

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Ж. С. Шашок, А. В. Касперович

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛАСТОМЕРОВ

**Лабораторный практикум по одноименному курсу
для студентов специальности 1-48 01 02
«Химическая технология органических веществ,
материалов и изделий» специализации 1-48 01 02 05
«Технология переработки эластомеров»**

В 2-х частях

Часть 2

Минск 2006

УДК 678.074(076.5)

ББК 35.728я7

ШЗ2

Рассмотрен и рекомендован к изданию редакционно-издательским советом университета

Рецензенты:

заведующий кафедрой высокомолекулярных соединений БГУ
профессор, доктор химических наук *Л. П. Круль*;
декан физического факультета БГПУ им. Максима Танка профессор,
доктор физико-математических наук *И.С. Ташлыков*

Шашок, Ж. С.

ШЗ2 Технология эластомеров. В 2 ч. Ч.2: лаб. практикум для студентов специальности 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров» / Ж. С. Шашок, А. В. Касперович. – Мн.: БГТУ, 2006. – 67 с.

ISBN 985-434-636-6

Первая часть лабораторного практикума «Технология эластомеров» авторов Борзенковой А. Я. и Кудиновой Г. Д. вышла в свет в 2000 г. Во второй части лабораторного практикума приведены методики определения пластозластических свойств эластомерных композиций, а также методики, связанные с определением широкого спектра физико-механических свойств эластомеров. Лабораторные работы сопровождаются краткими теоретическими сведениями, контрольными вопросами и заданиями.

УДК 678.074(076.5)

ББК 35.728я7

ISBN 985-434-097-X
ISBN 985-434-636-6 (Ч.2)

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2006

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторный практикум по курсу «Технология эластомеров» студенты осваивают на четвертом курсе, базируясь на знаниях, полученных при изучении химии и физики полимеров, теоретических основ переработки полимеров, технологии эластомеров и других инженерных дисциплин.

В первой части лабораторного практикума, изданного в 2000 году, содержатся методики работ по изготовлению резиновых смесей на лабораторных вальцах и расчету рецептов резиновых смесей, вулканизации в гидравлическом прессе, а также методики по определению основных физико-механических и прочностных показателей резин.

Во второй части лабораторного практикума приведены методики выполнения работ с использованием современного оборудования (реометра ODR 2000, вискозиметра MV 2000), что позволит студентам ориентироваться в вопросах пластоэластических свойств смесей и кинетики вулканизации в условиях производства, так как именно данное оборудование в настоящее время используется взамен устаревшего на заводах резиновой промышленности.

Данный практикум содержит методики выполнения работ по определению показателей резин, характеризующих их долговечность при циклических нагрузках, истирании, низких температурах, а также при воздействии различных немеханических факторов. В каждой главе содержатся теоретическая часть, методика выполнения работы и расчетов, контрольные вопросы.

Перед выполнением лабораторной работы студенты должны ознакомиться с теорией, устройством оборудования или прибора, методикой выполнения работы и необходимых расчетов, а также с правилами техники безопасности и охраны труда. По окончании работы студенты должны оформить отчет в лабораторном журнале.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Резиновые изделия высокого качества с заданным комплексом эксплуатационных свойств могут быть получены только из смесей, соответствующих требованиям технологического регламента. С целью предотвращения использования в производстве резиновых смесей с отклонением от требований нормативно-технической документации все изготовленные смеси подлежат контролю.

Для контроля качества резиновых смесей используют методы, требующие непродолжительного времени для их осуществления, поэтому такой контроль называется экспресс-контролем. Выбор метода контроля определяется характером работы подготовительного производства. На предприятиях с прерывным циклом работы предусмотрено хранение смесей на промежуточных складах в течение нескольких часов или суток. В этом случае определяют: пластичность, плотность вулканизата или резиновой смеси, кольцевой модуль упругости, вулканизационные характеристики.

Резиновая смесь должна обеспечивать резине заданные эксплуатационные свойства и при этом быть технологичной при переработке.

Пластоэластические свойства резиновых смесей характеризуют их поведение при формовании заготовок перед вулканизацией. Они влияют на производительность технологического процесса и качество готовой продукции. Литьевые свойства резиновой смеси зависят от ее состава, типа смесительного оборудования, точности соблюдения режима смешения, т.е. они характеризуются степенью механического воздействия на каучук и степенью диспергирования ингредиентов.

Вязкость перерабатываемого материала определяет динамику процесса переработки, т.е. служит мерой усилия, которое необходимо приложить к материалу для осуществления течения его с заданной скоростью на той или иной стадии процесса. Существуют предельные значения вязкости, при которых переработка резиновой смеси становится не только экономически неэффективной, но и технически невозможной. Вязкость резиновых смесей, представляющих собой неньютоновские жидкости (псевдопластики), не является физической константой материала, она зависит от напряжения сдвига, а, следовательно, и от скорости деформации. Так как для каучуков и резиновых смесей вязкость не является постоянной величиной, а зависит от условий деформирования, то для объяснения вязкотекучих свойств нередко пользуются понятием эффективной вязкости, т.е. вязкостью при

данных условиях деформирования.

Вязкость резиновой смеси для постоянной скорости деформации сдвига при изменении температуры от +25 до +200°C изменяется в 10 раз, поэтому вязкость резиновой смеси необходимо определять в интервале температур, охватывающем ее значения на различных стадиях процесса изготовления резиновых изделий.

Вязкость резиновой смеси измеряют с помощью капиллярной и ротационной вискозиметрии, пластометрии, динамических методов.

При определении реологических свойств полимеров с использованием ротационной вискозиметрии образец материала подвергается сдвигу с постоянной скоростью в тонком кольцевом слое. Вращающий момент, возникающий в образце, пропорционален вязкости полимера. В этих приборах сдвиговые деформации испытуемого материала, находящегося под давлением в закрытой цилиндрической камере (форме), вызываются вращением цилиндрического диска (ротора), помещенного в центре образца.

Самыми распространенными приборами этого типа, применяемыми в резиновой промышленности для испытания каучуков и резиновых смесей, являются вискозиметры Муни. При испытании, согласно ГОСТ 10722–84, на дисковом ротационном вискозиметре определяют зависимости вращающего момента от времени. Результаты испытаний выражают в единицах вязкости по Муни. За единицу вязкости Муни принят момент сопротивления сдвигу M , равный 0,083 Н·м. Скорость сдвига материала при этих условиях составляет около $1,5 \text{ с}^{-1}$.

