

На правах рукописи



003484384

Бетенков Фёдор Михайлович

**ВЛИЯНИЕ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ НА ФИЗИКО-
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ
ВУЛКАНИЗАТОВ НА ОСНОВЕ СМЕСИ
1,4-ПОЛИБУТАДИЕНА И 1,4-ПОЛИИЗОПРЕНА**

Специальность 05.17.06 - Технология и переработка полимеров и композитов

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

26 НОЯ 2009

Бийск – 2009

Работа выполнена на кафедре физики и технологии композиционных материалов в ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Маркин Виктор Борисович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Петров Евгений Анатольевич
кандидат технических наук
Русских Геннадий Иванович

Ведущая организация: ОАО «Комполит», Московская область,
г. Королёв

Защита состоится «15» декабря 2009 года в 11³⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.08 в Бийском технологическом институте (филиале) государственного образовательного учреждения высшего и профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова 27

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Бийского технологического института (филиала) государственного образовательного учреждения высшего и профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» по адресу: 659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова 27

Автореферат разослан «13» ноября 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Светлов С.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Тенденции развития фундаментальных работ в области технологии получения новых эластомерных материалов на основе каучуков с комплексом улучшенных физико-механических свойств показывают, что традиционные методы синтеза во многом исчерпали себя и вероятность появления эластомеров с характеристиками, существенно превосходящими известный уровень, значительно уменьшилась. В настоящее время интенсивно развивается другое направление получения новых эластомерных материалов – это модификация уже существующих каучуков и резин. Такой подход позволяет получать качественно новые резины и РТИ с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, на основе уже известных эластомерных композиций. На сегодняшний день широко применяются наиболее распространенные способы модификации наполненных резин, такие как: модификация поверхности наполнителей резин; модификация резиновой смеси путем введения различных веществ (термореактивные смолы, органические кислоты и их производные и мн. др.). Модификация поверхности наполнителей (аппретирование), вводимых в резиновые смеси, как известно, представляет собой в большинстве случаев достаточно трудоемкий и экономически неэффективный процесс. Введение же, например, органических кислот в резиновую смесь, напротив, является достаточно легко осуществимым технологически и экономически оправдано. Как отмечают многие авторы (Г.А. Блох, Ю.Ю. Керча, А.П. Рахматуллина, З.В. Онищенко, И.А. Смолин и др.) в качестве модификаторов резин, в последнее время, чаще всего выбирают карбоновые кислоты и их производные. Данный класс химических соединений представляет собой, достаточно широкий спектр органических кислот: от монокарбоновых кислот, имеющих в своей химической формуле одну карбоксильную группу, до многоосновных карбоновых кислот с большим количеством карбоксильных групп. В процессе взаимодействия данных кислот с резинами, в результате модификации последних, наблюдается достаточно широкий спектр воспроизводимых обменных химических реакций (нуклеофильное замещение, поликонденсация и т. д.), при помощи которых возможно целенаправленно воздействовать на структуру сетки вулканизата, а соответственно и на его свойства. Таким образом, актуальным на сегодняшний день, является вопрос об использовании карбоновых кислот в качестве модификаторов высоконаполненных эластомерных композиционных материалов, изготавливаемых на основе непредельных каучуков, с целью улучшения и оптимизации их физико-механических свойств.

Цель исследования - модификация высоконаполненного вулканизата, приготовленного на основе смеси 1,4-полибутадиена (СКД) и 1,4-полиизопрена (СКИ-3) карбоновыми кислотами с целью улучшения его физико-механических свойств.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- исследовать влияние карбоновых кислот на эффективную плотность сетки высоконаполненных вулканизатов;
- исследовать влияние карбоновых кислот на физико-механические свойства высоконаполненных вулканизатов;
- исследовать влияние карбоновых кислот на фрикционные свойства высоконаполненных вулканизатов;
- построить регрессионные математические модели для прогнозирования прочностных и фрикционных свойств высоконаполненных вулканизатов, модифицированных карбоновыми кислотами.

Объектом исследования является процесс модификации высоконаполненных вулканизатов карбоновыми кислотами, с целью улучшения и оптимизации их физико-механических свойств. **Предметом** исследования является высоконаполненный вулканизат, приготовленный на основе непредельных каучуков СКД и СКИ-3, модифицированный карбоновыми кислотами.

Применяемые в работе методы исследования включают в себя:

- испытания на статический изгиб (ГОСТ 4648-71);
- испытания на сжатие (ГОСТ 4651-82);
- испытания по определению твердости поверхности (ГОСТ 4670-91, ГОСТ 9012-59);
- испытания по определению коэффициента сухого трения и линейного износа (ГОСТ 11629-75, ГОСТ Р 15960-96);
- испытания по определению вязкоупругих свойств с помощью крутильных колебаний (ГОСТ 20812-83);
- определение числа поперечных связей вулканизата методом равновесного набухания.

Научная новизна заключается в следующем:

- впервые показана возможность применения ароматических дикарбоновых кислот для структурно-химической модификации высоконаполненных вулканизатов, приготовленных на основе смеси непредельных каучуков СКД и СКИ-3 с целью получения фрикционных резин с улучшенными физико-механическими и фрикционными свойствами;
- предложен механизм влияния ароматических дикарбоновых кислот на структуру высоконаполненных вулканизатов;

- впервые представлены регрессионные математические модели для прогнозирования физико-механических и фрикционных свойств высоконаполненных вулканизатов, модифицированных карбоновыми кислотами.

