ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ. ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК 546.681.19: 541.67+541.132.2

Е. О. КАРПОВА
И. Ю. НАГИБИНА

Омский государственный технический университет

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ФОТОКАТАЛИЗА — ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО СПОСОБА ПРЯМОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

О водородной энергетике мечтают давно: удельная теплота сгорания водорода в три раза выше, чем у нефти или бензина; продуктом сгорания водорода является водяной пар; ресурсы сырья для получения водорода безграничны. Именно материалы полупроводниковой природы в настоящее время нашли широкое применение в процессах, связанных с фотокатализом. По впервые разработанной методике, с учетом физико-химических свойств исходных бинарных соединений CdS, ZnTe исследованы фотокаталитические свойства бинарных соединений и твердых растворов $(CdS)_x(ZnTe)_{1-x}$ в реакции разложения воды. Даны практические рекомендации по их использованию, создана схема модельной установки по получению водорода из воды.

Ключевые слова: водород, фотокатализ, катализ, полупроводники, твердые растворы.

Преобразование солнечной энергии в химическую может происходить в результате любой эндотермической реакции, протекающей под действием видимого света [1, 2].

Система фотохимической конверсии, основанная на окислительно-восстановительном процессе, должна включать фотоиндуцированную реакцию переноса электрона. В таком случае молекула поглощает квант энергии определенной величины, переходит в электронное возбужденное состояние, в котором является лучшим окислителем и восстановителем, чем в основном состоянии.

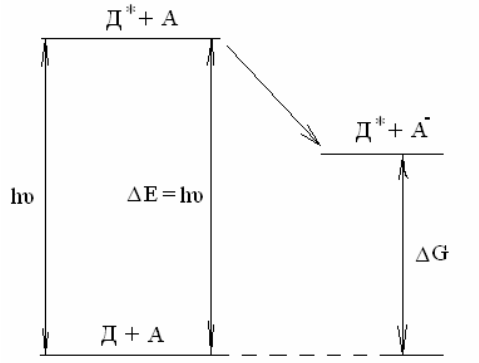

Рис. 1. Диаграмма конверсии световой энергии в химическую (Д — донор, А — акцептор)

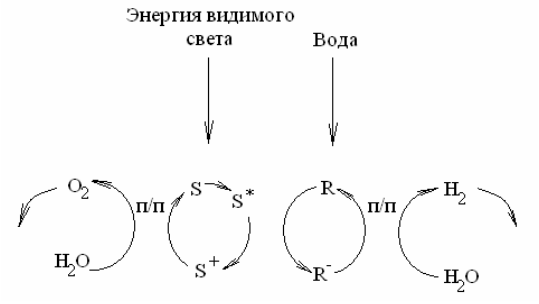

Рис. 2. Принципиальная схема циклов разложения воды

При реакции переноса электрона между таким возбужденным состоянием и подходящим реакционным партнером часть энергии поглощенного света переходит в химическую энергию (рис. 1).

Исходное вещество, например вода, которую желательно превратить в топливо,

$$H_2O \rightarrow H_{2(г)} + {}^1/_2 O_{2(г)}$$

не возбуждается солнечным светом (спектр электронного поглощения воды не совпадает со спектром излучения солнца). Именно поэтому мы используем полупроводниковые сенсибилизаторы системы CdS–ZnTe.

Свет сначала используется для генерирования окислительно-восстановительных эквивалентов [3–5]. В качестве восстановителя можно использовать восстановленную форму переносчика (R^-) или электрон (e^-_{cb}) в частице полупроводника, в качестве же окислителя – окисленную форму сенсибилизатора (S^+) или дырки в валентной зоне (h^+) в частице полупроводника. Световая реакция связана с темновым (каталитическим) процессом образования водорода и кислорода из воды и регенерированием исходных реагентов (рис. 2).

Процесс окисления воды с использованием полупроводников идет по реакции:

$$4h(CdS) + 2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+.$$

Водород и кислород генерируют соответственно с помощью электронов зоны проводимости и дырок валентной зоны, полученных при зон-зонном возбуждении [6–8].

В работе исследованы фотокаталитические свойства сульфида кадмия, теллурида цинка и их твердых растворов $(CdS)_x(ZnTe)_{1-x}$ в реакции разложения воды.

Таблица 1
Оптимальная длина волны для преодоления энергетического барьера в полупроводниках системы $(CdS)_x$–$(ZnTe)_{1-x}$

Состав	λ, нм
CdS	≤509
$(CdS)_{0,9}(ZnTe)_{0,1}$	≤575
$(CdS)_{0,75}(ZnTe)_{0,25}$	≤466
$(CdS)_{0,5}(ZnTe)_{0,5}$	≤763
$(CdS)_{0,25}(ZnTe)_{0,75}$	≤615
$(CdS)_{0,1}(ZnTe)_{0,9}$	≤555
ZnTe	≤554

