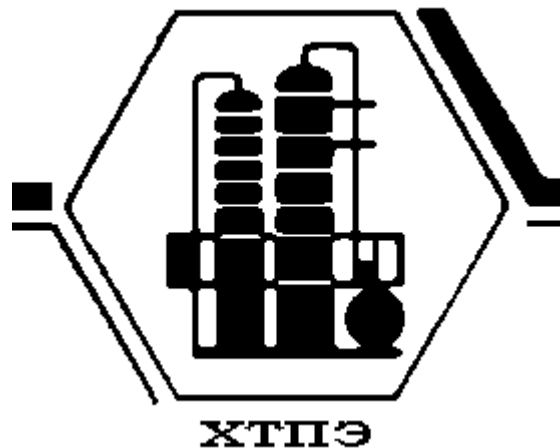


Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный технологический
университет»

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА РЕЗИНЫ

Электронное издание

Методические указания по изучению курса для студентов направления
18.03.01 «Химическая технология» профиля подготовки «Технология и
переработка полимеров» очной и заочной форм обучения



Красноярск, 2015

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный технологический
университет»

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА РЕЗИНЫ

Электронное издание

Методические указания по изучению курса для студентов направления
18.03.01 «Химическая технология» профиля подготовки «Технология и
переработка полимеров» очной и заочной форм обучения

Красноярск, 2015

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА РЕЗИНЫ : Методические указания по изучению курса для студентов направления 18.03.01 «Химическая технология» профиля подготовки «Технология и переработка полимеров» очной и заочной форм обучения. – Красноярск : СибГТУ, 2015. 38 с.

Составитель: В.Д. Ворончихин

Рецензент: С.И. Левченко (секция методического совета СибГТУ)

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом СибГТУ

ВВЕДЕНИЕ

Резина, вследствие специфичности своих свойств (высокая эластичность и прочность, хорошее сопротивление износу и усталостным деформациям, тепло- и морозостойкость, стойкость к действию жидких и газообразных агрессивных сред и др.), является незаменимым конструкционным материалом, находящим все новые и новые области применения в современной технике.

Современная рецептура резиновых смесей содержит до 20 и более различных компонентов, основными из которых являются: каучуки, вулканизирующие агенты, наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, модификаторы и др. Некоторые резины в качестве основы содержат смеси эластомеров, а также смеси каучуков с пластиками.

Знание взаимосвязи между структурой, деформационно-прочностными и гистерезисными свойствами является основой для успешного осуществления технического синтеза эластомерных композиций с заданным комплексом свойств.

Цель изучения дисциплины – формирование и закрепление у студентов современных представлений о взаимосвязи структуры и свойств каучуков и эластомерных композиций на их основе, представлений о характере и природе химических и физико-химических процессов, приводящих к изменению структуры полимерных материалов, протекающих в них при переработке, хранении и эксплуатации, а также умений применить приобретенные знания для реализации конкретных практических задач.

Курс «Структура и свойства резины» изучается в развитие курсов «Химия и физика полимеров» и «Технология переработки полимеров». Он является одним из основных курсов, формирующих специальную теоретическую подготовку. Программой курса предусмотрено чтение лекций, проведение лабораторных занятий, выполнение студентами контрольной работы. Комплексная организация учебного процесса способствует глубокому

освоению данной дисциплины и закреплению у студентов представлений о взаимосвязи всех основных свойств резин в зависимости от особенностей их структуры.

Особое место в овладении данным курсом отводится самостоятельному углубленному изучению студентами отдельных разделов курса и выполнению домашней контрольной работы.

Самостоятельное изучение материала и выполнение контрольной работы по курсу «Структура и свойства резин» способствует формированию у будущих бакалавров следующих профессиональных компетенций:

ПК-3: использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире.

ПК-5: основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией.

ПК-7: способность и готовность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции;

ПК-21: планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, математически моделировать физические и химические процессы и явления, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения.

ПК-23: способность использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности.

ПК-25: изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования.

1 ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Самостоятельная работа позволяет развивать навыки работы с учебной и научной литературой, вырабатывает способность осуществлять учебно-исследовательскую работу, а также систематически изучать материал курса.

Для успешного самостоятельного усвоения материала в методических указаниях предложена расширенная программа дисциплины, а также список рекомендуемой литературы. Для контроля усвоения материала по каждому разделу предлагаются вопросы для самопроверки.

Изучать материал курса рекомендуется в следующем порядке. Первоначально необходимо внимательно прочитать в программе вопросы по данной теме и методические указания к ним, изложенные в обзорно-методической лекции преподавателя кафедры. Далее необходимо тщательно изучить разделы, относящиеся к данной теме, в рекомендуемой литературе. Изучаемая студентом литература не должна ограничиваться предложенным списком. Если в процессе изучения материала остаются неясные вопросы, необходимо обратиться за консультацией к преподавателю.

При изучении материала рекомендуется вести конспект, в котором необходимо записывать основные теоретические положения, расчетные формулы, фиксировать графики и иной иллюстрационный материал.

По курсу «Структура и свойства резин» студенты выполняют контрольную работу, которая состоит из трех контрольных заданий, варианты которых предлагаются в данных методических указаниях.

Студент пользуется основной и дополнительной литературой, предложенной в программе и методических указаниях, литературой, которая имеется в библиотеке и читальных залах университета, электронными и периодическими изданиями по тематике задания, доступными веб-сайтами. Такой вид деятельности требует привлечения дополнительной учебной и научной литературы, список которой составляется совместно с преподавателем.

Работа выполняется студентом самостоятельно. Выполненная и оформленная контрольная работа сдается преподавателю в указанные им сроки. Образец оформления титульного листа для контрольной работы приведён в приложении данных методических указаний.

При изучении курса студентами выполняются лабораторные работы на соответствующих занятиях. По окончании изучения курса «Структура и свойства резин» студенты должны защитить лабораторные работы, контрольную работу, сдать зачет и экзамен.

2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСА «СТРУКТУРА И СВОЙСТВА РЕЗИН»

Поскольку курс «Структура и свойства резин» охватывает обширный, постоянно пополняющийся экспериментальный, практический и теоретический материал, постановка контрольных вопросов, конкретизирующих отдельные аспекты полимерного материаловедения, целесообразна в процессе чтения лекций, проведения индивидуальных занятий и консультаций.

Модуль 1 СТРУКТУРА РЕЗИН

Тема 1.1 РЕЗИНА КАК КОНСТРУКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ [1, 2, 5, 8, 15, 22-25]

Резина является микрогетерогенной гетерофазной системой, состоящей из большого количества ингредиентов. Формирование структуры резины предполагает совокупность множества процессов, протекающих на двух уровнях – топологическом и морфологическом.