Практическая значимость и реализация работы:

- полученные экспериментальные данные о влиянии карбоновых кислот на структуру и свойства высоконаполненных вулканизатов позволяют на стадии синтеза регулировать их физико-механические свойства в заданном направлении;

- представленные регрессионные математические модели позволяют прогнозировать прочностные и фрикционные свойства высоконаполненных вулканизатов, с целью снижения временных и материальных затрат на стендовые испытания;

- результаты диссертационного исследования внедрены в учебном процессе Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова на кафедре физики и технологии композиционных материалов (ФиТКМ) и в Алтайской государственной педагогической академии в проблемной научно-исследовательской лаборатории «Физики полуметаллов и полимеров».

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы были представлены и обсуждались на VII Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов «Химия и химическая технология в XXI веке» (Томск, 2006); I-ой Региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Полимер - 2007» (Бийск, 2007); XI Международной конференции «Диэлектрики-2008» (Санкт-Петербург, 2008); IV Международной школе-семинаре «СВС-2008» (Барнаул, 2008).

На защиту выносятся:

- результаты экспериментальных исследований влияния карбоновых кислот на структуру сетки высоконаполненного вулканизата;

- результаты экспериментальных исследований влияния карбоновых кислот на физико-механические и фрикционные свойства высоконаполненных вулканизатов;

- регрессионные математические модели для прогнозирования прочностных и фрикционных характеристик высоконаполненных вулканизатов, модифицированных карбоновыми кислотами.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе одна статья в издании, рекомендованном ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов, списка использованной литературы из 107 наименований и приложения. Общий объем диссертации составляет 108 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, определена цель и задачи исследования.

В первой главе дан критический анализ имеющихся теоретических и экспериментальных данных в области физико-химических процессов синтеза технических резин, а также представлены данные об основных процессах структурно-химической модификации эластомеров. Рассмотрены перспективы развития безасбестовых фрикционных эластомерных материалов на основе модифицированного каучукового связующего. Показана возможность применения исследуемого высоконаполненного вулканизата в качестве безасбестовой фрикционной эластомерной композиции. Предложен способ модификации вулканизата карбоновыми кислотами, с целью улучшения его физико-механических и фрикционных свойств.

Во второй главе описан состав и технология приготовления высоконаполненных вулканизатов. Представлен обзор основных методов исследования, используемых в данной работе.

В работе был исследован высоконаполненный эластомерный композиционный материал (ВЭКМ) на основе непредельных каучуков СКД и СКИ-3. Исследуемый ВЭКМ в процессе синтеза был модифицирован карбоновыми кислотами (олеиновая кислота - ОК, стеариновая кислота - СК, смесь олеиновой и стеариновой кислот ОК+СК, ортофталевая кислота - ОФК, терефталевая кислота - ТФК, изофталевая кислота - ИФК). Содержание кислот в полимерной композиции составило 1-4 масс. % сверх общей массы резиновой смеси. Полимерная композиция, модифицированная высшими жирными кислотами является «модельной», служащей базисом для определения характера взаимодействия карбоновых кислот с базовой резиновой смесью, состав которой представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Состав базовой резиновой смеси

Название ингредиента	Содержание ингредиента в резиновой смеси, масс. %
СКД + СКИ-3 + И-20	13,0
Барит	22,6
Графит	3,0
Волластонит	53,9
Углерод технический	1,7
Сера	3,5
Оксид цинка	0,5
Каптакс	0,3
Тиурам	1,5

Технологическая схема изготовления исследуемого ВЭКМ представлена на рисунке 1.