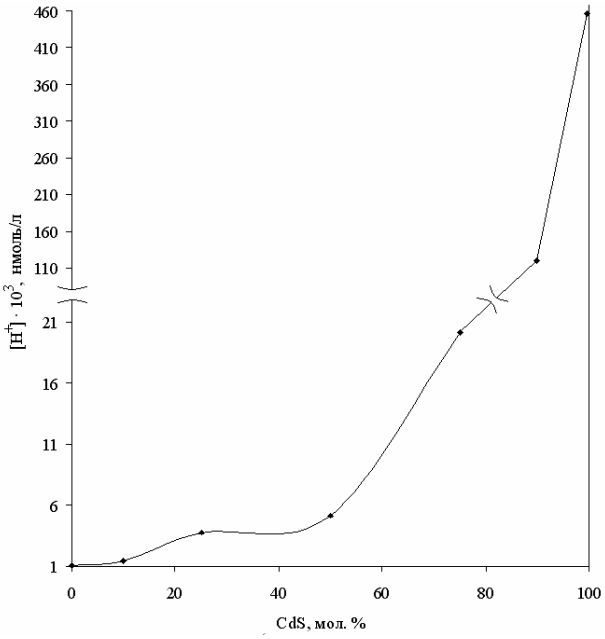

Рис. 3. Зависимость выделения ионов водорода из водной суспензии от состава системы CdS–ZnTe (λ=364 нм)

Фотокаталитическую активность определяли потенциометрическим и хроматографическим методами в щелочной среде.

Приготовленные суспензии CdS, ZnTe, и $(CdS)_x(ZnTe)_{1-x}$ подвергали облучению галогенной лампой при λ = 364–670 нм. Оптимальная длина волны, при которой следует ожидать наиболее эффективного протекания фотокаталитического процесса, должна соответствовать значению ширины запрещенной зоны. Если использовать кванты света больше ΔE, то их энергии вполне достаточно для переноса электрона из валентной зоны полупроводников системы CdS–ZnTe в зону проводимости.

Условия облучения суспензий отражены в табл. 1.

Фотокатализ водных суспензий компонентов системы CdS–ZnTe

Результаты выполненных исследований фотокаталитических свойств сульфида кадмия, теллурида цинка и твердых растворов на их основе в вводной суспензии представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Из приведенных данных зависимостей изменения концентрации ионов водорода в водных суспензиях

Таблица 2

Изменение концентрации ионов водорода в процессе облучения водной суспензии $(CdS)_x(ZnTe)_{1-x}$ при разных длинах волн в течение 5 часов

$[H^+]\cdot10^3$, ммоль/л / Образец	λ=364 нм	λ= 490 нм	λ=540 нм	λ=590 нм	λ=670 нм
CdS	456,2	9,42	–	–	–
$(CdS)_{0,9}(ZnTe)_{0,1}$	119,52	12,09	4,11	–	–
$(CdS)_{0,75}(ZnTe)_{0,25}$	20,09	–	–	–	–
$(CdS)_{0,5}(ZnTe)_{0,5}$	5,12	3,15	1,28	1,01	0,96
$(CdS)_{0,25}(ZnTe)_{0,75}$	3,75	2,36	1,74	0,55	–
$(CdS)_{0,1}(ZnTe)_{0,9}$	1,45	0,9	0,39	–	–
ZnTe	1,05	0,96	0,54	–	–

Таблица 3

Результаты хроматографического анализа (λ=364 нм)

Концентрации, % / Образец	$X_{кислорода}$	$X_{водорода}$
CdS	19,42	80,58
$(CdS)_{0,9}(ZnTe)_{0,1}$	27,75	72,25

полупроводников системы CdS–ZnTe при облучении длинами волн видимой части спектра (λ=364–670 нм) видно: происходит выделение водорода, что подтверждено потенциометрически (pH изменяется от ~12,90 до ~9,25) и хроматографически (табл. 3). Наибольший скачок разницы водородного показателя наблюдается не только в течение первого часа облучения, но и при последующей выдержке суспензии в свете облучения.

По данным УФ-спектроскопии установлено, что края полос отражения для исследованных полупроводников лежат почти во всем диапазоне спектра, т.е. компоненты системы CdS–ZnTe могут проявлять фотокаталитическую активность при длине волны от 364 до 670 нм.

Изменение концентрации ионов водорода в процессе облучения водной суспензии наиболее интенсивно протекает при λ=364 нм. По интенсивности выделения ионов водорода в процессе облучения системы CdS–ZnTe можно говорить о следующих зависимостях:

λ=364 нм —

$$CdS>(CdS)_{0,9}(ZnTe)_{0,1}>(CdS)_{0,75}(ZnTe)_{0,25}>(CdS)_{0,5}(ZnTe)_{0,5}>(CdS)_{0,25}(ZnTe)_{0,7}>(CdS)_{0,1}(ZnTe)_{0,9}>ZnTe$$

457,09>120,23>21,38>5,13>3,77>1,54>1,09

λ=490 нм —

$$(CdS)_{0,9}(ZnTe)_{0,1}>CdS>(CdS)_{0,5}(ZnTe)_{0,5}>(CdS)_{0,25}(ZnTe)_{0,7}>(CdS)_{0,1}(ZnTe)_{0,9}>ZnTe$$

12,59>9,55>3,25>2,38>0,97>1,02

λ=540 нм —

$$(CdS)_{0,9}(ZnTe)_{0,1}>(CdS)_{0,5}(ZnTe)_{0,5}>(CdS)_{0,25}(ZnTe)_{0,7}>(CdS)_{0,1}(ZnTe)_{0,9}>ZnTe$$