Химические реакции структурирования, возникающие на стадиях изготовления смесей, их вулканизации и при воздействии внешних агрессивных факторов, как правило, сопровождаются реакциями циклизации,

деструкции, цис-транс-изомеризация и др. Это приводит к возникновению более сложных, чем простые межмолекулярные связи, структурных образований, которые могут являться как дефектами структуры эластомерной матрицы, так и центрами возникновения ориентированных структур, обеспечивающих преобразование свойств композита.

Процессы агрегации, наблюдаемые при взаимодействии каучуков с наполнителями, вследствие микрообъемного перераспределения компонентов смеси, при взаимодействии эластомеров с пластификаторами и другими компонентами, также приводят к значительным изменениям в свойствах эластомерных композиционных материалов.

В связи с названными особенностями многокомпонентной системы комплекс прочностных и деформационных свойств резиновых смесей и технических резин определяется следующими факторами:

- фазовой организацией и реакционной способностью эластомерной основы;
- структурой вулканизационной сетки (концентрацией, топологией и энергией вулканизационных связей и узлов);
- изменением структуры под влиянием наполнителя, обусловленной взаимодействием на границе эластомер-наполнитель и влиянием последнего на процесс вулканизации;
- изменением структуры под влиянием пластификаторов и других компонентов резиновой смеси.

Вопросы для самопроверки

1. Основные области применения эластомерных композиционных материалов.
2. Факторы, влияющие на комплекс технологических и технических свойств эластомерных композиций.

Тема 1.2 СТРУКТУРА КАУЧУКОВ [1-8, 11, 13, 22-25]

Отличительным свойством эластомеров, позволяющим выделить их в

особый класс соединений, является их высокоэластичность, т.е. способность к большим обратимым деформациям при малом модуле упругости во всей области температур их эксплуатации.

Химическое строение полимера определяется химическим строением мономерного звена. По химическому строению эластомеры в подавляющем большинстве относятся к классу органических полимеров, которые в главной цепи содержат атомы углерода, а также кислорода, азота и серы. Различают карбоцепные и гетероцепные полимеры. У карбоцепных эластомеров главные цепи состоят только из атомов углерода, у гетероцепных полимеров – в главные цепи кроме атомов углерода входят другие атомы.

Молекулярная масса и молекулярно-массовое распределение являются важнейшими молекулярными параметрами, определяющими технологические и технические свойства полимеров, в частности их способность к высокоэластической деформации. Длина молекулярных цепей обычно характеризуется степенью полимеризации P , т.е. числом мономерных звеньев, входящих в цепь, или молекулярной массой $M = Pt$, где t – молекулярная масса мономерного звена. Величина молекулярной массы эластомеров обычно составляет 10^5 - 10^6 .

Основными параметрами микроструктуры каучука являются строение мономерного звена, характер присоединения мономерных звеньев и конфигурация цепи.

Молекулярная структура сополимеров в значительной степени определяется параметрами, такими как композиционная неоднородность и характер чередования звеньев сомономеров в молекулярных цепях. В зависимости от характера чередования звеньев сомономеров в макромолекулах различают статистические, блок- и альтернантные сополимеры.

В конденсированном состоянии макромолекулы каучуков вступают во взаимодействие друг с другом и образуют агрегаты различной степени сложности и с разным временем жизни. Строение агрегатов зависит от

химического состава взаимодействующих мономерных звеньев макромолекул и от структуры молекулярных цепей.

В зависимости от строения макромолекул между ними могут проявляться дисперсионное, ориентационное и индукционное взаимодействие. Дисперсионное взаимодействие происходит между молекулами любой структуры и обусловлено возникновением мгновенных диполей в атомах и молекулах при вращении электронов вокруг ядер. Для полярных молекул наряду с дисперсионным взаимодействием характерно диполь-дипольное или ориентационное взаимодействие. Промежуточное положение между физическими и химическими связями занимает водородная связь.

Вопросы для самопроверки

1. Основные параметры микро- и макроструктуры полимеров.
2. Молекулярная масса и молекулярно-массовое распределение как основные характеристики полимеров и олигомеров.
3. Структурная регулярность полимерных молекул и структурная неоднородность полимерной матрицы.
4. Конформация и конфигурация молекул. Причины возникновения кристаллической и аморфной фазы в полимерной матрице.
5. Зависимость надмолекулярной структуры полимеров и олигомеров от химического строения молекул, ММ, ММР, конфигурации молекулы и ее конформации.
6. Особенности структуры смесей полимер-полимер, полимер-олигомер, олигомер-олигомер.
7. Строение межфазной границы в смесях полимер-полимер, полимер-олигомер, олигомер-олигомер.

Тема 1.3 СТРУКТУРА ВУЛКАНИЗАЦИОННОЙ СЕТКИ [1, 2, 5, 8, 10, 12, 15, 22]

В процессе вулканизации происходит фиксация линейных макромолекул каучука поперечными связями в трехмерную сетку. В обычных резинах связи расположены на значительном расстоянии друг от друга и между ними укладываются большие отрезки гибких цепных молекул. Как следствие, наличие поперечных связей не влияет на перегруппировки макромолекул под действием внешней нагрузки. Образующиеся межмолекулярные связи

ограничивают только необратимые перемещения цепных молекул, т.е. уменьшают текучесть (пластическую или остаточную деформации).

При сшивании линейных макромолекул высокой молекулярной массы образуются, как правило, статистические сетки, в которых поперечные связи являются узлами сетки, и их распределение приближается к статистическому.

Для характеристики таких сеток наиболее часто используют следующие параметры: функциональность узлов f_c , (число цепей, сходящихся в узле), число цепей между узлами в единице объема N_c , число молей цепей между узлами в единице объема n_c , молекулярную массу отрезка цепи между узлами M_c , степень сшивания γ_c (число поперечных связей на одну макромолекулу), число узлов в единице объема V_c .

Концентрация поперечных связей характеризуется числом цепей, заключенных между узлами сетки, в единице объема вулканизата N_c , числом молей цепей между узлами сетки, в единице объема n_c и числом узлов в единице объема v_c .

Концентрация поперечных связей в первую очередь зависит от типа каучука, типа вулканизирующей системы, температуры и продолжительности вулканизации.

Скорость вулканизации (количество узлов, образующихся в единицу времени) и количество поперечных связей определяются в первую очередь реакционной способностью вулканизирующих веществ по отношению к карбоцепной основе полимера.

Образование вулканизационной сетки (возникновение геля) происходит при определенной степени сшивания (точка гелеобразования), значение которой зависит от функциональности узлов и молекулярно-массового распределения эластомера.

В зависимости от механизма вулканизации возможно соединение макромолекулярных цепей в сетку с помощью узлов различной степени

функциональности. По числу разветвлений, которые выходят из узла, различают три-, тетра- и полифункциональные узлы.