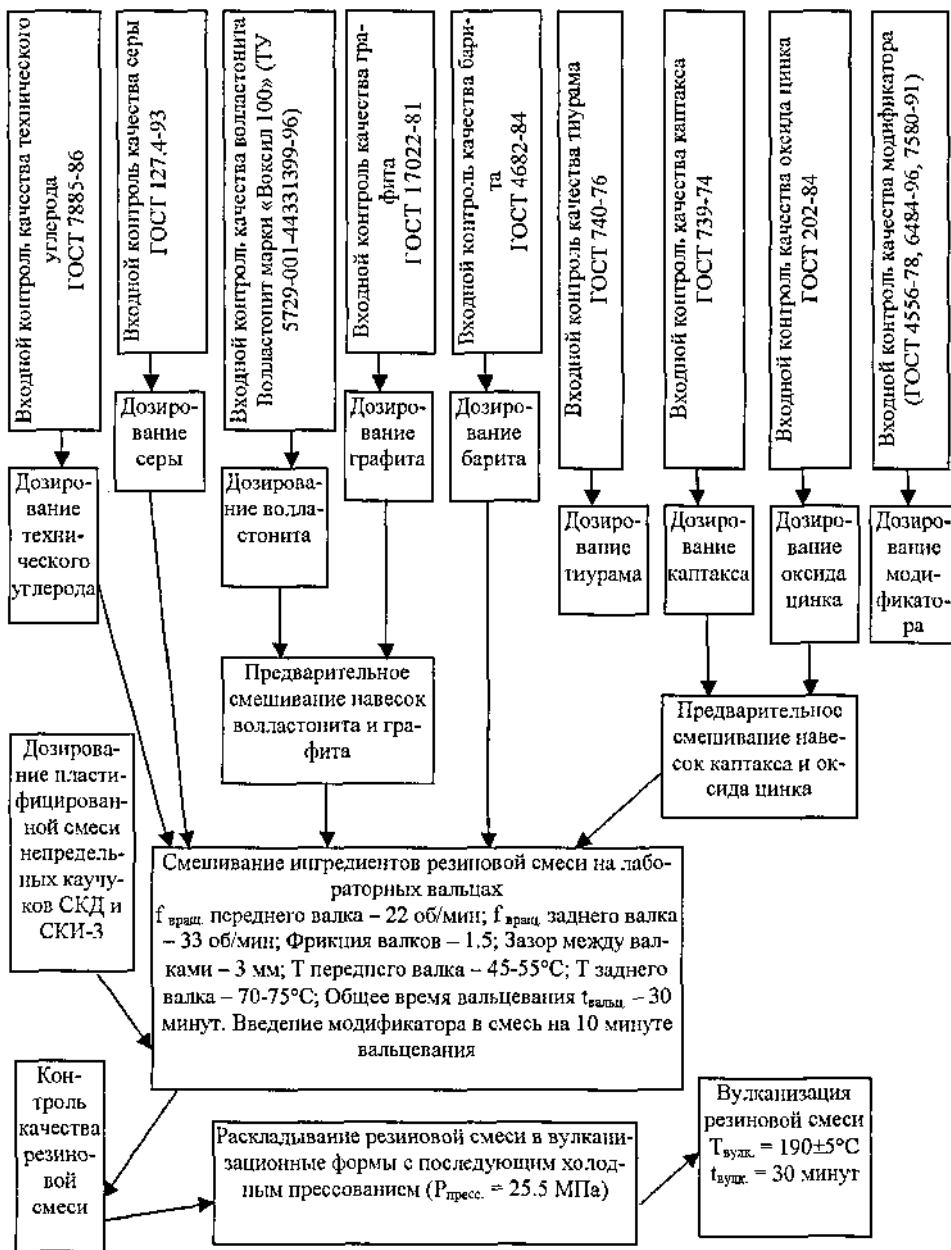


Рисунок 1 - Технологическая схема изготовления ВЭКМ

В третьей главе проведено исследование влияния карбоновых кислот на вязкоупругие свойства ВЭКМ. На рисунке 2 представлены температурные зависимости основных динамических вязкоупругих характеристик исходного ВЭКМ.

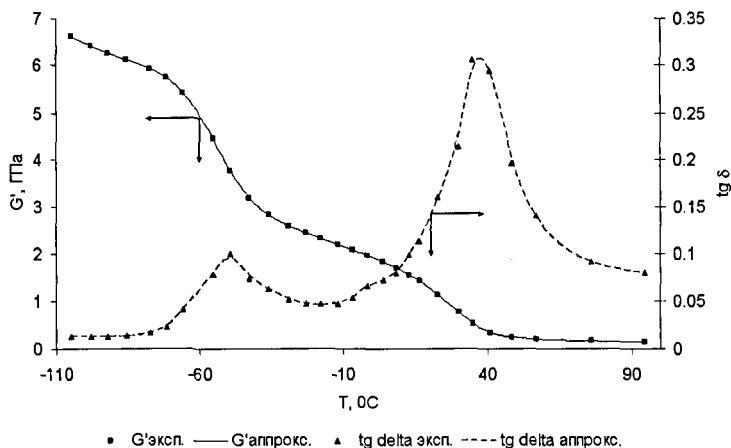


Рисунок 2 - Температурные зависимости динамического модуля сдвига (G') и тангенса угла механических потерь ($\text{tg } \delta$) для исходного ВЭКМ

Из рисунка 2 видно, что в интервале температур $-110^{\circ}\text{C} \div -70^{\circ}\text{C}$ наблюдается слабое уменьшение значения G' , а величина $\text{tg } \delta$ остается практически неизменной. Эта область соответствует стеклообразному состоянию. В интервале температур $-70^{\circ}\text{C} \div -40^{\circ}\text{C}$ отмечается резкое уменьшение G' и появление пика на температурной зависимости $\text{tg } \delta$. Такой характер изменения G' и $\text{tg } \delta$ тесно связан с релаксационным процессом в «СКД» компоненте ВЭКМ. Выше температуры 0°C наблюдается ещё один релаксационный процесс, об этом говорит появление второго пика на температурной зависимости $\text{tg } \delta$ и резкое уменьшение величины G' . Данный процесс связан с размораживанием сегментальной подвижности макромолекул СКИ-3. Таким образом, высоконаполненный вулканизат на основе смеси каучуков СКД и СКИ-3 обладает специфической сетчатой структурой. Её можно представить в виде двух взаимопроникающих полимерных сеток.

На основе температурных зависимостей, аналогичных представленным выше, были определены характеристические температуры (T_{c1} , $T_{\text{tg } \delta \text{max}1}$ и T_{c2} , $T_{\text{tg } \delta \text{max}2}$ - температуры стеклования и теплостойкости «СКД» и «СКИ-3» компонент ВЭКМ соответственно) основных релаксационных процессов, происходящих в ВЭКМ, модифицированном высшими жирными кислотами. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Характеристики релаксационных процессов для ВЭКМ, модифицированного высшими жирными кислотами

n, масс. %	СК				ОК				ОК + СК			
	СКД		СКИ-3		СКД		СКИ-3		СКД		СКИ-3	
	T _{с1} , °C	T _{tgδmax1} , °C	T _{с2} , °C	T _{tgδmax2} , °C	T _{с1} , °C	T _{tgδmax} , °C	T _{с2} , °C	T _{tgδmax2} , °C	T _{с1} , °C	T _{tgδmax1} , °C	T _{с2} , °C	T _{tgδmax2} , °C
0	-54	-50	27	38	-54	-50	27	38	-54	-50	27	38
1	-58	-52	5	13	-50	-40	15	84	-57	-50	32	43
2	-54	-49	19	30	-56	-50	33	43	-64	-59	-	-41
3	-58	-54	1	15	-60	-50	-14	-2	-55	-51	3	20
4	-58	-49	31	44	-59	-55	11	23	-54	-51	6	33