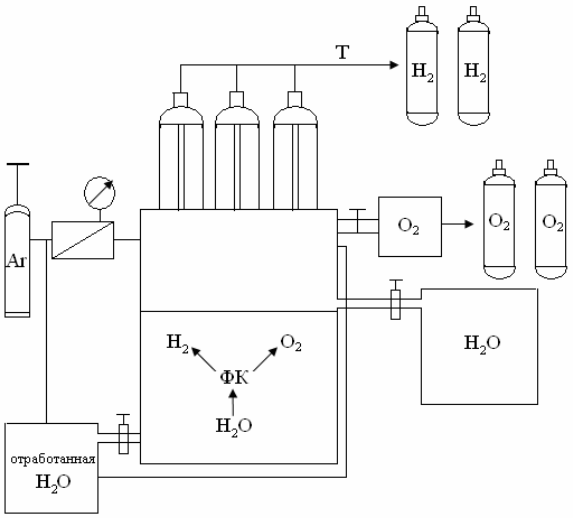

Рис. 4. Принципиальная схема получения водорода из воды с использованием в качестве фотокатализатора исследуемых бинарных соединений и твердых растворов системы CdS–ZnTe

4,47>1,33>1,84>0,41>0,59

λ=590 нм –

$$(CdS)_{0,5}(ZnTe)_{0,5}>(CdS)_{0,25}(ZnTe)_{0,7}$$

1,03>0,64.

Заключение

Как показали исследования, теллурид цинка, а также твердые растворы содержащие 50, 75 и 90 об. % ZnTe, значительной фотокаталитической активностью в реакции разложения воды не обладают. Возможно, это связано с влиянием свойств легирующей примеси — ZnTe.

При облучении полупроводников системы CdS–ZnTe при разных длинах волн наибольшая концентрация ионов водорода в водной суспензии при $\lambda = 364$ нм отмечалась для CdS ($[H^+]\cdot 10^3 = 457{,}09$ нмоль/л) и для $(CdS)_{0,9}(ZnTe)_{0,1}$ ($[H^+]\cdot 10^3 = 120{,}23$ нмоль/л), об этом свидетельствуют результаты хроматографического анализа.

Проведение точно такой же реакции, но без сульфида кадмия не дает положительных результатов: значение водородного показателя не изменяется.

По впервые разработанной методике создана схема модельной установки по получению водорода из воды (рис. 4).

Библиографический список

1. Гретцель, М. Энергетические ресурсы сквозь призму фотохимии и катализа / М. Гретцель. – М. : Мир, 1986. – 632 с.

2. Бокрис, Дж. Солнечно-водородная энергия / Дж. Бокрис, Т. Н. Везироглу. – М. : Изд-во МЭИ, 2002. – 164 с.

3. Саката, Т. Фотосинтез и фотокатализ на полупроводниковых порошках / Т. Саката, Т. Каваи // Энергетические ресурсы сквозь призму фотохимии и катализа. – М. : Мир, 1986. – С. 361–388.

4. Замараев, К. И. Фотокаталитическое преобразование солнечной энергии: гетерогенные, гомогенные и молекулярно-организованные системы : сб. науч. тр. / К. И. Замараев, В. Н. Пармон. – Новосибирск : Наука. Сиб. Отд-ние, 1991. – 358 с.

5. Пармон, В. Н. Предельные возможности к.п.д. преобразования солнечной энергии в химическую / В. Н. Пармон // Фотокаталитическое преобразование солнечной энергии. Химические и биологические методы. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1985. – В 2 ч. Ч. 1. – С. 42–58.

6. Синицына, З. А. Выделение водорода при фотолизе водных растворов сульфид и сульфит-ионов сенсибилизированное сульфидом кадмия / З. А. Синицына, Ю. И. Кирюхин // Докл. АН СССР. – 1986. – Т. 291, № 2. – С. 405–409.

7. Твайделл, Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уэйр. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.

8. Мурадов, Н. З. Фотосенсибилизированное сульфидом кадмия разложение сероводорода в водных растворах под действием видимого света / Н. З. Мурадов, Ю. В. Бажутин, А. Г. Безуглая // Журн. Физическая Химии. – 1982. – Т. 56, № 10. – С. 2563–2564.

КАРПОВА Елена Олеговна, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры «Промышленная экология и безопасность».

НАГИБИНА Ирина Юрьевна, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры «Промышленная экология и безопасность».

Адрес для переписки: helena10_04@mail.ru
os_risha@mail.ru

Статья поступила в редакцию 26.09.2013 г.

© Е. О. Карпова, И. Ю. Нагибина

Книжная полка

Адяева, Л. В. Композиционные полимерные материалы : учеб. пособие в 3 ч. / Л. В. Адяева, Е. А. Стрижак, С. В. Корнеев ; ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – ISBN 978-5-8149-1474-3.

Ч. 1. Конструкционные пластики. – 2013. – 125 с.

Ч. 2. Технология и оборудование по переработке полимерных композиционных материалов. – 2013. – 206 с.