Вискозиметр Муни – это ротационный вискозиметр дискового типа, работающий в режиме постоянной скорости сдвига и позволяющий определить вязкость материала, величина которой изменяется от 10^6 до 10^{10} пуаз. Испытательная камера прибора состоит из двух обогреваемых цилиндрических полуформ, закрепленных соответственно в двух плоскопараллельных плитах, и ротора, представляющего собой стержень с дисковой головкой (рис.1). На плоскостях и боковых поверхностях цилиндрических полуформ и дисковой головке ротора нанесены насечки с целью устранения проскальзывания. Прибор оснащен большим и малым роторами. Диаметр дисковой головки большого ротора 38,1 мм, малого – 30,48 мм.

Факторы, влияющие на вязкость резиновых смесей. Основными внешними факторами, влияющими на вязкость резиновых смесей, яв-

ляются температура и скорость сдвига.

При проведении экспериментов на вискозиметре Муни температурный режим обычно варьируется в интервале 100–150°C. С ростом температуры также, как и при увеличении скорости сдвига, вязкость эластомеров и резиновых смесей заметно снижается.

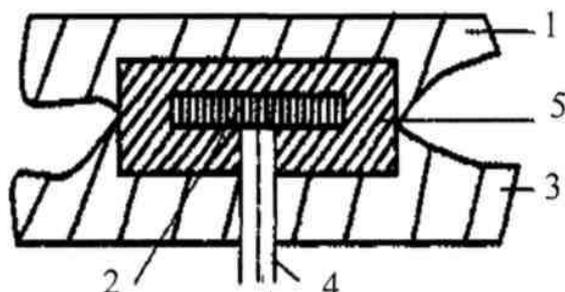


Рис. 1. Схема рабочих органов вискозиметра Муни:

1 – верхняя цилиндрическая полуформа; 2 – дисковая головка ротора; 3 – нижняя цилиндрическая форма; 4 – стержень ротора; 5 – испытуемый образец каучука или резиновой смеси

и бутадиен-нитрильные каучуки, даже при отсутствии сшивающих агентов имеют тенденцию к сшиванию при повышенных температурах и скоростях сдвига.

Механизм элементарного акта течения, который связан с размером молекулярно-кинетических единиц – сегментов цепи, также, как и значение энергии активации вязкого течения, не зависит от длины макромолекулы. Однако на абсолютные значения вязкости молекулярная масса влияет существенно, поскольку для обратимого перемещения макромолекулы в целом необходимо, чтобы произошло смещение ее центра тяжести путем независимых перемещений сегментов молекулярной цепи. Вязкость полимеров, кроме того, зависит от разветвленности макромолекулы. Как правило, разветвленность снижает вязкость при той же молекулярной массе полимера, если только длина боковых ответвлений несопоставима с длиной основной цепи. При нарушении регулярности строения цепи наблюдается повышение вязкости полимеров.

Дозировки и тип технического углерода оказывают значительное влияние на рост вязкости резиновых смесей. Существенное влияние на рост вязкости смесей оказывает структурность технического углерода. Чем больше его структурность, тем выше вязкость резино-

Большое влияние на показатели вязкости оказывают природа испытуемого эластомера и его молекулярные характеристики: молекулярная масса, молекулярно-массовое распределение, наличие количества геля, способность к пластификации. Необходимо также учитывать, что некоторые каучуки, такие как БСК

вой смеси. При этом структурный техуглерод заметно уменьшает эластичность смеси, о чем свидетельствует снижение разбухания смеси по выходе из мундштука шприц-машины (экструдера). Удельная геометрическая поверхность технического углерода также влияет на вязкость смеси: чем меньше размер частиц при равном наполнении, тем выше вязкость. Пластификаторы, в зависимости от влияния на свойства полимеров, подразделяются на две группы: хорошо совместимые с каучуком и понижающие температуру стеклования – собственно пластификаторы и облегчающие переработку и снижающие вязкость мягчители. С увеличением дозировки обоих типов пластификаторов вязкость резиновых смесей постоянно снижается. Большое влияние на снижение вязкости резиновых смесей оказывает степень совместимости пластификатора и полимера, причем большее снижение вязкости наблюдается при меньшей совместимости полимера с пластификатором.

Таким образом, текучесть полимеров (пластичность) тем выше, чем меньше их молекулярная масса, чем больше введено в них пластификатора, чем выше температура переработки, и тем ниже, чем больше наполнение полимеров техническим углеродом или другими наполнителями.

Устойчивость резиновых смесей к подвулканизации зависит от типа применяемой вулканизирующей системы. Стабильность вулканизирующих систем, в которых вулканизирующим агентом является сера, определяется, главным образом, типом применяемых ускорителей. Влияние последних на подвулканизацию уменьшается в следующем ряду: ксантогенаты > дитиокарбоматы > тиурамы > смесь меркаптобензтиазола (каптакса) с дифенилгуанидином > смесь дибензтиазолилдисульфида (альтакса) с дифенилгуанидином > дифенилгуанидин > дибензтиазолилдисульфид > сульфенамидные производные меркаптобензтиазола.

Большое влияние на подвулканизацию оказывает технический углерод. С одной стороны, снижение устойчивости к подвулканизации обусловлено повышением вязкости резиновых смесей при введении в композиции технического углерода, с другой – физико-химическими свойствами последнего. Так, например, склонность к подвулканизации возрастает при введении технического углерода, имеющего высокие значения рН водной суспензии. При низких значениях рН технического углерода склонность к подвулканизации воз-

растает с увеличением структурности (масляного числа) и степени дисперсности (удельной геометрической поверхности). Высокая дисперсность технического углерода, как и высокая степень наполнения, обуславливает повышенное теплообразование в резиновых смесях при их переработке, что увеличивает опасность преждевременной подвулканизации.

Внедрение высокоскоростных и высокотемпературных процессов производства резиновых смесей и изделий непосредственно связано с проблемой их защиты от преждевременной подвулканизации. Одним из путей решения этой проблемы является введение в состав композиций замедлителей подвулканизации, так называемых анти-скорчингов. К замедлителям преждевременной подвулканизации относятся органические кислоты, их ангидриды и соли, производные тиофтальмида, а также некоторые галогенсодержащие нитрозосоединения.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ И СКЛОННОСТИ К ПРЕЖДЕВРЕМЕННОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ НА ВИСКОЗИМЕТРЕ МУНИ MV 2000

Цель работы: определить вязкость резиновой смеси и ее склонность к преждевременной вулканизации.