Согласно данным таблицы 2, наибольшей теплостойкостью обладает ВЭКМ, модифицированный 1 масс. % ОК. Для ВЭКМ, модифицированного 2 масс. % смеси высших жирных кислот, не удалось определить величину T_{с2}, что говорит о близости ее расположения с T_{с1}, а соответственно и о высокой степени термодинамической совместимости компонентов ВЭКМ. Следующей важной характеристикой для ВЭКМ, является динамический модуль сдвига в области стеклообразного состояния (G'_{стекл.}). Данная величина характеризует прочностные свойства ВЭКМ. Графики зависимости величины G'_{стекл.} от содержания высших жирных кислот в ВЭКМ представлены на рисунке 3.

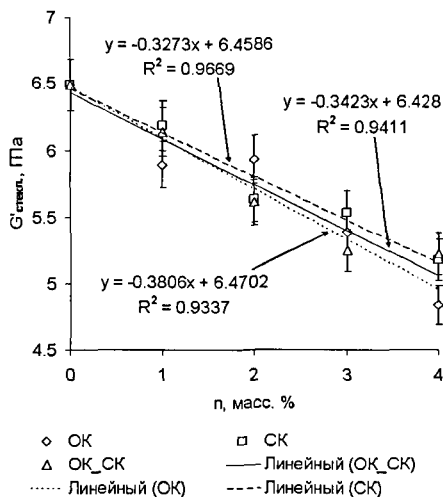


Рисунок 3 - Влияние содержания высших жирных кислот на величину динамического модуля сдвига в стеклообразном состоянии G'_{стекл.}

Согласно рисунку 3, модификация ВЭКМ высшими жирными кислотами приводит к монотонному уменьшению величины $G'_{\text{стекл.}}$ во всем интервале концентраций модификатора. Соответственно, в данном случае, следует говорить о пластифицирующем действии высших жирных кислот на вулканизат, что подтверждается изменением температур стеклования.

Данные о величине эффективной плотности сшивки (ν_e/ν), определенной методом равновесного набухания, представленные на рисунке 4, показывают что увеличение содержания модификатора вплоть до 2 масс. % соответствует стабильному росту данного показателя.

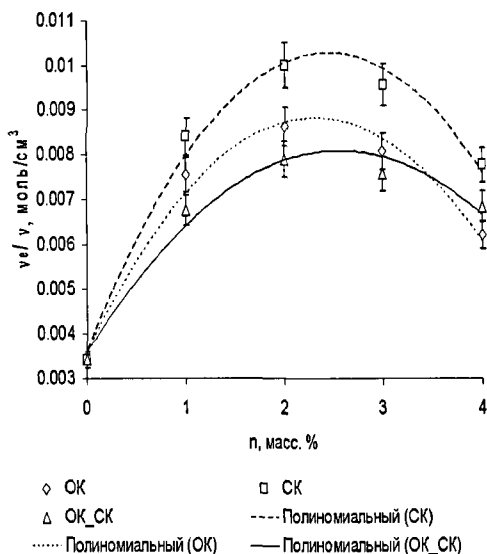


Рисунок 4 - Влияние содержания высших жирных кислот на величину эффективной плотности сшивки ν_e/ν

Таким образом, описанный характер влияния высших жирных кислот на вязкоупругие свойства ВЭКМ, связан с образованием на основе активного цинка, солей стеариновой и олеиновой кислот. Данные химические соединения «переносят» цинк к активным центрам вулканизации (вторичные ускорители вулканизации), а это в свою очередь положительно влияет на сетчатую структуру ВЭКМ. Также проявляется поверхностно-активное воздействие высших жирных кислот на вводимые в резиновую смесь наполнители и ингредиенты системы вулканизации.

В таблице 3 представлены характеристические температуры T_c и $T_{\text{lg}\delta_{\text{max}}}$ для ВЭКМ, модифицированного ароматическими дикарбоновыми кислотами.

Такой характер изменения величины $G'_{\text{стекл}}$ говорит о пластифицирующем действии кислот в данном интервале концентраций модификатора. Концентрации модификатора в интервалах $0 \div 1$ масс. % и $3 \div 4$ масс. % приводят к росту величины $G'_{\text{стекл}}$.

На рисунке 6 представлены данные о влиянии высших жирных кислот на величину эффективной плотности сшивки ν_e/ν исследуемого вулканизата.

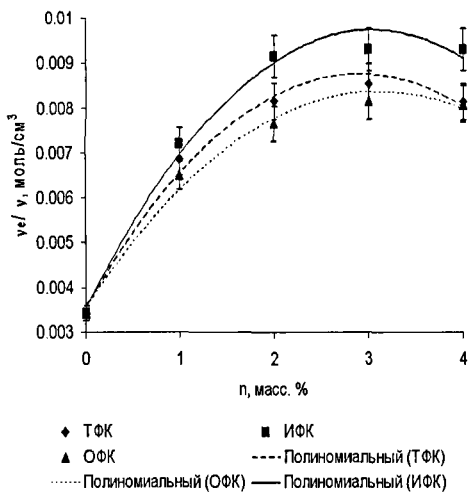


Рисунок 6 - Влияние содержания ароматических дикарбоновых кислот на величину эффективной плотности сшивки ν_e/ν

Согласно рисунку 6, увеличение содержания высших жирных кислот вплоть до 2 масс. % соответствует стабильному росту эффективной плотности сшивки ν_e/ν . Таким образом, описанное влияние ароматических дикарбоновых кислот на вязкоупругие свойства ВЭКМ носит неоднозначный характер и, в свою очередь, связано с образование дополнительных химических связей, что характерно для ИФК и ТФК. Для ОФК, в свою очередь, характерно одновременное протекание нескольких процессов: образование солей цинка, образование дополнительных химических связей и изменение внутренней структуры материала. Образование дополнительных химических связей, при модификации ароматическими дикарбоновыми кислотами, по всей видимости, связано с наличием в их структуре двух карбоксильных групп, что не характерно для высших жирных кислот.