Вопросы для самопроверки

1. Основные параметры, характеризующие структуру вулканизационной сетки.
2. Влияние химической природы и микроструктуры полимеров и олигомеров на кинетические параметры вулканизации и топологию образующейся вулканизационной сетки.
3. Роль деструкции макромолекул в формировании вулканизационной структуры.
4. Влияние температуры на скорость структурирования и деструкции эластомерной матрицы.
5. Влияние типа и энергии поперечных связей на упруго-прочностные и динамические свойства резин.
6. Влияние структуры вулканизационной сетки на упруго-прочностные свойства ненаполненных резин.
7. Влияние структуры вулканизационной сетки на гистерезисные свойства ненаполненных резин.

Тема 1.4 ПРИНЦИПИАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ РЕЗИНЫ ПРИ ВВЕДЕНИИ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ [1, 2, 5, 8, 11-13, 15, 16, 19, 21-24]

Введение наполнителей в резиновые смеси преследует различные цели, такие как улучшение механических свойств резин и придание им специфических свойств (например, электрическая проводимость), облегчение обработки резиновых смесей и снижение стоимости готовых изделий.

Наполнители, улучшающие механические свойства резин, называются активными или усиливающими. Усиливающие наполнители в наибольшей степени влияют на структуру резин. В качестве активных наполнителей используют технический углерод, двуокись кремния, силикаты металлов, некоторые органические продукты (например, лигнин) и другие вещества.

Под эффектом усиления понимают такое изменение структуры, которое приводит к росту модуля упругости, твердости резин, предела прочности при растяжении, сопротивления раздиру, сопротивления истиранию, усталостной выносливости, температуростойкости резин, одновременно повышается гистерезис резин. Результатом такого изменения свойств является повышение

срока службы изделия.

При введении твердых наполнителей в эластомеры происходит существенное уменьшение молекулярной подвижности макромолекул в поверхностном слое на границе раздела каучук-наполнитель. Уменьшение числа возможных конформаций макромолекулы в граничном слое приводит к изменению плотности упаковки, что вызывает изменение свойств слоя каучука, непосредственно прилегающего к наполнителю.

Уменьшение молекулярной подвижности эластомера в граничном слое является результатом, во-первых, стерических ограничений, обусловленных наличием твердой поверхности, и, во-вторых, взаимодействием полимера с поверхностью наполнителя.

Взаимодействие между эластомером и наполнителем может быть механическим, которое связано с захватом эластомера агрегатами наполнителя и образованием так называемого «окклюдированного каучука», и адсорбционным, происходящим в результате физической адсорбции и разнообразных типов хемосорбции.

Повысить эффективность взаимодействия каучука с наполнителем можно модификацией поверхности наполнителя, приводящей к увеличению химически активных групп на поверхности (окисление поверхности, прививка различных функционально активных соединений) и использованием специальных веществ, улучшающих эффективность взаимодействия каучуков с наполнителем (промоторов).

Вопросы для самопроверки

1. Основные положения теории усиливающего действия технического углерода в эластомерных композициях.
2. Основные параметры дисперсных наполнителей, определяющие их усиливающую активность.
3. Влияние дисперсности, морфологии и состояния поверхности дисперсных единиц технического углерода на его диспергируемость и интенсивность взаимодействия с эластомерной матрицей.
4. Приемы и способы (физические, химические, механо-химические и др.) повышения степени диспергирования технического углерода и его эффективности взаимодействия с каучуком.

5. Влияние концентрации технического углерода и физико-химических свойств поверхности дисперсных единиц на процессы вулканизации и термоокислительного старения.

6. Какие виды взаимодействий имеют место при совмещении дисперсных наполнителей с эластомерами?

7. Какие основные структурные элементы формируются при введении технического углерода в каучук?

Тема 1.6 ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА СТРУКТУРУ РЕЗИН

[1, 2, 5, 8, 10-15, 17, 22-24]

Введение пластификаторов в резиновые смеси преследует две цели – облегчает переработку резиновых смесей, понижая температуру текучести и дает возможность модифицировать механические свойства резин (температуру стеклования, морозостойкость, прочность и др. свойства).

При введении пластификатора в полимеры может происходить молекулярное или коллоидное его диспергирование. Если пластификатор имеет сродство к полимеру, то происходит молекулярное диспергирование, т.е. самопроизвольно образуется истинный раствор пластификатора в полимере. Если пластификатор не имеет сродства к полимеру, то самопроизвольно проникнуть в него не может. В результате образуется не истинный раствор пластификатора в полимере, а коллоидная система (эмульсия), которая является термодинамически и агрегативно неустойчивой.

В системе пластификатор-полимер различают по меньшей мере три вида межмолекулярных взаимодействий: 1) между молекулами пластификатора; 2) между пластификатором и полимером; 3) между макромолекулами полимера. Классификация пластификаторов на растворяющие и нерастворяющие определяется долей участия каждого из трех видов взаимодействия.

При использовании растворяющих пластификаторов (совместимых с полимерами) пластификаторы проникают между молекулами (внутриструктурная, внутрипачечная пластификация) и, влияя на подвижность молекул, изменяют условия формирования надмолекулярных структур и сам

характер этих структур.

При введении несовместимых с полимером пластификаторов его молекулы проникают лишь в межструктурное пространство (межструктурная пластификация). В этих случаях пластификатор не может проникнуть между молекулами полимера, поскольку взаимодействие молекул пластификатора с полимером значительно слабее межмолекулярного взаимодействия полимерных цепей (в первом случае) и межмолекулярного взаимодействия молекул пластификатора (во втором случае).

При межструктурной пластификации истинно растворяется (или совмещается с полимером) ничтожное количество пластификатора, молекулы которого адсорбируются на межструктурной поверхности, образуя тончайшие мономолекулярные слои так называемой граничной смазки, облегчающей взаимное перемещение надмолекулярных структур.

Количественной оценкой пластифицирующего действия пластификатора является понижение температуры стеклования (ΔT_c). Наиболее эффективно это действие проявляется у полимеров с жесткими цепями, где ΔT_c может достигать 100-160°C. Температура стеклования полярных каучуков может быть снижена на 30-40 °C, а неполярных всего на 10-20 °C. Чем больше ΔT_c , тем эффективнее пластификатор.

Вопросы для самопроверки

1. Какова роль пластификаторов в эластомерных композициях?
2. Какие виды межмолекулярных взаимодействий имеют место в системе полимер-пластификатор?
3. Основные критерии выбора пластификаторов для каучуков общего и специального назначения.
4. Методы количественной оценки пластифицирующего действия пластификаторов?
5. Степень влияния природы и концентрации пластификаторов на структуру вулканизационной сетки?
6. Влияние пластификаторов на технологические свойства резиновых смесей и основные физико-механические свойства резин?