Ч. 3. Эластомеры. – 2013. – 198 с.

Издание состоит из трех частей. В первой части учебного пособия рассмотрены пластические массы и полимерные композиционные материалы конструкционного назначения. Приведены их классификация, свойства, применение. Предназначено для магистрантов, обучающихся по специальности 240100.68 «Химическая технология», а также может быть полезно инженерам и аспирантам, занимающимся технологией и переработкой полимерных материалов.

Новгородцева, Л. В. Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии : учеб. электрон. изд. локального распространения : конспект лекций / Л. В. Новгородцева ; ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – 1 о=эл. опт. диск (CD-ROM).

Учебное электронное издание представляет собой конспект лекций, в котором рассматриваются математическое моделирование химико-технологических систем, составные части математической модели химико-технологического процесса, моделирование и расчет аппаратов химических производств. Предназначено для студентов вузов (всех форм обучения, включая дистанционное) специальности направления подготовки бакалавриата 241000.62 — «Энерго-, ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» — профиль подготовки «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов».

Раздьяконова, Г. И. Дисперсный углерод : учеб. электрон. изд. локального распространения : учеб. пособие / Г. И. Раздьяконова ; ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – 1 о=эл. опт. диск (CD-ROM).

Учебное электронное издание представляет собой учебное пособие, содержащее сведения о свойствах дисперсного углерода и способах его получения. Предназначено для магистров по направлениям 240100.68 — «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов» и 240401 «Химическая технология органических веществ». Также может быть полезно бакалаврам, магистрантам, аспирантам и специалистам, работающим в сфере получения, исследования и переработки дисперсного углерода.

УДК 678.017

Е. А. СТРИЖАК
Г. И. РАЗДЬЯКОНОВА
Е. А. МАРАТКАНОВА
Ю. А. БУРЬЯН
Л. В. АДЯЕВА
Н. В. АВРЕЙЦЕВИЧ
Н. С. МИТРЯЕВА

Омский государственный технический университет

Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, г. Омск

РОЛЬ ПОЛЯРНОСТИ КАУЧУКА В ФОРМИРОВАНИИ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ СВОЙСТВ РЕЗИН В УСЛОВИЯХ ГАРМОНИЧЕСКОГО ДИНАМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Проведено сравнение динамических свойств резин, изготовленных по стандартной рецептуре на основе каучуков разной полярности — полярного бутадиен-нитрильного БНКС-28АН и неполярного бутилкаучука БК1675, наполненных канальным техническим углеродом К 354. Получены температурные зависимости динамического модуля упругости E′ и тангенса угла механических потерь tgδ резин в режиме «деформация—растяжение» с помощью динамического механического анализатора DMA 242D при разных частотах и «мастер-кривые». Выявлены разные частотные диапазоны отклика резин. Полученные данные могут быть полезны при разработке рецептур резин со смесями полимеров.

Ключевые слова: резина, динамические свойства, технический углерод, полимер, динамический механический анализ.

При разработке новых материалов для современного машино- и приборостроения, производства резинотехнических изделий, важное значение приобретают такие свойства полимерных композитов, как вибро- и ударопрочность, статическая и динамическая усталость, связанные с их релаксационными свойствами. Для прогнозирования свойств резин особую ценность представляют такие методы и оборудование, которые, с одной стороны, дают возможность с высокой точностью измерять наиболее важные показатели их свойств, а с другой — служат инструментом для исследования структурных превращений и физико-химических процессов. Имея подобную экспериментальную технику и оборудование, можно решать разнообразные задачи по оптимизации состава [1], технологии изготовления, прогнозированию свойств полимеров [2, 3], смесей полимеров [4, 5] и полимерных композиционных материалов (ПКМ) [3, 6].

Наиболее информативными показателями механических свойств полимеров и ПКМ, в частности, резин, являются тангенс угла механических потерь tgδ и компоненты комплексного модуля Юнга E*. Из существующих двух групп методов измерения этих характеристик — статических и динамических — использование последних, в отличие от статических, не приводит к разрушению образцов или изменению структуры исследуемых материалов, поскольку измерения выполняются при малых напряжениях и деформациях, то есть в области линейной вязкоупругости. Проведение таких измерений позволяет получить не только абсолютные значения динамических механических модулей материалов, но и выявить совокупность релаксационных процессов исследуемого материала в широком интервале температур, что представляет наибольший интерес. Такие исследования составляют особую ценность и служат пополнению банка данных о динамических свойствах резин на основе разных каучуков и их смесей. Важно учитывать и роль наполнителя в таких исследованиях. Поэтому, как правило, их проводят с канальным техническим углеродом, как универсальным наполнителем резин.