В четвертой главе исследовано влияние карбоновых кислот на прочностные и фрикционные характеристики высоконаполненных вулканизатов на основе смеси каучуков СКД и СКИ-3. Построены регрессионные

математические модели, для прогнозирования прочностных и фрикционных характеристик вулканизатов.

На рисунках 7 и 8 представлены соответственно графики зависимости величины разрушающего напряжения при изгибе S_f и величины разрушающего напряжения при сжатии $\sigma_{ср}$ для ВЭКМ, модифицированного высшими жирными кислотами.

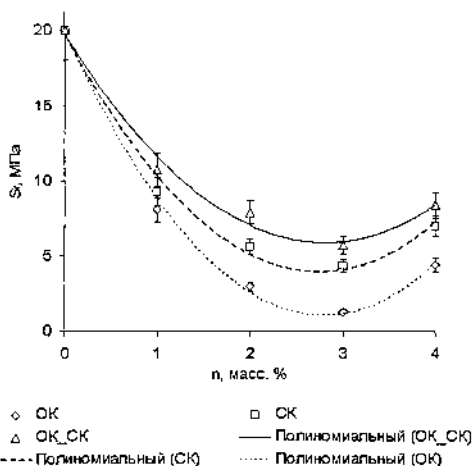


Рисунок 7 - Влияние содержания высших жирных кислот на величину разрушающего напряжения при изгибе S_f

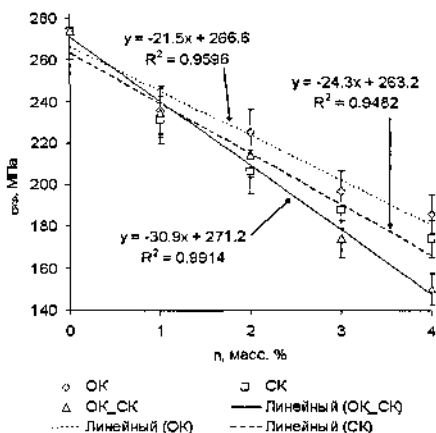


Рисунок 8 - Влияние содержания высших жирных кислот на величину разрушающего напряжения при сжатии $\sigma_{ср}$

Согласно рисунку 7 модификация ВЭКМ высшими жирным кислотами вплоть до 3 масс. % приводит к снижению разрушающего напряжения при изгибе. На рисунке 8 наблюдается линейный спад величины разрушающего напряжения при сжатии во всем интервале концентраций модификатора. Таким образом, здесь очевидно проявляется пластифицирующее действие высших жирных кислот на ВЭКМ.

На рисунках 9 и 10 представлены соответственно графики зависимости величин разрушающих напряжения при сжатии $\sigma_{ср}$ и изгибе S_f для ВЭКМ, модифицированного ароматическими дикарбоновыми кислотами.

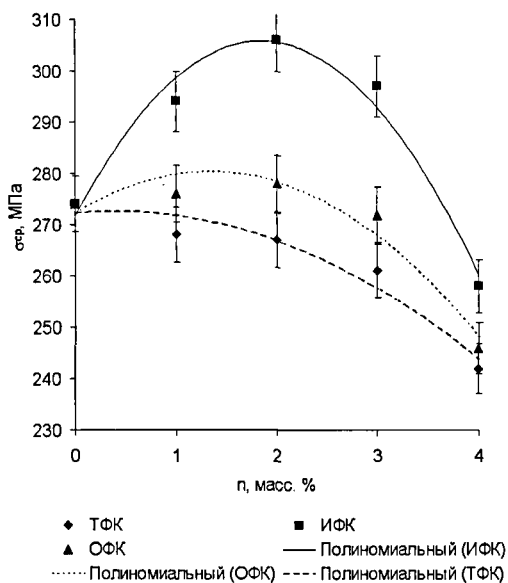


Рисунок 9 - Влияние содержания ароматических дикарбоновых кислот на величину разрушающего напряжения при сжатии $\sigma_{ср}$

Согласно рисунку 9 модифицирование вулканизатов ИФК и ОФК в количестве 1-2 масс. % приводит к росту разрушающего напряжения при сжатии $\sigma_{ср}$ по сравнению с исходным вулканизатом. Для ТФК снижение величины разрушающего напряжения при сжатии $\sigma_{ср}$ наблюдается во всем интервале концентраций модификатора от 1 до 4 масс. % соответственно. Согласно графикам зависимости, представленным на рисунке 10, увеличение величины разрушающего напряжения при изгибе S_f наблюдается при модификации всеми типами ароматических дикарбоновых кислот в количестве до 3 масс. %.