Тема 1.7 СТРУКТУРА СМЕСЕЙ КАУЧУКОВ [1, 2, 5-8., 11, 12, 14-17, 19, 22-24]

Структура смесей полимеров определяется способностью компонентов к взаимному растворению (термодинамической совместимостью), которая выражается количественно концентрацией одного из полимеров в истинном насыщенном растворе другого.

Неограниченная взаимная растворимость обуславливает однофазность смеси при любом соотношении полимерных компонентов (в равновесных условиях). При ограниченной взаимной растворимости введение в систему одного из полимеров в количестве, превышающем концентрацию насыщения, приводит к образованию двухфазной коллоидной системы.

Чем больше молекулярная масса, тем ниже взаимодействие полимеров, и тем больше вероятность расслаивания полимеров. Повышение температуры несколько увеличивает растворимость полимеров друг в друге. Однако неограниченная взаимная растворимость наблюдается крайне редко. Бинарные смеси каучуков двухфазны и представляют собой особый тип коллоидных систем – дисперсия «полимер в полимере». Свойства дисперсных систем типа «полимер в полимере» определяются основными параметрами структуры, такими как объемная доля дисперсной фазы, механические свойства дисперсной фазы и дисперсионной среды (матрицы), размер и форма частиц дисперсной фазы и прочность связи на межфазной границе.

На структуру смесей каучуков оказывают влияние такие факторы, как химическая природа смешиваемых каучуков, относительная вязкость, соотношение каучуков в смеси и условия смешения.

Близкие значения параметров растворимости смешиваемых полимеров обуславливает их значительное взаимодействие в межфазном слое, а это приводит к росту сдвиговых деформаций в частицах дисперсной фазы и их интенсивному диспергированию. Размер частиц в этом случае колеблется в

пределах 0,5-5 нм.

Наибольшая степень неоднородности получается при смешении каучуков, значительно отличающихся по вязкости. При этом менее вязкий полимер, как правило, образует непрерывную фазу, в которой жесткий полимер, в лучшем случае, распределен в виде сферических образований. При близких значениях вязкости размер полимерных микрообъемов минимальный и определяется химической природой смешиваемых полимеров.

Введение наполнителей существенно меняет структуру смесей каучуков. Наполнитель может оказывать влияние, как на размер частиц дисперсной фазы, так и на характер границы раздела между полимерными фазами. В присутствии технического углерода значительно изменяется структура граничных слоев полимера, уменьшается подвижность молекулярных цепей каучуков, частично адсорбированных на наполнителе и уменьшается возможность диффузии сегментов макромолекул. Уменьшение молекулярной массы каучука вследствие деструкции приводит к увеличению подвижности макромолекул и облегчает диффузию сегментов макромолекул одного каучука в другой.

Наполнители увеличивают однородность резин на основе смесей каучуков и улучшают их свойства. Однако в смесях каучуков наполнители могут неравномерно распределяют между полимерными фазами. Неоднородности, возникающие при распределении наполнителей, оказывают более существенное влияние на свойства резин, чем микрон неоднородности, обусловленные химической природой смешиваемых полимеров.

Вопросы для самопроверки

1. Основные причины использования в составе эластомерных композиций каучуков?
2. Основные факторы, определяющие структуру смесей полимер-полимер?
3. Основные факторы, определяющие структуру смесей полимер-олигомер?
4. Особенности формирования вулканизационной сетки в смесях полимер-полимер, полимер-олигомер, олигомер-олигомер?
5. Особенности распределения наполнителей в смесях полимер-полимер, полимер-олигомер, олигомер-олигомер?

Модуль 2 ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА РЕЗИНЫ И ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ НА СВОЙСТВА

Тема 2.1 СВОЙСТВА НЕВУЛКАНИЗОВАННЫХ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ [1, 2, 5-8, 10-13, 15-19, 21-24]

Процессы переработки полимеров связаны с необходимостью обязательного развития необратимых деформаций течения. Анализ закономерностей поведения полимеров, находящихся в вязкотекучем состоянии и предопределяет их технологическое поведение и диапазон параметров процесса переработки. Течение эластомеров всегда сопровождается обратимыми (высокоэластическими) и необратимыми (пластическими) деформациями.

Чтобы облегчить переработку резиновых смесей, следует уменьшить сопротивление резиновых смесей деформированию (вязкость) и свести к минимуму эластические эффекты при течении.

Вязкость полимеров и композиций на их основе сильно зависит от температуры. Повышение температуры и вызванное этим увеличение скорости теплового движения сегментов макромолекул приводят к нарушению ориентации последних, а также уменьшают их деформацию под действием сдвиговых усилий. Поэтому лучше сохраняется структура жидкости в процессе течения и уменьшаются или совсем исчезают аномалии вязкости. Повышение температуры уменьшает размер кинетически самостоятельных участков локальной упорядоченности, и роль напряжений сдвига в их разрушении оказывается практически незначительной.

Вязкость полимерных материалов заметно увеличивается с ростом давления, и результаты исследований реологических свойств, полученные в определенном диапазоне давлений, нельзя экстраполировать в область больших давлений.

Чем больше молекулярная масса полимера, тем больше сегментов должно переместиться для того, чтобы переместилась вся молекула в новое положение с новым центром тяжести. Следовательно, вязкость повышается по мере роста молекулярной массы, однако увеличение вязкости в зависимости от молекулярной массы немонотонно.

С расширением ММР в сторону больших молекулярных масс снижаются критические скорости и напряжения сдвига, отвечающие появлению аномалии вязкости. С усилением аномалии вязкости увеличиваются высокоэластические деформации и интенсифицируется проявление нелинейных эффектов (нормальных напряжений, эластического восстановления, усадки и др.).

Скорость и эффективность смешения каучука с компонентами резиновой смеси зависит не только от исходной молекулярной массы, но и от пластицируемости каучука (уменьшение молекулярной массы).

С увеличением разветвленности при той же молекулярной массе уменьшается вязкость и нестабильность течения, если только длина боковых ответвлений не сопоставима с длиной цепи.

Введение наполнителей повышает вязкость смесей. С увеличением степени наполнения и уменьшением размера частиц наполнителя эффективная вязкость увеличивается и при высоких значениях скорости сдвига и при повышенных температурах эффективная вязкость определяется только природой полимера.

Вопросы для самопроверки

1. Обратимые и необратимые деформации при течении эластомеров.
2. Чем обусловлены различия в механизмах течения полимеров от течения низкомолекулярных жидкостей?
3. Изменение структуры полимера при вязком течении.
4. Влияние условий переработки на реологические свойства резиновых смесей.
5. Влияние структуры резиновых смесей на их реологические свойства.

Тема 2.2 МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИН ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ [1, 2, 5-8, 12, 13, 15, 16, 21-24]

Прочностью называют свойство материала сопротивляться разрушению под действием механических напряжений. Разрушение материала – это нарушение его сплошности, разрыв и образование новых поверхностей.