Оборудование и материалы: вискозиметр Муни MV 2000, образец резиновой смеси, вырубной пресс, штанцевый нож.

Определение вязкости резиновых смесей и их склонности к преждевременной вулканизации на ротационном вискозиметре проводится согласно ГОСТ 10722–84.

Определение вязкости и перепада вязкости по Муни

Порядок проведения работы

Образцы для испытания должны состоять из двух дисков, которые вырубает штанцевым круглым ножом. Масса образцов должна быть не менее 25 г. Один из дисков одевается на ротор, а второй накладывается на внешнюю поверхность ротора. Ротор помещается в прибор – и полуформы смыкаются.

Перед проведением испытания, после смыкания полуформ об-

разец выдерживается под давлением и при заданной температуре в течение одной минуты, после чего включается привод ротора. Отсчет вязкости по Муни производится на четвертой минуте после включения привода. Определение вязкости каучуков и резиновых смесей производится при 100°C. После окончания испытания полуформы автоматически размыкаются.

Оформление результатов испытания

Усилие, необходимое для вращения диска, посредством которого в образце возникает вращающий момент (напряжение сдвига), пропорционально вязкости образца. Вращающий момент, равный 8,5 Н·м, соответствует 100 ед. вязкости Муни.

Вискозиметр MV 2000 позволяет получить на одном бланке как графическую, так и цифровую информацию. В вискозиметрах этого типа калибровка прибора производится автоматически с помощью микропроцессоров.

Типичная кривая зависимости вязкости по Муни от продолжительности испытания при постоянной температуре представлена на рис. 2.

Для выражения результатов измерения вязкости по Муни указываются условия проведения испытания.

Пример записи испытания:

$M_L50(1+4)100^\circ\text{C}$,

где 50 – величина вязкости в единицах по Муни; L – большой ротор (S – малый ротор); t – время прогрева, 1 мин; 4 – время снятия показания прибора после пуска ротора, 4 мин.

По окончании испытания, исходя из полученных данных, результаты заносят в табл.1.

Таблица 1

Результаты испытания резиновой смеси на вискозиметре MV 2000

Шифр резиновой смеси	Номер образца	Начальная вязкость резиновой смеси, ед. Муни, (Unit)	Вязкость резиновой смеси, ед. Муни, M_L

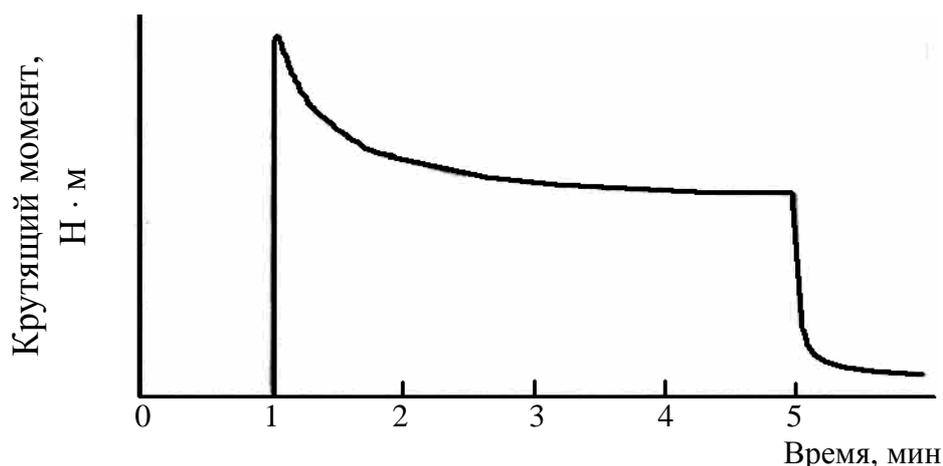


Рис. 2. Типичная кривая изменения вязкости резиновой смеси в процессе испытания на вискозиметре Муни

Определение склонности резиновых смесей к преждевременной вулканизации

Подвулканизация – это необратимое изменение пластоэластических свойств резиновых смесей в процессе их изготовления и дальнейшей переработки (вальцевании, каландровании, шприцевании) или хранения.

Порядок проведения работы

Образцы по определению склонности резиновых смесей к подвулканизации имеют такую же форму и массу, как и для определения вязкости по Муни (см. п.1.1.) На приборе устанавливается необходимый режим испытания. Ротор с образцами резиновой смеси помещается в прибор, и полуформы смыкаются. После окончания испытания полуформы автоматически размыкаются.

Оформление результатов испытания

За показатель устойчивости резиновых смесей к подвулканизации принимается время (t_5 , мин), за которое вязкость по Муни (М) превысит минимальную вязкость на 5 единиц. Чем больше значение t_5 , тем выше устойчивость резиновой смеси к подвулканизации (рис. 3). По окончании испытания, исходя из полученных данных, результаты заносят в табл. 2.

Склонность резиновой смеси к подвулканизации на вискозиметре Муни определяется обычно при 100–150°C (чаще всего при 120 или 130°C).

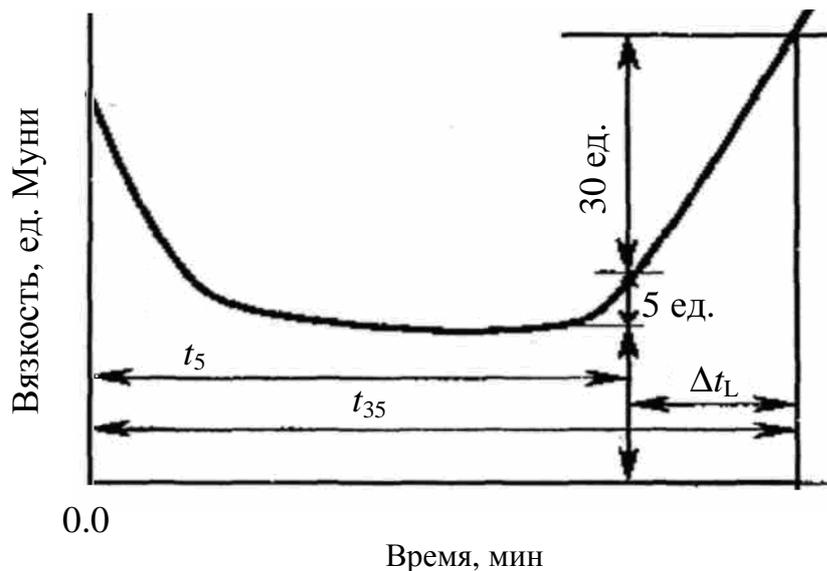


Рис.3. Кривая изменения вязкости резиновой смеси при определении склонности к преждевременной вулканизации

Таблица 2

Результаты испытания на вискозиметре MV 2000 по определению склонности резиновой смеси к преждевременной вулканизации

Номер образца	Начальная вязкость по Муни M_n , ед. Муни	Время подвулканизации t_5 , мин	Время (от начала испытания), за которое вязкость по Муни достигает величины на 35 единиц выше минимального значения t_{35} , мин

Из кривой зависимости $M = (t)$ снимают следующие показатели, характеризующие свойства резиновой смеси:

M_n – начальная вязкость по Муни; t_5 – время подвулканизации; Δt_L – показатель скорости подвулканизации; t_{35} – время (от начала испытания), за которое вязкость по Муни достигает величины на 35 единиц выше минимального значения.