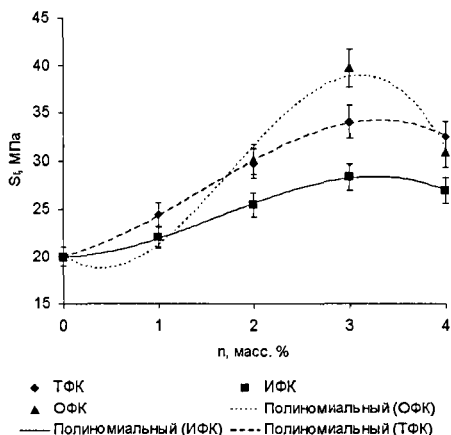


Рисунок 10 - Влияние содержания ароматических дикарбоновых кислот на величину разрушающего напряжения при изгибе S_f

Наибольшей величиной разрушающего напряжения при изгибе характеризуется ВЭКМ, модифицированный ОФК в количестве 3 масс. %. Таким образом, ароматические дикарбоновые кислоты оказывают «усиливающее» действие на ВЭКМ в силу своих полифункциональных химических свойств. На рисунках 11-13 представлены графики зависимости фрикционных характеристик ВЭКМ от содержания ароматических дикарбоновых кислот.

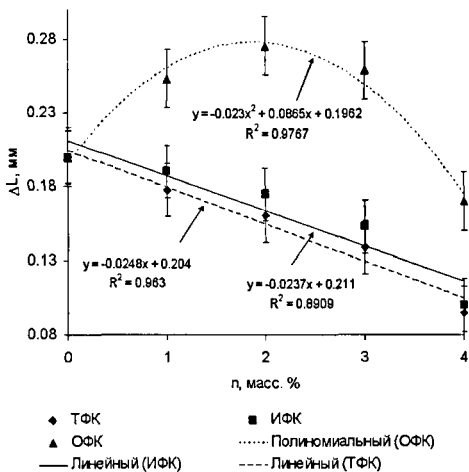


Рисунок 11 - Зависимость величины линейного износа ΔL поверхности ВЭКМ от содержания ароматических дикарбоновых кислот

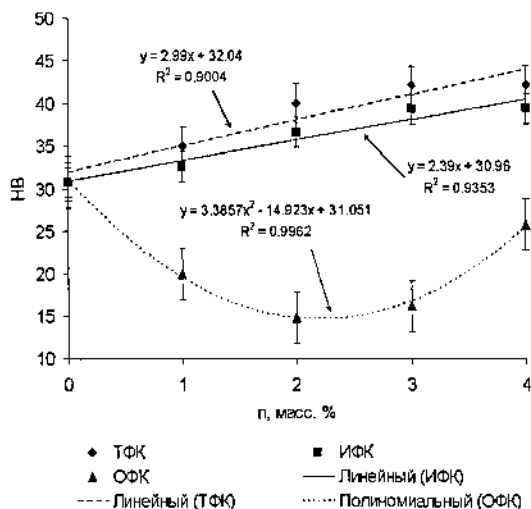


Рисунок 12 - Зависимость твердости НВ поверхности ВЭКМ от содержания ароматических дикарбоновых кислот

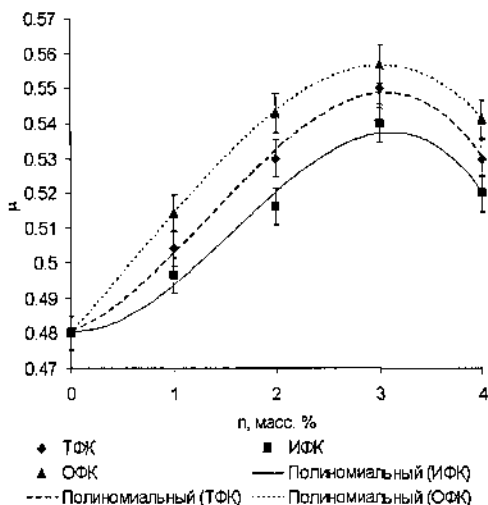


Рисунок 13 - Зависимость величины коэффициента сухого трения μ поверхности ВЭКМ от содержания ароматических дикарбоновых кислот

Из рисунка 11 видно, что введение ароматических дикарбоновых кислот приводит к изменению износостойкости ВЭКМ, по сравнению с исходной композицией. При модификации ВЭКМ ОФК в количестве до 2 масс. % наблюдается рост величины линейного износа. Такое влияние модификатора подтверждается характером изменения величины твердо-

сти поверхности ВЭКМ, представленной на рисунке 12. Модификация ИФК и ТФК, в свою очередь, оказывает положительное влияние в плане износостойкости полимерной композиции. Во всем интервале концентраций наблюдается монотонный спад величины износа. Влияние ароматических дикарбоновых кислот на величину коэффициента сухого трения скольжения тормозных колодок на основе ВЭКМ, характеризуется увеличением данного показателя для всех кислот, взятых в количестве 1÷3 масс. % (рисунок 13). Дальнейшее увеличение концентрации модификатора приводит к уменьшению величины μ , что, в свою очередь говорит о смене механизма трения. Максимальным коэффициентом трения обладает композиция с содержанием ОФК в количестве 3 масс. %.

Методами корреляционного и регрессионного анализа был осуществлен подбор линейных и нелинейных математических моделей, наиболее приближенно описывающих характер взаимосвязи исследуемых прочностных и фрикционных характеристик.

На рисунке 14 представлена линейная регрессия величины разрушающего напряжения при сжатии $\sigma_{ср}$ на динамический модуль сдвига в стеклообразном состоянии $G'_{стекл.}$ для высших жирных кислот.