Теоретическая прочность твердого тела – это прочность тела с идеальной структурой при температуре абсолютного нуля в условиях однородной деформации растяжения или сдвига. Эти условия обеспечивают одинаковую нагруженность всех межатомных (химических) и межмолекулярных связей и одновременный разрыв всех связей по поверхности разрушения при одноосном растяжении или сдвиге.

Прочность реальных вулканизатов, так называемая техническая прочность, намного ниже теоретической.

С.Н. Журковым и А.П. Александровым сформулирована статистическая теория хрупкой прочности. Основные положения статистической теории прочности сводятся к следующему:

1) в образцах одного и того же материала имеется большое количество дефектов различного происхождения и различной степени опасности. Внешне одинаковые образцы, полученные одинаковым способом, могут иметь дефекты различной опасности;

2) прочность образца определяется наиболее опасным дефектом;

3) чем больше объем (или поверхность) образца, тем вероятнее встретить наиболее опасный дефект. Отсюда следует, что с увеличением рабочей части образца прочность должна уменьшаться.

Структура эластомерных композитов, как и других материалов, неоднородна. Местная концентрация напряжений может быть следствием наличия в вулканизате материальных дефектов (микротрещин, полостей, включений и т.д.) и структурной неоднородности эластомерного композита

(неодинаковая длина участков молекулярных цепей, заключенных между узлами вулканизационной сетки, наличие несвязанных в сетку концов молекул, зависящее от молекулярной массы каучука и молекулярно-массового распределения; неравномерное распределение связей по объему вулканизата, наличие упорядоченных и аморфных областей в фазе каучука, гетерофазная структура, наличие поверхности раздела фаз и др.). Такие микродефекты и микронеоднородности являются очагами, дающими начало разрушению в материале, находящемся под нагрузкой.

Характер и механизм разрушения материалов зависят от физического состояния, в котором они находятся. Согласно кинетическому подходу, разрушение рассматривается как результат постепенного накопления микроразрушений вследствие теплового движения. В полимерах термофлуктуационное разрушение сопровождается релаксационными процессами, что обуславливает специфику разрушения полимеров, находящихся в различных физических состояниях.

Процесс разрушения полимеров может быть разделен на две стадии:

- 1) возникновение в образце под напряжением зародышевых субмикроскопических трещин;
- 2) рост субмикроскопических трещин до микро- и макротрещин и до разрушения образца.

Вопросы для самопроверки

1. Какие механические свойства называются упруго-релаксационными?
2. По каким кривым оцениваются деформационные свойства каучуков и резин?
3. Почему наполнители обеспечивают резкое повышение напряжения при деформации?
4. Что называется прочностью? Виды прочности. Теория Журкова-Александрова.
5. Причины отличия технической прочности от теоретической.
6. Механизмы разрушения полимеров. Влияние типа каучука на механизм разрушения композита.
7. Влияние типа и содержания наполнителя на механизм разрушения эластомерного композита.

Тема 2.3 МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИН В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ [1, 2, 5-8, 12, 13, 15, 16, 19, 21-24]

Для количественной оценки упруго-гистерезисных свойств используют следующие показатели.

Динамический модуль E , представляющий собой отношение амплитуды напряжения к амплитуде деформации ($E=f_0/\varepsilon_0$), характеризующий динамическую упругость резины.

Угол сдвига фаз φ – также называют углом потерь.

Следствием сдвига фаз между напряжением и деформацией является динамический гистерезис q , приводящий к механическим потерям и теплообразованию при циклическом нагружении. Механические потери пропорциональны углу сдвига фаз.

При негармоническом режиме нагружения для характеристики упруго-гистерезисных свойств используются дополнительные показатели: относительный гистерезис G и модуль внутреннего трения K .

Относительный гистерезис есть отношение механических потерь к полной энергии цикла. Модуль внутреннего трения определяется как удвоенное значение удельных механических потерь цикла при единичном значении амплитуды динамической деформации

При повышении температуры динамический модуль уменьшается. Повышение частоты деформации приводит к увеличению динамического модуля.

С повышением межмолекулярного взаимодействия уменьшается гибкость полимерных цепей, увеличивается время релаксации и возрастает модуль внутреннего трения и, как следствие, неравновесная составляющая динамического модуля.

Повышение плотности упаковки также приводит к увеличению динамического модуля, причем возрастает как равновесная, так и

неравновесная составляющие динамического модуля.

При кристаллизации резко уменьшается свободный объем и повышается жесткость резин. Это приводит к возрастанию динамического модуля прежде всего за счет его равновесной составляющей.

Молекулярная масса полимера мало влияет на динамический модуль. Несколько повышается равновесная составляющая за счет увеличения активной доли сетки в вулканизатах на основе высокомолекулярных каучуков.

Введение наполнителей повышает динамический модуль резин и его вещественную и мнимую составляющие. Это повышение тем значительнее, чем выше концентрация наполнителя в резине. При нормальном наполнении, т.е. когда образуется сплошная структура наполнителя, динамический модуль сдвига при малых деформациях примерно на два порядка выше, чем для ненаполненных резин.

При введении наполнителей, особенно активных, очень значительно повышается внутреннее трение и гистерезис резин, а следовательно, и мнимая составляющая комплексного динамического модуля.

Введение пластификаторов приводит к уменьшению модуля внутреннего трения.

Вопросы для самопроверки

1. Показатели используемые для количественной оценки упруго-гистерезисных свойств.
2. Графическое отображение связи между напряжением и деформацией при гармоническом режиме нагружения.
3. Относительный гистерезис и модуль внутреннего трения как дополнительные показатели для характеристики упруго-гистерезисных свойств при негармоническом режиме нагружения.
4. Что понимают под явлением динамической усталости резины?
5. Влияние условий нагружения на усталостную выносливость композитов.
6. Влияние структуры резины на динамическую выносливость вулканизатов.

Тема 2.4 ТРЕНИЕ И ИСТИРАНИЕ РЕЗИН [1, 2, 5-8, 12, 13, 16, 19-24]

Истирание (износ) полимерных материалов – разрушение поверхностного слоя материалов при трении.

Интенсивность износа I определяется обычно по скорости уменьшения объема V истираемой резины ($I = dV/dt$), зависящей от свойств трущихся материалов и от общей интенсивности трения. Свойство резины противостоять износу называется износостойкостью.

Для количественной оценки истираемости (либо износостойкости) пользуются различными показателями.

1) Истираемость (α) – отношение интенсивности истирания к интенсивности (мощности) трения.

2) Износостойкость (β) – работа трения, необходимая для истирания единицы объема испытуемой резины. Износостойкость есть величина, противоположная истираемости $\beta = 1/\alpha$.

3) Относительная износостойкость – отношение интенсивности истирания эталонной резины к интенсивности истирания испытуемой резины в тех же условиях испытания (%).