Технический углерод является полифункциональным материалом. Его частицы построены из полиароматических (графитовых) слоёв протяженностью 1,5 – 4 нм. Краевые углеродные атомы его полиароматических слоев содержат полярные функциональные группы, способные образовывать с эластомерами связи разной природы, а базальные плоскости являются адсорбционноактивными по отношению к неполярным молекулам [7]. Увеличение активности углеродной поверхности по отношению к макромолекулам каучука может приводить к образованию

Таблица 1

Состав резиновых смесей

Ингредиенты	Массовая часть ингредиента в резиновой смеси на основе каучука	
	БНКС-28 АН	БК-1675
Каучук	100	100
Оксид цинка	5	5
Сера	1,5	2
Каптакс	0,8	1,3
Тиурам Д	—	0,65
Кислота стеариновая	1,5	2
Технический углерод К 354	45	50

Таблица 2

Характеристические параметры сравниваемых резин

Параметры	Значения параметров резин на основе каучуков	
	БНК	БК
Т нач.кр., °С	−51,7	−71,0
Т $tg\delta_{мах}$, °С	−26,9	−52,6
$tg\delta_{мах}$	0,946	1,178
tgδ при 0 °С	0,33	0,295
tgδ при минус 20 °С	0,92	0,61
tgδ при минус 60 °С	0,018	0,967

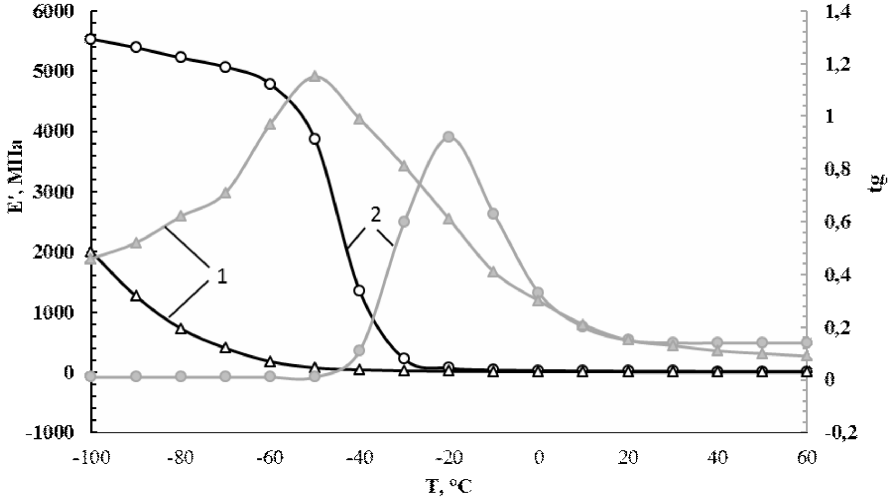

Рис. 1. Зависимость динамического модуля упругости E′ резин и тангенса угла механических потерь tgδ резин на основе БК(1) и БНК (2) от температуры испытаний при частоте 1 Гц, полученные с помощью анализатора DMA 242D

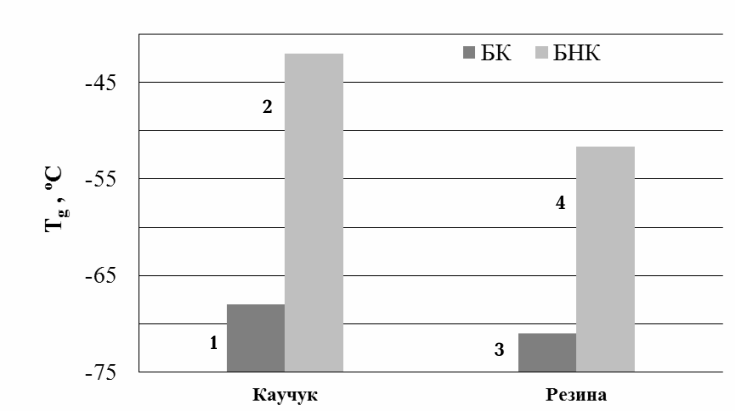

Рис. 2. Температуры начала кристаллизации T_g каучуков БК (1, 3) и БНК (2, 4) в свободном (1, 2) виде и резине (3, 4).

множества адсорбционных связей между полимерной и структурной сеткой наполнителя, которые впоследствии определяют энергообмен в ПКМ, характеризуемый тангенсом угла механических потерь (tgδ). При высоких и средних напряжениях снижение tgδ резин обусловлено «проскальзыванием» макромолекул по поверхности частиц наполнителя. При этом происходит поглощение тепла и выравнивание напряжений в полимерной сетке резин, а их tgδ снижается [8].

На основе приведенных соображений можно ожидать разные динамические свойства резин с каучуками разной полярности. Практический интерес такого исследования состоит в получении данных для конструирования резин со смесями каучуков, что придаст им новые функциональные свойства. Результаты данного исследования служат пополнению банка данных о динамических свойствах резин с разными каучуками, измеренными с помощью динамического механического анализатора.