Контрольные вопросы

1. Влияние вязкости каучука и резиновых смесей на процесс их переработки. Факторы, влияющие на вязкость резиновой смеси.
2. Определение вязкости резиновой смеси на вискозиметре Муни.

2. ВУЛКАНИЗАЦИЯ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Вулканизация – технологический процесс, при котором пластичный каучук или резиновая смесь превращается в резину. При вулканизации происходит изменение ряда свойств материала: исчезает способность к самопроизвольному растворению в растворителях, появляется способность к ограниченному набуханию, повышаются условные напряжения при заданных удлинениях, прочность при растяжении, эластичность, твердость, теплостойкость, износостойкость.

Вулканизация – это комплекс физико-химических процессов, протекающих в резиновой смеси, основным из которых является сшивание (сшивание) макромолекул каучука химическими связями различной энергии и природы в единую пространственную вулканизационную сетку. Образующиеся сшивки ограничивают необратимое перемещение цепных молекул, т.е. уменьшают текучесть (пластическую деформацию), а достаточно большая длина макромолекул между связями позволяет сохранить способность к изменению конформаций под действием внешней нагрузки (высокоэластические свойства).

Наряду с сшиванием при вулканизации протекают окисление макромолекул, их циклизация, цис-транс-изомеризация, разветвление, внутримолекулярное присоединение фрагментов вулканизирующего агента или ускорителей и др. Развитие этих процессов определяется условиями вулканизации (температурой и продолжительностью) и составом резиновой смеси. Вулканизация сопровождается изменением молекулярно-массового распределения каучука, повышением уровня межмолекулярного взаимодействия за счет изменения полярности отдельных участков цепи и образованием сетки химических связей (ковалентных, ионных, координационных). Кинетика вулканизации описывается S-образной кривой (рис.4), на которой можно выделить четыре участка.

Участок I – индукционный период – соответствует времени, в течение которого при температуре вулканизации не наблюдается сколько-нибудь заметного сшивания. Его продолжительность определяется химической активностью каучука, природой вулканизирующей группы (в случае вулканизации серой – природой ускорителя), содержанием и активностью наполнителей.

Участок II – период, соответствующий поперечному сшиванию; скорость сшивания зависит от температуры и состава резиновой смеси природы каучука, вулканизирующей группы, наполнителя).

На этой стадии происходит формирование вулканизационной структуры.

Участок III - оптимум вулканизации - состояние резины, соответствующее наименьшему времени, в течение которого достигаются наилучшие свойства.

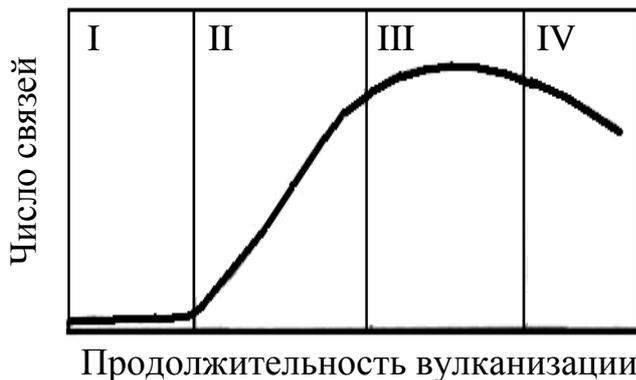


Рис. 4. Кинетическая кривая вулканизации

В этот период сетка уже сформирована. Продолжительность его (плато вулканизации) зависит от химической стойкости каучука и сетки к термоокислению и вероятности развития побочных процессов (циклизации, изомеризации и др.)

Участок IV — перевулканизация. На этой стадии преобладают процессы окисления, деструкции и др. Для многих синтетических каучуков, склонных при окислении к структурированию, могут повышаться концентрация поперечных связей и напряжения при заданном удлинении (модули), а для натурального и синтетического полиизопренового, склонных к деструкции при окислении, перевулканизация сопровождается уменьшением степени сшивания и модулей (реверсия вулканизации).

Перевулканизация является нежелательным процессом, приводящим к ухудшению ряда механических свойств, в частности прочностных. Уменьшение прочности объясняется снижением способности макромолекул к ориентации вследствие нарушения регулярности цепи (циклизация, деструкция, разветвление и др.), уменьшения молекулярной массы между сшивками и потери способности макромолекул к изменению конформаций, а в случае вулканизации серой — вследствие распада полисульфидных связей.

Для измерения кинетики вулканизации существуют различные химические и физические методы.

Химические методы позволяют оценить кинетику вулканизации по расходу агента вулканизации или отдельных компонентов вулканизирующей группы, например по расходу серы и ускорителей, по изменению числа поперечных связей, по изменению структуры каучука.

Физические методы основаны на определении физико-механических свойств образцов, изготовленных в течение различных

времен вулканизации. В особую группу можно выделить динамические методы, в основе которых лежит определение момента сопротивления деформированию образца при знакопеременных сдвиговых деформациях при сравнительно малых амплитудах в широком диапазоне изменения частот колебания.

В процессе вулканизации резиновых смесей ряд свойств изменяется по кинетическим кривым с экстремальными точками (рис. 5). Для многих свойств значения максимумов и минимумов достигаются за одно и то же время.

