkovall@mail.ru

Родионов Александр Григорьевич — к. х. н., старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет); тел.: +7(812) 4949397, e-mail: agr2049@yandex.ru

Rodionov Alexander G. — Cand. Sci. (Chem.), Senior Researcher, Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University); ph.: +7(812) 4949397, e-mail: agr2049@yandex.ru

Коробко Виктор Николаевич — к. т. н., доцент, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет); тел.: +7(812) 4949397, e-mail: vnkoro@bk.ru

Korobko Victor N. — Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University); ph.: +7(812) 4949397, e-mail: vnkoro@bk.ru

Васильева Инна Васильевна — к. х. н., генеральный директор ООО «Инженерно-технологический Центр РАДИАНТ»; тел.: +7(812) 2944354, e-mail: radiant@skylink.spb.ru

Vasiljeva Inna V. — Cand. Sci. (Chem.), General Director, Engineering Technology Center RADIANT, Ltd.; ph.: +7(812) 2944354, e-mail: radiant@skylink.spb.ru