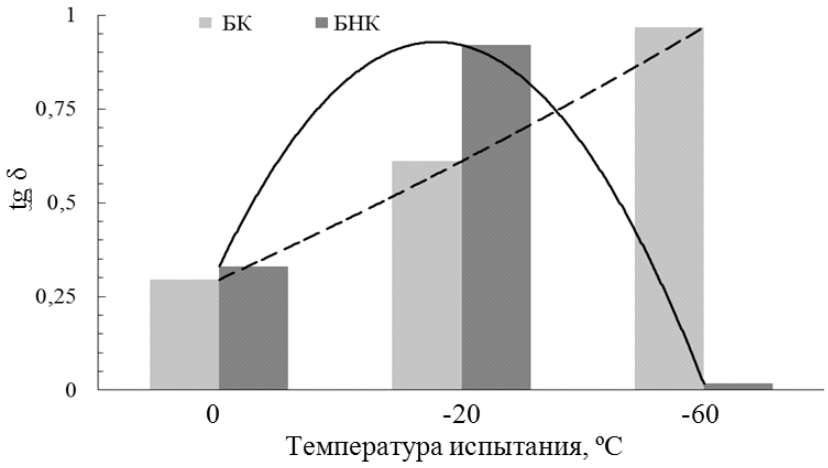

Рис. 3. Различия между значениями тангенса механических потерь tgδ сравниваемых резин при разных температурах и частоте 1 Гц

а

б

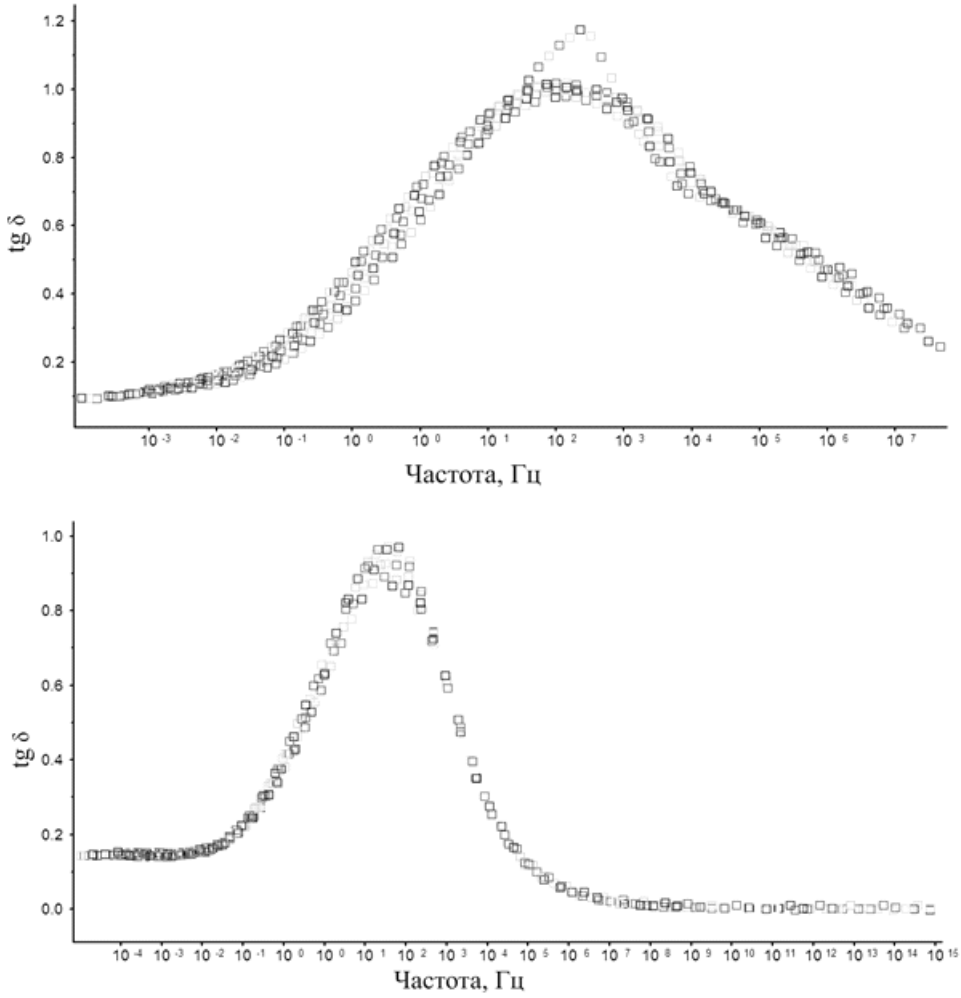

Рис. 4. Зависимость тангенса угла механических потерь tgδ резин на основе БК (а) и БНК (б) при минус 20 °С от частоты

Целью настоящей работы являлось сравнение динамических свойств резин, полученных по стандартной рецептуре, с каучуками разной полярности.

Наполнителями резин служил канальный технический углерода марки К 354, изготовленный Хазарским химическим заводом по ГОСТ 7885-86. Его выбор обусловлен высокой концентрацией функциональных групп, которые увеличивают полярность его поверхности. Резины изготовлены по стандартной рецептуре на основе каучуков разной полярности: неполярного бутилкаучука (БК1675) и полярного бутадиен-нитрильного (БНКС-28АН).

Бутилкаучук является продуктом сополимеризации изобутилена и небольшого количества изопрена. Его температура стеклования составляет минус 68 °С. Бутадиен-нитрильный каучук является

продуктом сополимеризации бутадиена-1,3 и нитрила акриловой кислоты. Его температура стеклования составляет минус 42 °С [9].