Простейшим видом износа является абразивный износ. Этот вид износа возникает при трении резины по шероховатым поверхностям при относительно высоком значении коэффициента трения. Характерным для абразивного износа является наличие на истертой поверхности резин параллельных полос (царапин), направление которых совпадает с направлением скольжения.

При истирании резины в условиях трения по относительно гладким поверхностям реализуется специфичный для высокоэластичных материалов, механизм истирания, названный износом посредством «скатывания». Этот вид износа реализуется при относительно высоком значении коэффициента трения между резиной и истирающей поверхностью.

В реальных условиях эксплуатации резиновых изделий преобладает наименее интенсивный вид износа, называемый усталостным износом. Это наиболее распространенный вид износа резин. Он реализуется при относительно небольшой силе трения между резиной и истирающей

поверхностью и при сравнительно невысоких контактных напряжениях на неровностях твердой шероховатой поверхности опоры. Разрушение поверхностного слоя резины в зоне контакта происходит в результате многократных деформаций.

В области малых скоростей скольжения интенсивность износа практически пропорциональна скорости.

Истираемость имеет высокие значения в области повышенных температур, затем уменьшается с понижением температуры, а затем снова повышается с приближением температуры испытания к температуре стеклования.

Вопросы для самопроверки

1. Понятие истирания (износа) полимерных материалов.
2. Виды взаимодействия тел при трении. Виды износа.
3. Влияние внешних факторов на износостойкость эластомерных композитов.
4. Влияние геометрии и теплофизических свойств истирающей поверхности на износостойкость вулканизатов.
5. Влияние полярности каучука на износостойкость резин. Особенности износа резин на основе смеси каучуков.
6. Влияние содержания и природы наполнителей на износостойкость вулканизатов.
7. Влияние структуры вулканизационной сетки на износостойкость резин.

Тема 2.5 СТОЙКОСТЬ РЕЗИН К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР [1, 2, 5-8, 12, 13, 16, 22-24]

Под старением понимают комплекс химических и физических процессов, приводящих к изменению свойств материала в неблагоприятном направлении, в результате чего снижается работоспособность резиновых изделий вплоть до выхода их из строя

Под теплостойкостью эластомеров и резин на их основе понимают способность сохранять свойства при длительном воздействии повышенных температур. От теплостойкости следует отличать температуростойкость – способность сохранять прочностные характеристики при повышении

температуры. При таких условиях необратимых химических изменений структуры каучуков и резин не происходит, а поэтому и изменения свойств носят обратимый характер.

Изменение свойств при длительном воздействии повышенных температур называют тепловым старением резин.

Количественной характеристикой теплостойкости (стойкости к тепловому старению) служит коэффициент теплостойкости, т.е. отношение показателей каких-либо механических свойств после старения к тем же показателям до старения.

Для оценки температуростойкости используют коэффициент температуростойкости – отношение прочностных характеристик при повышенных температурах к тем же показателям при нормальной температуре.

Термостойкость идеально построенных полимеров, не содержащих посторонних примесей, определяется энергиями связей в макромолекуле и их структурой.

Концентрация поперечных вулканизационных связей не может оказывать существенного влияния на различные виды старения резин на основе насыщенных каучуков. В резинах на основе ненасыщенных каучуков влияние концентрации поперечных связей должно проявляться более заметно, поскольку при вулканизации двойные связи расходуются и, следовательно, уменьшается концентрация активных по отношению к кислороду и термическим воздействиям центров. Во всех случаях наибольшая стойкость к старению наблюдается в оптимуме вулканизации, так как при очень больших концентрациях сшивок увеличивается неоднородность сеток, которая неблагоприятно сказывается на всех свойствах резин.

Технический углерод может как инициировать, так и ингибировать окислительные процессы. В невулканизованных каучуках технический углерод ведет себя как эффективный антиоксидант, причем сопротивление старению при повышенных температурах, как правило, возрастает по мере увеличения

его содержания. В случае вулканизатов технический углерод ускоряет процесс окисления под влиянием одних факторов и замедляет под влиянием других. Это зависит от вида каучука, соотношения между каучуком и техуглеродом, состава резины и условий старения.

Вопросы для самопроверки

1. Что называют тепловым старением резин?
2. Что служит количественной характеристикой теплостойкости?
3. Влияние структуры резин на теплостойкость.
4. Пути повышения стойкости резин к тепловому старению.

Тема 2.6 АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА РЕЗИН [1, 2, 5-9, 12, 15, 18, 19, 21-24]

Свойства сложных многослойных изделий в значительной степени зависят от адгезионных и когезионных свойств материалов, из которых они изготовлены.

Адгезия – связь между приведенными в контакт разнородными поверхностями. Адгезия обуславливается силами сцепления разнородных групп, находящихся в поверхностных слоях соприкасающихся тел.

Аутогезия – связь между приведенными в контакт однородными материалами. Аутогезия происходит в результате сил сцепления между однородными контактирующими атомами, молекулами, функциональными группами и т.д.

Когезией называется сцепление молекул, атомов, ионов вещества между собой в объеме тела за счет сил притяжения, природа этих сил может быть различна.

Адгезионная прочность характеризует способность адгезионного соединения сохранять свою целостность. Количественную характеристику этого свойства выражают сопротивлением разрушению адгезионного соединения по межфазной границе под действием усилий (напряжений отрыва,

отслаивания, сдвига, вырыва, кручения и т.д.). При измерении адгезионной прочности обычно пользуются удельными значениями величин, относя сопротивления разрушению к единице площади контакта (при отрыве, сдвиге, кручении, вырыве) или к единице ширины (при отслаивании и расслаивании).

При деформации многофазных материалов наблюдаются различные типы разрушения в зависимости от того, какое звено является слабым в системе: адгезионное (адгезив целиком отделяется от субстрата), когезионное (разрыв происходит по массиву адгезива или субстрата), смешанное (наблюдается частичное отделение адгезива от субстрата, частичное разрушение субстрата и частичное разрушение адгезива).

Адгезионный тип разрушения возникает тогда, когда адгезия тел, входящих в систему, меньше когезионной прочности. При когезионном разрушении когезия тел меньше адгезионного взаимодействия. Смешанный тип разрушения наступает в двух случаях: когда адгезионное и когезионное взаимодействие примерно одинаково; когда имеется волнистость, шероховатость или пористость контактирующих поверхностей. Этот тип разрушения характеризует наиболее благоприятное сочетание свойств фаз адгезива и субстрата.

В общем случае прочность связи между слоями будет выше, если каучуки в резиновых смесях содержат активные функциональные группы, способные к взаимодействию между собой.

Пластификаторы, снижая межмолекулярное взаимодействие и вязкость резиновых смесей, способствуют течению и облегчают слияние соединяемых слоев.