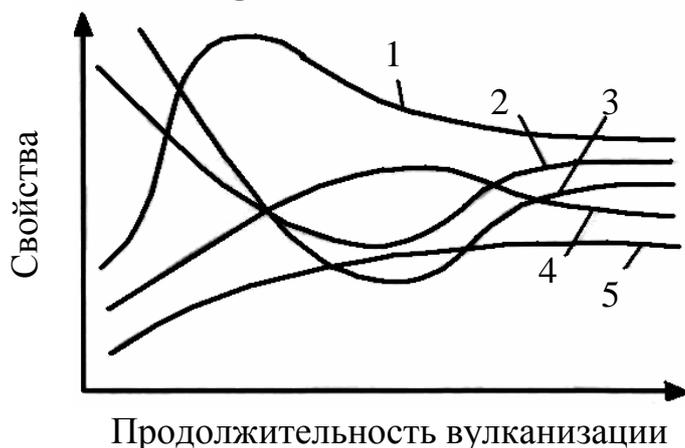


Рис. 5. Изменение свойств резиновых смесей в процессе вулканизации:

1 – условная прочность при растяжении; 2 – относительное удлинение при разрыве; 3 – набухание в растворителе; 4 – эластичность; 5 – твердость

Оптимальное время вулканизации может быть определено по изменению физико-механических свойств резин, свулканизованных в течение различного периода времени. Сущность метода определения вулканизационных характеристик с помощью сдвигового вибрационного реометра заключается в измерении крутящего

момента при сдвиговой деформации образца резиновой смеси, вызываемой колебаниями ротора с биконическим диском с определенной частотой и амплитудой при заданной температуре (обычно температуре вулканизации).

При проведении испытания на вибрационном реометре материал подвергается постоянным знакопеременным сдвиговым деформациям, что позволяет записать в процессе испытания одного образца непрерывную кривую изменения свойств материала, отражающую не только изменение пластоэластических характеристик резиновой смеси, но и ее вулканизационные характеристики. Определение вулканизационных характеристик резиновых смесей методом вибрационной реометрии стандартизовано.

Биконический диск (ротор) совершает колебательное движение в рабочей камере. Рабочая камера образована полуформами (рис. 6).

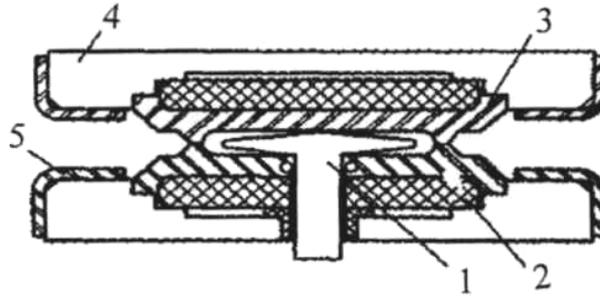


Рис. 6. Схема рабочих органов реометра:

1 – ротор (диск); 2 – нагреватель; 3 – полуформа; 4 – изолятор; 5 – кожух

На диаграмме регистрирующего устройства фиксируется в виде непрерывной кривой изменение сдвигового момента M в процессе прогрева и вулканизации резиновой смеси. Образец резиновой смеси должен полностью охватывать диск. На протяжении всего испытания образец находится под давлением. Стандартное давление воздуха на плунжере составляет 3,5 МПа, что обеспечивает давление внутри полости рабочей камеры около 42–56 МПа. Колебание диска осуществляется в пределах ± 1 , ± 3 или $\pm 5^\circ$.

В результате испытания одного образца из реометрической кривой может быть извлечена обширная информация, дающая представление о свойствах сырой резиновой смеси, о кинетике процесса вулканизации и, в некоторой степени, о свойствах вулканизатов (рис. 7). Геометрическую кривую условно можно разделить на три области. Область А характеризует вязкость резиновой смеси, область В – процесс вулканизации и скорость его протекания, область С – физические свойства вулканизатов (твердость, модуль, плотность сшивки). Для оценки технологических и вулканизационных свойств резиновых смесей используется, прежде всего, основная реометрическая кривая, дающая информацию о продолжительности индукционного периода вулканизации, продолжительности вулканизации до достижения оптимума, плато вулканизации. В приборах нового поколения эта информация выдается как в графическом, так и математически обработанном – цифровом виде. Кроме основной информации, из результатов реометрических испытаний могут быть извлечены и дополнительные данные, позволяющие более полно охарактеризовать и прогнозировать технологические свойства резиновых смесей и свойства вулканизатов, а также глубже проникнуть в механизм процесса вулканизации.

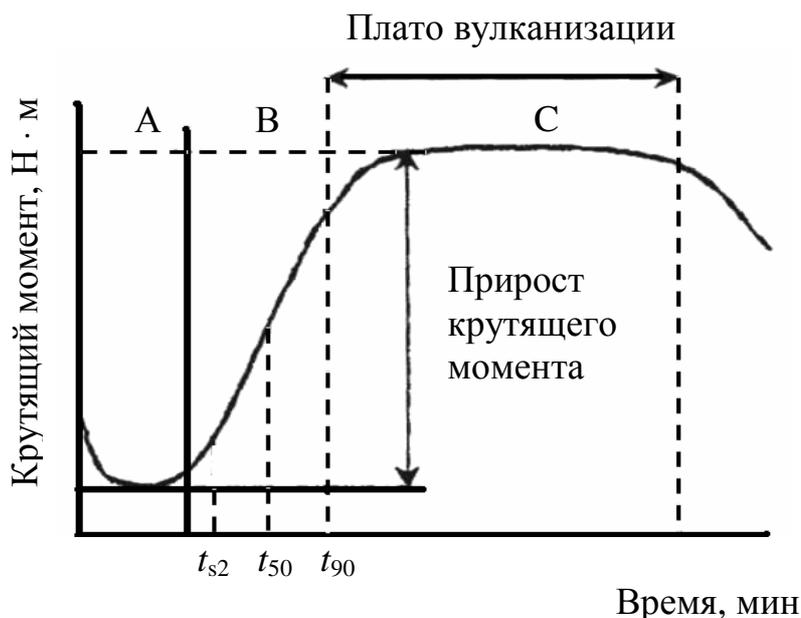


Рис. 7. Основные характеристические точки реометрической кривой

Плато вулканизации характеризуется влиянием температуры вулканизации на механические свойства резинового изделия; а его ширина зависит от того, как быстро происходит реверсия. Реверсия в значительной мере зависит от каучуковой основы резиновой смеси и состава вулканизирующей системы.

Показатель скорости вулканизации пропорционален средней крутизне растущей ветви вулканизационной кривой. Крутящий момент, регистрируемый реометром, пропорционален модулю сдвига резиновой смеси при температуре испытания.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИКИ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ВУЛКАНИЗАЦИИ НА РЕОМЕТРЕ ODR 2000

Цель работы: определить оптимум вулканизации резиновой смеси.