Стандартные резиновые смеси изготавливали в ООО «НИИЭМИ» (г. Москва) в смесительной камере *Thermo Haake Rheomix* при скорости вращения роторов 30 мин$^{-1}$ и температуре стенки камеры 50 °С в течение 27 минут (в случае БНКС) и 19 минут (в случае БК) при одинаковом порядке введения ингредиентов с одновременной регистрацией параметров процесса смешения (крутящего момента на валу привода смесителя и температуры в камере смесителя) с использованием программного обеспечения *Haake PolyLab*. Технический углерод К 354 вводили в два приёма: первую половину навески — на 6-й минуте смешения и вторую половину — на 10-й минуте.

Составы резиновых смесей показаны в табл. 1.

Механические свойства резин — модули упругости E′ и тангенс угла механических потерь tgδ — исследовали в температурном диапазоне от минус 100 °С до плюс 60 °С в условиях осциллирующих нагрузок частотой 1 Гц, 2,5 Гц, 5 Гц, 10 Гц и 20 Гц в режиме «деформация–растяжение» с помощью динамического механического анализатора DMA 242D фирмы NETZSCH (Германия).

Результаты исследования динамических свойств резин при частоте 1 Гц показаны на рис. 1. Видно, что показатели динамических свойств резин изменяются в температурном интервале от минус 100 °С до плюс 20 °С, причём температурный интервал работоспособности резин на основе БК шире, чем у резин на основе БНК.

Особенностью резин на основе БК является монотонное увеличение их tgδ в температурном интервале от 0 °С до минус 60 °С. На рис. 2 видно, что БК более морозостоек, чем БНК, а в резине температура кристаллизации T_g каучуков ниже, чем в свободном каучуке, что обусловлено низкой теплопроводностью резин [7].

Характеристические параметры сравниваемых резин из данных DMA показаны в табл. 2 и на рис. 3.

На рис. 3 видно, что независимо от типа связей между наполнителями и полимером tgδ сравниваемых резин при 0 °С практически не изменяется. Но при минус 60 °С в условиях даже малых деформаций в резине на основе полярного каучука БНК tgδ резин значительно ниже, что, вероятно, обусловлено образованием множества связей между полимерной и структурной сеткой наполнителя, которые предотвращают разрушение сеток и внутреннее трение частиц фрагментов разрушаемой сетки наполнителя, тем самым снижая вязкостную E″ долю комплексного модуля и, соответственно, tgδ резин.

Для прогнозирования и сравнения свойств резин при высоких напряжениях были построены «мастер-кривые» зависимости значения тангенса угла механических потерь tgδ от частоты воздействия силы на образцы исследуемых резин при минус 20 °С. Из «мастер-кривых» (рис. 4) видно, что релаксационные процессы в резине на основе неполярного каучука проявляются в диапазоне более низких частот от 10^{-4} Гц и достигают наибольшего значения при 10^{-3}–10^{-2} Гц. Отклик резин на основе полярного каучука находится в более узком диапазоне, а наибольшее значение tgδ смещается в область частот 10^{-2}–10^{-1} Гц. Различия в чувствительности сравниваемых резин к частоте осциллирующей нагрузки могут быть объяснены не только разной природой и надмолекулярной структурой каучуков, но и разной интенсивностью их взаимодействия с наполнителем [10]. Как отмечалось, технический углерод является полифункциональным материалом. Полярные функциональные группы способны образовывать с полярными эластомерами связи разной природы (в том числе водородные и химические), тогда как базальные плоскости являются более адсорбционноактивными по отношению к неполярным каучукам [7].

Полученные данные значений тангенса угла механических потерь резин на основе каучуков разных полярностей (неполярного бутилкаучука и полярного бутадиен-нитрильного) могут быть полезными при прогнозировании гистерезисных свойств резин на основе их смесей.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ООО «НИИЭМИ» А. А. Канаузовой и Т. Т. Рахматуллину за образцы резин, предоставленные для исследований.

Библиографический список

1. Flanigan, C. et al Comparative study of silica, carbon black and novel fillers in tread compounds / Rubber World; Feb 2012, Vol. 245 Issue 5, p. 18–31.

2. Rendek, M., Lion A. Strain induced transient effects of filler reinforced elastomers with respect to the Payne-Effect: experiments and constitutive modeling / ZAMM Z. Angew. Math. Mech. – 2010. Vol. 90. – p. 436–458.

3. Пазников, Е. А. Исследование вязкоупругих свойств структурированного тетразолсодержащего полимера акустическим методом / Е. А. Пазников // Ползуновский вестник. – 2008. – № 1–2. – С. 63–65.

4. Словиков, С. В. Экспериментальное исследование динамических свойств вязкоупругих материалов / С. В. Словиков, Р. Б. Бульбович // Вестник ПГТУ. Механика. – Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун–та, 2010. – № 2. – С. 104–112.

5. Mehrabzaden, M., Burford, R. P Studies of Mechanical Properties, Thermal Behaviour and Morphology of Polyamide 11 and Nitrile Rubber Blends: Effect of Rubber and Acrylonitrile Content / Iranian Journal of Polymer Science and Technology. 1995 – Vol. 4, № 3 – p. 156–168.

6. Sui, G. et al. Curing kinetics and mechanical behavior of natural rubber reinforced with pretreated carbon nanotubes / G. Sui, W. H. Zhong, X. P. Yang , Y. H. Yu, Materials Science and Engineering (A) 2008. 485. p. 524–531.