Для повышения адгезии резины к корду используются специальные адгезивы. Пленка адгезива, нанесенная на волокно, как правило, увеличивает микрошероховатость поверхности волокна, что должно привести к увеличению площади фактического контакта между резиновой смесью и кордом и как следствие этого – к повышению адгезионной прочности.

Для обеспечения высокой адгезионной прочности в системе резина-металл необходимо, чтобы упруго-жесткостные свойства резины приближались к соответствующим характеристикам металла (модуль упругости, твердость резин и др.).

Вопросы для самопроверки

1. Понятия адгезии, аутогезии и когезии.
2. Характер и механизм разрушения адгезионных соединений.
3. Особенности адгезии при соединении резиновых смесей с их последующей вулканизацией.
4. Факторы, определяющие адгезионную прочность соединения полимеров с волокнами.
5. Влияние реологических свойств резиновой смеси на прочность резинокордного композита.
6. Адгезионное взаимодействие в системе текстильный корд-адгезив. Структура граничных слоев.
7. Адгезионное взаимодействие в системе металл-адгезив. Структура граничных слоев.

3 КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Выполнение контрольной работы обеспечивает закрепление и углубление теоретических знаний, полученных в процессе самостоятельной работы студента с литературой.

Контрольное задание содержит три теоретических вопроса, связанных с закономерностями изменения основных свойств эластомерных композиционных материалов в зависимости от особенностей их структуры. В тексте ответа следует ссылаться на источники, которыми пользовались при ответе на данный вопрос. В конце контрольного задания обязательно указать список используемой литературы.

Вариант № 1

1. Основные параметры структуры эластомерных композиций и методы их определения.

2. Влияние дисперсности, структурности и состояния поверхности технического углерода на формирование структуры наполненной резины.

3. Влияние полярности каучука на термоокислительную устойчивость вулканизатов в различных режимах нагружения.

Вариант № 2

1. Основные параметры структуры каучук-олигомерных композиций и методы их определения.

2. Влияние структурных параметров и степени активности дисперсных минеральных наполнителей на формирование структуры наполненной резины.

3. Влияние структуры вулканизационной сетки на термоокислительную устойчивость вулканизатов в различных режимах нагружения.

Вариант № 3

1. Влияние молекулярной массы и молекулярно-массового распределения каучука на реологические свойства резиновых смесей.

2. Основные требования к усиливающим наполнителям. Приемы и способы повышения интенсивности взаимодействия наполнителей с каучуком.

3. Влияние типа и содержания усиливающих наполнителей на термоокислительную устойчивость вулканизатов в различных режимах нагружения.

Вариант № 4

1. Влияние молекулярной массы и молекулярно-массового распределения каучука на упруго-прочностные свойства эластомерных композиционных материалов.

2. Влияние физико-химических свойств дисперсных единиц технического углерода на процессы вулканизации эластомерных композиций.

3. Влияние полярности каучука к действию разнополярных агрессивных сред.

Вариант № 5

1. Особенности формирования и строения вулканизационной сетки при использовании перекисных вулканизирующих систем в композитах на основе каучуков общего и специального назначения.

2. Современные представления о механизме усиления каучуков дисперсными наполнителями (техническим углеродом).

3. Влияние природы и содержания пластификаторов на устойчивость резин к действию жидких агрессивных сред.

Вариант № 6

1. Особенности формирования и строения вулканизационной сетки при использовании серных вулканизирующих систем в системах на основе каучуков общего и специального назначения.

2. Современные представления о механизме пластификации каучуков низко- и высокомолекулярными соединениями.

3. Стойкость резин к жидким агрессивным средам. Влияние типа и содержания дисперсных наполнителей на устойчивость резин к действию жидких агрессивных сред.

Вариант № 7

1. Тип и энергия межмолекулярных вулканизационных связей. Характер распределения поперечных связей в вулканизатах на основе каучуков общего и специального назначения.

2. Теоретическая и реальная прочность полимеров и композитов на их основе. Причины расхождения теоретической и реальной прочности.

3. Влияние структуры каучука на низкотемпературных характеристики эластомерных композиций.

Вариант № 8

1. Степень сшивания вулканизатов и активная доля вулканизационной сетки. Факторы, влияющие на степень сшивания эластомерных композиционных материалов.

2. Влияние природы и концентрации пластификаторов на технологические свойства резин на основе каучуков общего и специального назначения.

3. Износостойкость резин. Механизмы истирания. Влияние типа и концентрации наполнителей на износостойкость эластомерных композиционных материалов.

Вариант № 9

1. Особенности структуры смесей эластомеров.

2. Влияние природы и концентрации пластификаторов на упруго-прочностные свойства резин.

3. Износостойкость резин. Механизмы истирания. Влияние полярности каучука и топологии вулканизационной сетки на износостойкость эластомерных композиционных материалов.

Вариант № 10

1. Особенности образования и строения вулканизационной сетки в смесях полимер-полимер и полимер-олигомер.

2. Факторы, влияющие на прочность связи текстильный корд – эластомерная композиция и металлокорд – эластомерная композиция.

3. Влияние содержания и полярности пластификаторов на низкотемпературные характеристики эластомерных композиций на основе каучуков общего и специального назначения.

Вариант № 11

1. Особенности образования и строения вулканизационной сетки в смесях полимер-полимер, полимер-олигомер.

2. Факторы, влияющие на прочность связи металлокорд – эластомерная композиция.

3. Влияние типа и содержания дисперсных наполнителей на низкотемпературные характеристики эластомерных композиций на основе каучуков общего и специального назначения.

Вариант № 12

1. Основные процессы, происходящие при химической модификации резин. Влияние их на структуру эластомерных композиций.

2. Влияние природы и концентрации пластификаторов на упруго-прочностные свойства эластомерных композиций.

3. Гистерезисные свойства эластомерных композиций. Влияние структуры каучука и топологии вулканизационной сетки на динамическую усталостную выносливость вулканизатов.

Вариант № 13

1. Сравнительная характеристика молекулярного строения эластомеров и олигомеров.

2. Факторы, влияющие на прочность связи резины с текстильными материалами. Прочность в дублированных резинокордных композитах.

3. Упруго-гистерезисные свойства резин. Влияние наполнителей и пластификаторов на динамическую усталостную выносливость вулканизатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Список основной литературы, необходимой при изучении предмета:

1. Тагер, А.А. Физико-химия полимеров [текст] : учебное пособие для хим. фак. Университетов / А.А. Тагер; А.А. Аскадский [под ред.] – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Научный мир, 2007. – 573с.

2. Жовнер, Н.А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров [Текст] : учебное пособие / Н.А. Жовнер, Н.В. Чиркова, Г.А. Хлебов. – Киров : ВятГУ, Омск. Филиал РосЗИТЛП, 2003. – 276 с.