Оборудование и материалы: виброреометр ODR 2000, образец резиновой смеси, вырубной пресс, штанцевый нож.

Определение кинетики вулканизации резиновых смесей на виброреометре проводятся согласно ГОСТ 12535–84.

Порядок проведения работы

На приборе задают требуемую температуру вулканизации и время проведения испытания.

Образцы резиновой смеси должны обеспечивать полное заполнение испытательной камеры и могут быть изготовлены путем выруб-

ки круглым штанцевым ножом из пластин резиновой смеси. Масса образцов должна быть не меньше 9 г. Можно использовать образцы из листов резиновой смеси, наложенных друг на друга. Образцы резиновой смеси одеваются на ротор, который помещается в прибор, и полуформы смыкаются. После окончания испытания полуформы автоматически размыкаются.

Оформление результатов испытания

Типичные реометрические кривые представлены на рис. 8.

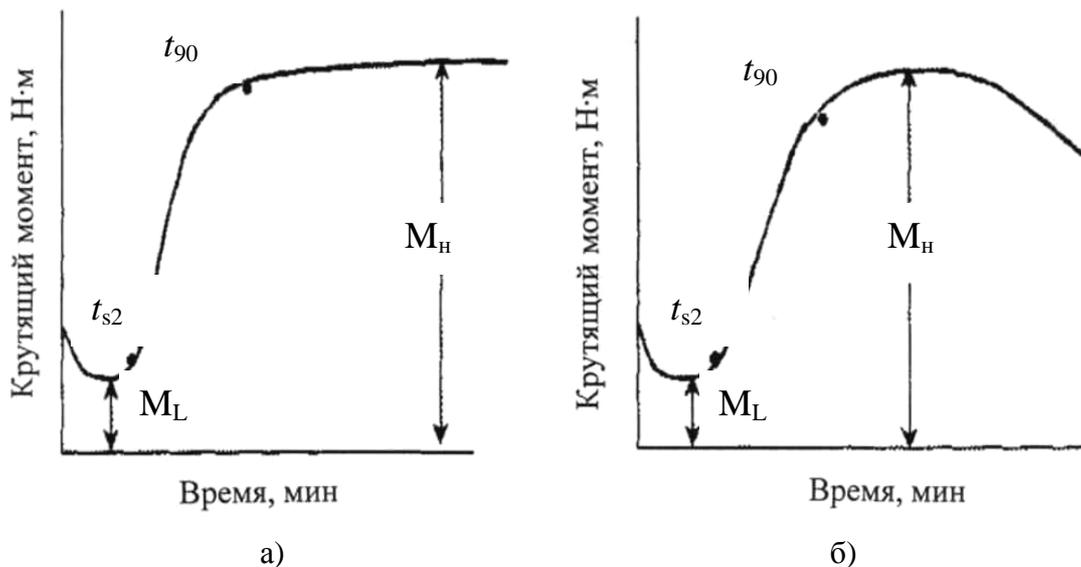


Рис. 8. Типы реометрических кривых

По окончании испытания, исходя из полученных данных, результаты заносят в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытания резиновой смеси на виброреометре ODR 2000

Шифр резиновой смеси	Показатели					
	минимальный крутящий момент, дН·м	максимальный крутящий момент, дН·м	время t_{s2} , необходимое для увеличения минимального крутящего момента на 2 ед., мин	время t_{50} Достижения заданной степени вулканизации, мин	время t_{90} Достижения оптимальной степени вулканизации, мин	время достижения максимальной скорости вулканизации, мин

Виброреометр ODR 2000 позволяет получить на одном бланке как графическую, так и цифровую информацию. В виброреометрах этого типа калибровка прибора производится автоматически с помощью микропроцессоров.

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМУМА ВУЛКАНИЗАЦИИ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Цель работы: определить оптимум вулканизации резиновой смеси.

Оборудование и материалы: резиновые пластины, вырубной пресс, штанцевый нож, толщиномер, миллиметровая линейка, секундомер, разрывная машина РМИ-60, штамп для нанесения меток.

Порядок проведения работы

Из резиновых пластин, вулканизованных при заданной температуре и различных промежутках времени, вырубают образцы. Измерив толщину образцов, наносят на них метки. Для образцов на раздир наносятся надрезы. Проводят испытания на разрывной машине РМИ-60 и определяют: напряжение при заданном удлинении; относительное удлинение при разрыве; условную прочность при растяжении; относительное остаточное удлинение, а также максимальную нагрузку, необходимую для разрыва образца.

Оформление результатов испытания

Результаты испытаний заносятся в табл. 4, 5.

Расчет результатов испытаний производится в соответствии с требованиями ГОСТ 270–75 (СТ СЭВ 2594–80) и ГОСТ 262–79.

На основании полученных результатов строятся кинетические кривые, характеризующие изменение свойств резин в зависимости от продолжительности вулканизации. Исходя из полученных экстремальных точек, определяется оптимальное время вулканизации резиновой смеси заданного состава.

Таблица 4

Результаты определения физико-механических показателей резины

Режим вулканизации		Номер образца	Ширина рабочего участка, см	Наименьшая толщина образца, см	Площадь поперечного сечения, см ²	Нагрузка при заданном удлинении, Н	Разрывная нагрузка, Н	Относительное удлинение при разрыве, %	Относительное остаточное удлинение, %	Условное напряжение при заданном удлинении, МПа	Условная прочность при растяжении, МПа
Т, °С	время, мин										

Таблица 5

Результаты определения сопротивления раздиру

Режим вулканизации		Номер образца	Наименьшая толщина образца, см	Максимальная нагрузка, вызывающая раздир, Н	Сопротивление раздиру, кН/м
Т, °С	время, мин				

Контрольные вопросы

1. Особенности процесса вулканизации.
2. Вулканизирующие агенты, применяемые в промышленности.
3. Оптимум, плато и реверсия вулканизации.
4. Методы определения оптимума вулканизации.
5. Факторы, влияющие на скорость и время достижения оптимума вулканизации.

3. ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ РЕЗИН ПРИ МНОГОКРАТНЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ

Динамическое нагружение материала приводит к изменению его физических и механических свойств и накоплению микродефектов в его структуре. Такой процесс называется усталостным разрушением материала, а способность материала противостоять разрушению при динамическом нагружении – усталостной выносливостью. Усталостные свойства материала могут быть описаны количественно зависимостью между характеристикой нагружения и долговечностью.