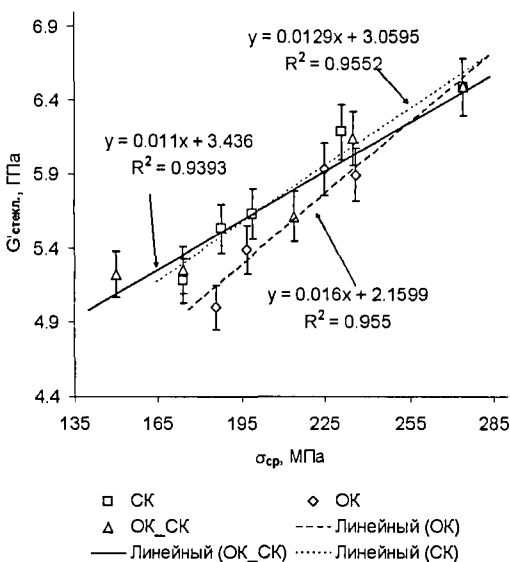


Рисунок 14 - Линейная регрессия величины динамического модуля сдвига в стеклообразном состоянии $G'_{стекл.}$ на величину разрушающего напряжения при сжатии $\sigma_{ср}$

Данные зависимости согласуются с положениями теории прочности ПКМ, так как изменения обеих показателей характеризуется одним и тем же механизмом.

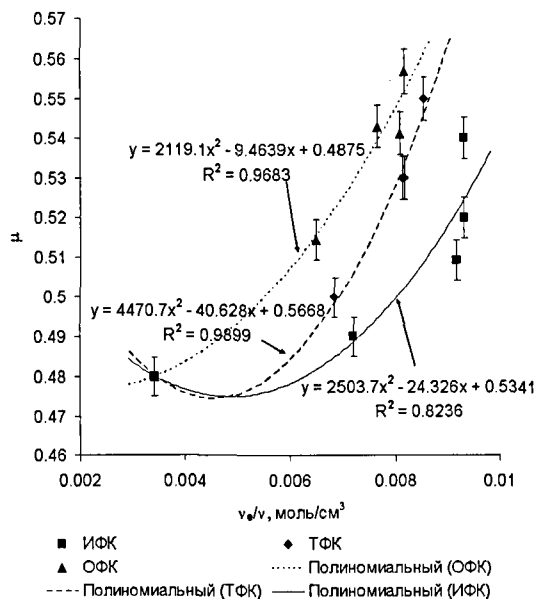


Рисунок 15 - Квадратичная регрессия величины коэффициента сухого трения скольжения μ на величину эффективной плотности сшивки ν_e/ν

Регрессия величины коэффициента сухого трения скольжения μ на структурный параметр вулканизационной сетки ν_e/ν согласно графикам, представленным на рисунке 15, имеет квадратичную зависимость. Согласно этому следует высказать предположение о том, что перечисленные характеристики ВЭКМ зависят не только от свойств сетчатой структуры вулканизата, но и от характера распределения в нем наполнителей и взаимодействия их с эластомерной матрицей, которые определяются полифункциональным влиянием карбоновых кислот на структуру высоконаполненного вулканизата.

Представленные регрессионные математические модели позволяют прогнозировать некоторые из основных прочностных и фрикционных свойств исследуемых ВЭКМ на основании данных об эффективной плотности вулканизационной сетки и вязкоупругих свойствах ВЭКМ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Модификация высоконаполненного вулканизата карбоновыми кислотами в количестве 2÷3 масс. % приводит к увеличению величины эффективной плотности сшивки в среднем в 3-4 раза.

2. Введение в вулканизат жирных кислот в количестве 1÷4 масс. % приводит к уменьшению величины динамического модуля сдвига в стеклообразном состоянии в среднем на 30%. Модификация высоконаполненного вулканизата высшими жирными кислотами в количестве 1÷3 масс. % приводит к уменьшению величины разрушающего напряжения при изгибе в среднем на 15 МПа, а введение 1-4 масс. % высших жирных кислот способствует уменьшению величины разрушающего напряжения при сжатии в среднем на 100 МПа.

3. Введение в вулканизат 1÷3 масс. % ароматических дикарбоновых кислот, приводит к уменьшению величины динамического модуля сдвига в стеклообразном состоянии в среднем на 20%. При модификации вулканизата ароматическими дикарбоновыми кислотами в количестве 0-1 масс. % и 3-4 масс. %, наблюдается незначительный рост величины динамического модуля сдвига в стеклообразном состоянии.

4. Введение в вулканизат изофталевой и ортофталевой кислот в количестве 1÷2 масс. % приводит к росту величины разрушающего напряжения при сжатии (на 30 МПа для изофталевой кислоты). При модификации вулканизата терефталевой кислотой в количестве 1÷4 масс. % наблюдается снижение разрушающего напряжения при сжатии в среднем на 30 МПа. При введении ароматических дикарбоновых кислот в количестве 1÷3 масс. % наблюдается выраженный рост величины разрушающего напряжения при изгибе в среднем на 15 МПа.

5. Введение в вулканизат ортофталевой кислоты в количестве 1÷2 масс. % приводит к снижению величины твердости поверхности на 15 единиц. Дальнейшее увеличение концентрации модификатора до 4 масс. % приводит к увеличению твердости поверхности. При модификации изофталевой и терефталевой кислотами в количестве 1÷4 масс. % наблюдается монотонный линейный рост величины твердости поверхности в среднем на 10 единиц. Введение изофталевой и терефталевой кислот в количестве 1÷4 масс. % приводит к уменьшению линейного износа в среднем на 50%. Модификация ортофталевой кислотой в количестве 1-2 масс. % приводит к увеличению линейного износа на 25%, дальнейшее увеличение концентрации модификатора приводит к его снижению. Введение в вулканизат ароматических дикарбоновых кислот в количестве 1÷3 масс. % приводит к росту величины коэффициента сухого трения скольжения в среднем на 15%.