Дополнительная литература:

3. Большой справочник резинщика. Ч. 1. Каучуки и ингредиенты [Текст] / С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозов [под ред.]. – М. : ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. – 744 с.

4. Большой справочник резинщика. Ч. 2. Резины и резино-технические изделия [Текст] / С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозов [под ред.]. – М. : ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. – 648 с.

5. Шутилин, Ю.Ф. Физико-химия полимеров [Текст] : монография / Ю.Ф. Шутилин. – Воронеж : Воронеж. гос. технол. акад, 2012. – 839 с.

6. Куперман, Ф.Е. Новые каучуки для шин. Растворные каучуки с повышенным содержанием винильных звеньев, альтернативные эмульсионному БСК. Транс-полимеры и сополимеры изопрена и бутадиена [Текст] / Ф.Е. Куперман. – М. : ООО НТЦ НИИШП, 2011. – 367 с.

7. Куперман, Ф.Е. Новые каучуки для шин. Натуральный каучук, синтетические стереорегулярные изопреновые и бутадиеновые каучуки, структура, свойства, применение [Текст] / Ф.Е. Куперман. – М. : НТЦ НИИШП, 2009. – 606 с.

8. Пичугин, А.М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин [Текст] / А.М. Пичугин. – М. : Машиностроение, 2008. – 383 с.

9. Шмурак, И.Л. Шинный корд и технология его обработки [Текст] / И.Л. Шмурак. – М. : НТЦ «НИИШП», 2007. – 220 с
10. Новаков, И.А. Реологические и вулканизационные свойства эластомерных композиций [Текст] / И.А. Новаков, С.И. Вольфсон, О.М. Новопольцева, М.А. Кракшин – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 332 с.
11. Вострокнутов, Е.Г. Переработка каучуков и резиновых смесей (реологические основы, технология, оборудование) [Текст] / Е.Г. Вострокнутов, М.И. Новиков, В.И. Новиков, Н.В. Прозоровская. – М. : Химия, 2005. – 369 с.
12. Тугорский, И.А. Химическая модификация эластомеров [Текст] / И.А. Тугорский, Е.Э. Потапов, А.Г. Шварц. – М.: Химия, 1993. – 304 с.
13. Бартнев Г.М. Релаксационные свойства полимеров [Текст] / Г.М. Бартнев, А.Г. Бартнева – М. :Химия, 1992. – 384 с.
14. Бухина, М.Ф. Морозостойкость эластомеров [Текст] / М.Ф. Бухина, С.К. Курлянд. – М.: Химия, 1989. – 176 с.
15. Донцов, А.А. Каучук-олигомерные композиции в производстве резиновых изделий [Текст] / А.А. Донцов, А.А. Канаузова, Т.В. Литвинова. – М.: Химия, 1986. – 216 с.
16. Бартнев, Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров. [Текст] / Г.М. Бартнев. – М.: Химия, 1984. – 280 с.
17. Козлов, П.В. Физико-химические основы пластификации полимеров [Текст] / П.В. Козлов, С.П. Папков. – М.: Химия, 1982. – 224 с.
18. Басин, В.Е. Адгезионная прочность [Текст] / В.Е. Басин. – М.: Химия, 1981. – 208 с.
19. Кулезнев, В.Н. Смеси полимеров [Текст] / В.Н. Кулезнев. – М.: Химия, 1980. – 304 с.
20. Бродский, Г.И. Истирание резин [Текст] / Г.И. Бродский, В.Ф. Евстратов, Н.Л. Сахновский, Л.Д. Слюдиков. – М.: Химия, 1975. – 240 с.
21. Усиление эластомеров [Текст] / Дж. Краус [под ред.]. – М.: Химия, 1968. – 484 с.

22. Журнал «Каучук и резина» (1965-2015 гг.).

Методическая литература:

23. Гончаров, В.М. Технологические и технические свойства резин [Текст] : учебное пособие / В.М. Гончаров [и др.]. – Красноярск : СибГТУ, 2000. – 216 с.

24. Гончаров, В.М. Структура и свойства резины [Текст] : методические указания и контрольные задания для студентов специальности 250602 всех форм обучения / В.М. Гончаров, М.А. Худолей. – Красноярск : СибГТУ, 2005. – 16 с.

Приложение А
(Обязательное)

Образец оформления титульного листа для контрольной работы

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный технологический университет»

Кафедра химической технологии твердых ракетных топлив, нефтепродуктов и
полимерных композиций

Контрольная работа

по курсу «СТРУКТУРА И СВОЙСТВА РЕЗИН»

Вариант № __

Выполнил:
студент гр. _____

(ФИО)

Проверил:

(ФИО)

Красноярск, 20__

Приложение Б

(Справочное)

Перечень ключевых слов

1. Адгезия
2. Амплитуда деформации, напряжения
3. Армирующие материалы
4. Вальцевание
5. Восстанавливаемость
6. Вулканизационная сетка
7. Вулканизирующие вещества
8. Высокоэластичность
9. Вязкость
10. Гистерезисные потери
11. Деструкция каучука
12. Деформация
13. Динамическая выносливость
14. Дисперсность наполнителей
15. Износ (износостойкость)
16. Истираемость
17. Каучуки общего и специального назначения
18. Когезионная прочность смесей
19. Кристаллизация каучуков
20. Мягчители (пластификаторы)
21. Модуль (статический, динамический)
22. Набухание резин
23. Наполнители
24. Оптимум вулканизации
25. Параметры растворимости (каучуков, пластификаторов)
26. Пластичность
27. Противостарители
28. Прочность вулканизатов
29. Совмещение каучуков
30. Совулканизация
31. Стабилизаторы
32. Старение (атмосферное, озонное, тепловое и др.)
33. Структурирование
34. Температура (стеклования, кристаллизации, хрупкости)
35. Технический углерод
36. Трение резины
37. Усиление каучуков
38. Ускорители вулканизации
39. Усталостная выносливость
40. Эластичность

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Общие методические указания.....	5
2. Содержание курса «Структура и свойства резин».....	6
Модуль I Структура резин.....	6
Модуль II Основные свойства резины и влияние состава и структуры на свойства.....	17
3. Контрольная работа.....	28
Библиографический список.....	33
Приложение А (Обязательное) Образец оформления титульного листа для контрольной работы.....	36
Приложение Б (справочное) Перечень ключевых слов.....	37

Василий Дмитриевич Ворончихин

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА РЕЗИН

Методические указания и контрольные задания для студентов специальности
18.03.01 для очной и заочной форм обучения

Отв. редактор Д.В. Ершов

Авторская редакция

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16. Изд. №

Усл. печ. л. . Заказ № . Тираж экз.

Лицензия ЛР № 02034620.01.97

Редакционно-издательский отдел СибГТУ

660049, Красноярск, пр. Мира, 82 Тип. СибГТУ