Более информативной величиной является предел усталости, т.е. амплитудное значение напряжения, соответствующее заданному числу циклов до разрушения, принятого за базу. Типичное значение базового числа – 10^7 циклов.

Сопротивление резины динамическому утомлению (проявлению динамической усталости) зависит от потерь на внутреннее трение, т.е. является функцией от упругой энергии за цикл нагружения, определяемой в основном значениями условного напряжения и деформации резины за цикл. При значительном напряжении в этом сопротивлении преобладает физический фактор – прочность резины; при малом напряжении и отвечающей ему длительности сопротивления существенное значение имеет химическая стойкость резины. Из двух циклов нагружения, обеспечивающих одинаковые значения, более опасным для резины с точки зрения ее усталостной выносливости будет цикл с большей упругой энергией резины, поскольку накопление разрушений в материале происходит в процессе всего нагружения. Выносливость к многократным деформациям резиновых изделий зависит не только от типа резины и характера деформаций, но и от размеров и конфигурации деталей, а также от характера цикла. Накопление усталостных разрушений при циклическом утомлении наблюдается в процессе возрастания нагружения, которое нелинейно связано с величиной деформации. Поэтому зависимость усталостной выносливости сильно деформируемых систем от параметров нагружения удобнее выражать через обобщенную характеристику механического воздействия – энергию деформации.

При оценке усталостно-прочностных свойств резины большое значение имеет режим циклического деформирования, особенно при сравнении резин друг с другом. Для резин с близкими упруговязкими

свойствами испытания можно проводить при одинаковых значениях напряжения или одинаковой деформации. Однако для существенно различающихся резин необходимо реализовать такой режим, при котором оказывается одинаковой энергия нагружения одного цикла.

Механизм разрушения эластомера при динамическом нагружении в принципе ничем не отличается от разрушения при статическом действии напряжения, но кинетика этих процессов может существенно различаться. Эти различия могут быть вызваны следующими факторами, характерными для динамического режима:

- частичным рассеиванием механической энергии (гистерезисные потери), что не только вызывает разогрев материала, но и активизирует различные химические реакции;

- релаксационным характером деформации, сопровождающимся влиянием скорости деформирования на зависимость напряжения и деформации;

- менее равновесными условиями деформирования и большей неоднородностью распределения напряжений;

- изменением направления механического воздействия, в результате чего образующиеся при релаксационной перестройке связи вновь оказываются под напряжением;

- интенсификацией взаимодействия с окружающей средой (воздухом) на поверхности материала;

- механической активацией термической и окислительной деструкции.

Динамическое деформирование при проведении испытаний проводят обычно в синусоидальном режиме при многократном растяжении, сжатии (иногда растяжении-сжатии), сдвиге, знакопеременном изгибе и т.д. При этом основными количественными характеристиками являются усталостная выносливость (число циклов нагружения до разрушения образца), усталостная прочность (максимальное значение амплитуды напряжения, разрушающее образец при заданном числе циклов), теплообразование (повышение температуры образца после определенного числа циклов), остаточная деформация после многократного сжатия.

Как правило, резина имеет высокую усталостную выносливость, если она обладает высокой прочностью, малым внутренним трением и достаточной химической стойкостью. Влияние природы каучука по-разному проявляется в различных видах испытаний. Для резин из кри-

сталлизирующихся каучуков высокие показатели достигаются в режимах, когда деформация растяжения не снижается до нуля (иначе происходит декристаллизация материала).

Важную роль играет природа межмолекулярных химических связей. В любом случае замена тетрафункциональных узлов на трифункциональные способствует повышению усталостной выносливости. При повышенных температурах и в условиях знакопеременного изгиба наибольшей усталостной выносливостью обладают вулканизаты с более прочными межмолекулярными связями, тогда как при многократном растяжении или сжатии лучше ведут себя резины с более стабильными связями. При этом в процессе утомления происходит необратимое изменение пространственной сетки, сопровождающееся понижением средней степени сульфидности связей.

Влияние наполнителей проявляется так же, как увеличение плотности химического сшивания. При повышении жесткости резин снижение динамической выносливости менее выражено в случае более активных наполнителей. По-видимому, это связано с тем, что технический углерод, с одной стороны, повышает прочность резин, а с другой – увеличивает внутреннее трение, поэтому целесообразнее применять меньшую дозировку более активного технического углерода. Пластификаторы и мягчители обычно действуют противоположным образом: снижая интенсивность межмолекулярных взаимодействий, они уменьшают внутреннее трение, но и прочность тоже. Поэтому в зависимости от природы и количества пластификатора усталостная выносливость резин может либо понижаться, либо повышаться (чаще все-таки повышается).

При многократных деформациях сравнительно тонких образцов возрастает роль реакции деструкции, особенно термоокислительной. При подавлении этих реакций наиболее эффективны противостарители, способные достаточно быстро мигрировать в массу резины, но они же и обладают более интенсивным испарением или вымыванием с поверхности. Правильный выбор противостарителя позволяет иногда в 2–3 раза повысить усталостную выносливость резины.

Основными показателями, характеризующими усталостную выносливость резин, являются: 1) динамическая выносливость, которая определяется числом циклов деформаций до момента появления первой трещины, разрастания трещины на определенную величину или до полного разрушения образца; 2) температура разогрева образца; 3) остаточная деформация.

Лабораторная работа № 4

ИСПЫТАНИЕ РЕЗИН НА МНОГОКРАТНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы: определить усталостную выносливость резин при многократном растяжении.

Оборудование и материалы: резиновые пластины, вырубной пресс, штанцевый нож, толщиномер, миллиметровая линейка, секундомер, штамп для нанесения меток, машина МРС-2.

Определение усталостной выносливости резин при многократном растяжении производится согласно ГОСТ 261–79.

Порядок проведения работы

Из резиновых пластин, вулканизированных при заданной температуре и оптимальном времени вулканизации, вырубается не менее 12 образцов в виде двухсторонних лопаток. Измерив толщину образцов, наносят на них метки.

Устанавливают заданную частоту деформации перемещением ремня на соответствующую ступень шкива электродвигателя. Заданная амплитуда деформации устанавливается путем регулирования хода ползуна (нижней траверсы) передвижением пальца шатуна на соответствующее деление диска и изменения положения верхней траверсы вращением маховика.