6. На основе корреляционного и регрессионного анализа построены математические регрессионные модели для осуществления прогнозирования изменения некоторых прочностных и фрикционных характеристик исследуемого высоконаполненного вулканизата.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Викторов, А.А. Исследование параметров вулканизационной сетки и кинетики вулканизации композиционных материалов [Текст] / А.А. Викторов, М.А. Ленский, А.М. Белоусов, А.Д. Насонов, Ф.М. Бетеньков // «Химия и химическая технология в XXI веке»: Тезисы VII Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов; Томск: ТПУ, 2006. – С. 67.

2. Насонов, А.Д. Исследование влияния модификаторов на полимерное связующее фрикционных материалов методом ДМА [Текст] / А.Д. Насонов, Ф.М. Бетеньков, А.М. Белоусов, А.А. Викторов // Ползуновский вестник. Сер. Общая химия и экология. – 2006. – №2-1. – С. 141-145.

3. Бетеньков, Ф.М. Акустическое исследование физико-механических свойств фрикционных полимерных композитных материалов [Текст] / Ф.М. Бетеньков, А.Д. Насонов, А.А. Викторов, А.М. Белоусов // Ультразвук и термодинамические свойства вещества: Сб. научн. трудов, вып.33; гл. ред. Ю.Ф. Мелихов; РАО. – Курск: КГУ, 2006. – С. 45-49.

4. Насонов, А.Д. Исследование влияния модификатора на физико-механические и эксплуатационные характеристики фрикционных полимерных материалов на основе гибридных связующих [Текст] / А.Д. Насонов, Ф.М. Бетеньков // Ультразвук и термодинамические свойства вещества: Сб. научн. трудов, вып.34-35; гл. ред. Ю.Ф. Мелихов; РАО. – Курск: КГУ, 2006. – С. 125-129.

5. Насонов, А.Д. Волластонит - эффективный дисперсный наполнитель для полимерных материалов [Текст] / А.Д. Насонов, Ф.М. Бетеньков, А.В. Кайзер, М.Б. Кондратенко // Информационный листок № 02-014-07: Алтайский центр научно-технической информации, 2007. – 6с.

6. Кайзер, А.В. Влияние дисперсного наполнителя на физико-механические свойства композиционных материалов [Текст] / А.В. Кайзер, Ф.М. Бетеньков // «Полимер - 2007», 25-26 мая 2007 года: Материалы I-ой Региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых; БТИ. – Бийск: АлтГТУ, 2007. – С. 34-35.

7. Насонов, А.Д. Исследование влияния высших жирных кислот на физико-механические свойства и термодинамическую совместимость компонентов фрикционной композиции на основе синтетических каучу-

ков СКД и СКИ-3 [Текст] / А.Д. Насонов, Ф.М. Бетеньков // Вестник БГПУ, Сер. Естественные и точные науки, вып. 7. – Барнаул: БГПУ, 2007. – С. 77-83.

8. Маркин, В.Б. Влияние степени сшивки на физико-механические свойства полимерных композиционных диэлектриков [Текст] / В.Б. Маркин, Ф.М. Бетеньков, А.Д. Насонов, А.А. Петрова // «Диэлектрики-2008», Санкт-Петербург, 3-7 июня 2008 года: Материалы XI Международной конференции, Т. 2., СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2008. – С. 312-314.

9. Бетеньков, Ф.М. Динамический механический анализ (ДМА) – «экспресс»-метод оценки основных физико-механических и эксплуатационных характеристик материалов, используемых в узлах трения машин [Текст] / Ф.М. Бетеньков // «СВС-2008», 23-27 сентября 2008 года: Тезисы докладов IV международной школы-семинара, Барнаул: АлтГТУ, 2008. – С. 15-16.

10. Насонов, А.Д. Влияние полифункциональных химических добавок на механические характеристики высоконаполненных эластомерных композиционных материалов [Текст] / А.Д. Насонов, Ф.М. Бетеньков // Фундаментальные проблемы современного материаловедения – Т. 5. – 2008. – № 4. – С. 81-87.

Список сокращений и обозначений

РТИ – резинотехнические изделия

СКД – синтетический каучук дивинильный (1,4-полибутадиен)

СКИ-3 – синтетический каучук изопреновый (1,4-полиизопрен)

ДМА – динамический механический анализ

ПКМ – полимерный композиционный материал

ВЭКМ – высоконаполненный эластомерный композиционный материал

СК – стеариновая кислота

ОК – олеиновая кислота

СК+ОК – смесь олеиновой и стеариновой кислот

ОФК – ортофталевая кислота

ТФК – терефталевая кислота

ИФК – изофталевая кислота

G' – динамический модуль сдвига

$G'_{\text{стекл.}}$ – динамический модуль сдвига в стеклообразном состоянии

$\text{tg}\delta$ – тангенс угла механических потерь

T_c – температура стеклования

$T_{\text{tg}\delta\text{max}}$ – температура теплостойкости

v_e/v – эффективная плотность сшивки

S_f – разрушающее напряжение при изгибе

$\sigma_{ср}$ – разрушающее напряжение при сжатии

ΔL – линейный износ

НВ – твердость поверхности по Бринеллю

μ – коэффициент сухого трения скольжения

Подписано в печать 2.11.2009. Формат 60x84 1/16.
Печать – цифровая. Усл.п.л. 1,39.
Тираж 100 экз. Заказ 2009 - 627

Отпечатано в типографии АлтГТУ,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46
тел.: (8–3852) 36–84–61

Лицензия на полиграфическую деятельность
ПЛД №28–35 от 15.07.97 г.