7. Раздьяконова, Г. И. Дисперсный углерод : учеб. пособие / Г. И. Раздьяконова ; ОмГТУ. – Омск, 2013. – 1о=эл. опт. диск (CD-ROM). Зарегистрировано в Информрегистре 01.08.13, – № 0321302695.

8. Wolff S., Wang M. – J. Reinforcement of Elastomers // Carbon Black / ed. J. –B. Donnet, R.C. Bansal, M. – J. Wang. – 1993. – MARCRL DEKKER, INC, New York. – P. 289–355. – ISBN 0-8247-8973-X.

9. Большой справочник резинщика. В 2. Ч. 1 / Под ред. С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. – М. : Издательский центр «Техинформ» Международной академии информатизации», 2012. – 744 с.

10. Пичугин, А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин / А. М. Пичугин. – М. : ООО НИИШП, 2008. – 383 с.

СТРИЖАК Елена Александровна, кандидат химических наук, доцент кафедры «Нефтехимические технологии и оборудование» Омского государственного технического университета (ОмГТУ).
Адрес для переписки: strizh10@mail.ru
РАЗДЬЯКОНОВА Галина Ивановна, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института

проблем переработки углеводородов СО РАН, доцент кафедры «Химическая технология переработки углеводородов» ОмГТУ.
Адрес для переписки: grazdyakonova@mail.ru
МАРАТКАНОВА Елена Александровна, аспирантка аспирантуры Института проблем переработки углеводородов СО РАН, инженер Института проблем переработки углеводородов СО РАН.
Адрес для переписки: elena997@ihcp.ru
БУРЬЯН Юрий Андреевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Основы теории механики и автоматического управления» ОмГТУ.
Адрес для переписки: burian@omgtu.ru
АДЯЕВА Людмила Владимировна, кандидат химических наук, доцент кафедры «Нефтехимические технологии и оборудование» ОмГТУ, директор научно-образовательного ресурсного центра «Политест» при ОмГТУ.
Адрес для переписки: polytest2012@yandex.ru
АВРЕЙЦЕВИЧ Наталья Владимировна, магистрант группы ВМС-612, инженер НИЧ при кафедре «Основы теории механики и автоматического управления» ОмГТУ.
Адрес для переписки: zhemchuzhnaya@mail.ru
МИТРЯЕВА Наталья Сергеевна, магистрант группы ВМС-612, младший научный сотрудник НИЧ при кафедре «Основы теории механики и автоматического управления» ОмГТУ.
Адрес для переписки: natusia357@mail.ru

Статья поступила в редакцию 24.09.2013 г.
© Е. А. Стрижак, Г. И. Раздьяконова, Е. А. Маратканова, Ю. А. Бурьян, Л. В. Адяева, Н. В. Аврейцевич, Н. С. Митряева

Книжная полка

Калистратова, Л. Ф. Кристаллография : учеб. электрон. изд. локального распространения : практикум / Л. Ф. Калистратова ; ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – 1 о=эл. опт. диск (CD-ROM).

Учебное электронное издание разработано в соответствии с рабочей программой дисциплины «Кристаллография/Симметрия» для технических вузов. Предназначено для студентов третьего курса радиотехнического факультета дневного обучения (направление 210600.62 «Нанотехнология»).

Иванов, В. Г. Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов : учебник для вузов / В. Г. Иванов. – М. : Лань, 2013. – 448 с. – ISBN 978-5-8114-1478-9

В учебнике изложены основы методологии проектирования важнейших компонентов химико-технологических систем, начиная от выбора ресурсов и способа производства химического продукта и заканчивая разработкой общей структуры производящей системы. В данной книге рассматриваются методики проектирования технологии реакции и соответствующей реакционной техники. Книга предназначена для студентов и аспирантов химико-технологических специальностей высших учебных заведений, а также для слушателей факультетов повышения квалификации, для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, модернизацией, исследованием и эксплуатацией системотехнических комплексов химического профиля. Книга может быть также полезна разработчикам реакционной химической техники и систем управления технологическими процессами.

Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов. – М. : Альянс, 2013. – 576 с. – ISBN 978-5-91872-031-8.

Десятое издание отличается от предыдущего тем, что в него внесены новые расчетные примеры основных типов аппаратов (теплообменников, массообменных аппаратов) с применением ЭВМ. Программы составлены на легко адаптируемом для различных систем ЭВМ языке (Фортран - IV). В новом издании особое внимание уделено вопросам стандартизации.

Михайлов, В. А. Химическое равновесие : учеб. пособие / В. А. Михайлов. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 198 с. – ISBN 978-5-94774-756-0.

В учебном пособии, написанном преподавателями кафедры неорганической химии МИТХТ им. М. В. Ломоносова, изложены основные положения и понятия теории химического равновесия и рассмотрены общие подходы к решению соответствующих задач. Значительное внимание уделено кислотно-основным и окислительно-восстановительным равновесиям. Книга содержит многочисленные задачи с подробными решениями. Особую ценность представляет анализ условий, при которых допускается тот или иной упрощенный подход. Пособие включает обширный справочный материал. Для студентов вузов и абитуриентов, преподавателей общей и неорганической химии, а также преподавателей и учащихся профильных школ.