Ориентировочные значения хода нижней траверсы, которым соответствуют приблизительно заданные растяжения рабочего участка образца:

Растяжение рабочего участка образца, %	50	75	100	125	150	200
Ход нижней траверсы, мм	22	32	41	53	64	89

Длина рабочего участка образца в растянутом состоянии l_1 определяется по формуле при

$$\varepsilon_{ст} = 0$$

$$l_1 = l_0 + \frac{2\varepsilon_0 \cdot l_0}{100};$$

при $\varepsilon_{ст} > 0$

$$l_1 = l_0 + l_0 \cdot \left(\frac{\varepsilon_{ст} + 2\varepsilon_0}{100} \right) = l_0 \cdot \left(1 + \frac{\varepsilon_{ст} + 2\varepsilon_0}{100} \right),$$

где ϵ_0 – амплитуда динамической деформации, %; $\epsilon_{ст}$ – статическая деформация, %; l_0 – длина рабочего участка нерастянутого образца, мм.

После установки пальца шатуна на соответствующее деление диска устанавливается верхняя траверса с верхним зажимом. Если $\epsilon_{ст}=0$, верхний зажим следует установить на расстоянии 50 мм от верхнего положения нижнего зажима. Если $\epsilon_{ст} > 0$, то это расстояние нужно увеличить так, чтобы обеспечивалось необходимое значение $\epsilon_{ст}$ и длина рабочего участка l_1 . При этом расстояние L между сближенными зажимами рассчитывают по формуле

$$L \geq 50 + \frac{l_0 \times \epsilon_{ст}}{100}.$$

После установки частоты и амплитуды деформации и закрепления образцов в зажимах машины включают электродвигатель. Фиксируют время до появления первой трещины и момента разрушения каждого образца.

Оформление результатов испытания

Результаты испытаний заносятся в табл. 6.

Таблица 6

Результаты испытаний резины по определению усталостной выносливости

Показатели	Образцы												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Размеры рабочего участка образца – ширина, мм – толщина, мм													
Амплитуда деформации, %													
Статическая деформация, %													
Частота деформации, мин ⁻¹													
Время, мин – начало испытания – появление 1 трещины – момент разрушения													
Усталостная выносливость, тыс. циклов													

Показателем сопротивления резин при многократном растяжении является динамическая выносливость N , характеризуемая числом циклов до разрушения образца:

$$N = n \cdot \tau$$

где n – число циклов в одну минуту; τ - время испытания, мин.

За результат испытания принимают среднее арифметическое не менее 12 значений.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗИН ОБРАЗОВАНИЮ И РАЗРАСТАНИЮ ТРЕЩИН ПРИ ИЗГИБЕ

Цель работы: определить сопротивление резины образованию и разрастанию трещин при изгибе.

Оборудование и материалы: резиновые образцы, миллиметровая линейка, машина De Mattia Flex Testing.

Определение сопротивления образованию и разрастанию трещин производится согласно ГОСТ 9983–74.

Порядок проведения работы

Испытанию подвергают не менее трех образцов от каждой партии резины. Образцы имеют плоскую форму с поперечной канавкой посередине. Размеры образца показаны на рис. 9.

Концентрация напряжений при поперечном изгибе образцов возникает в месте расположения канавки. Образцы изготавливают с таким расчетом, чтобы канавка была перпендикулярна направлению каландрования. Испытания можно производить без прокола (метод А) и с проколом в центре канавки (метод Б). Прокол делают специальным копьём. Образцы закрепляют в зажимах.

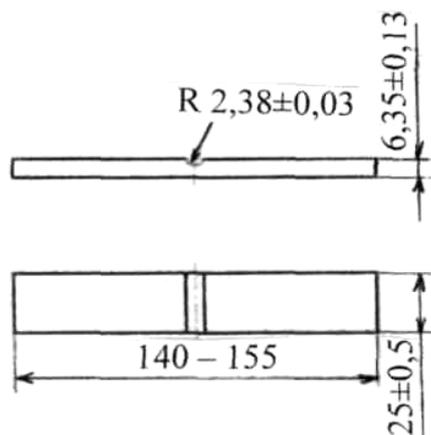


Рис. 9. Размеры и форма образцов

Включают машину и ведут наблюдение за образованием и разрастанием трещин. Для этого периодически останавливают машину.

По методу А (при испытании без прокола) машину останавли-

вают для наблюдения за разрастанием трещин. При этом определяют вид трещин, их число, длину, ширину в соответствии с контрольными рядами А, В, С, Д, Е по ГОСТ 9983–74, отмечая одновременно число изгибов для достижения определенной степени разрушения образца.

По методу Б измеряют длину трещин и фиксируют число изгибов. Замеры рекомендуется производить через 1, 3, 5, 10, 30, 50, 100, 300 тыс. циклов и более.

Оформление результатов испытания

Результаты испытаний по методу А обрабатываются логарифмическим или графическим способом. Более наглядным является графический метод. По средним значениям числа циклов до достижения отдельных ступеней образования и разрастания трещин рассчитывают средние значения для сравниваемых между собой резин и обозначают соответственно А, В, С, Д, Е. Строят график (рис.10).

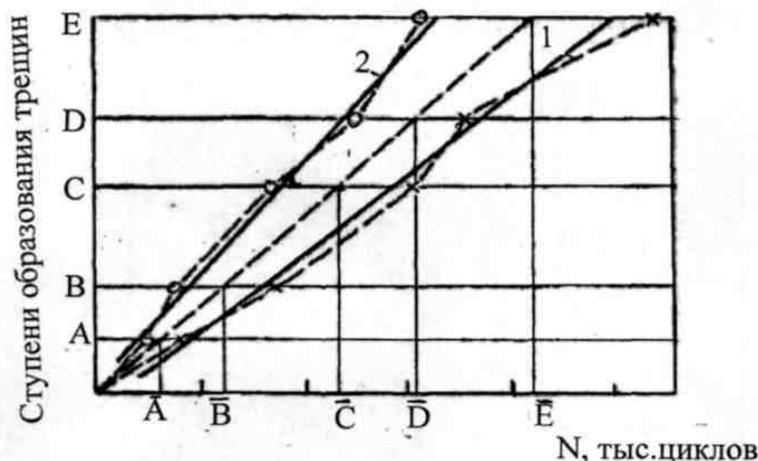


Рис.10. Пример построения графика зависимости разрастания трещин от числа циклов нагружения

Для этого на оси абсцисс откладывают значения А, В, С, Д, Е и из начала координат проводят линию под углом 45° к абсциссе. Восстанавливают перпендикуляры из точек А, В, С, Д, Е до пересечения их с линией. Из точек пересечения проводят прямые,

параллельные оси абсцисс до пересечения с осью ординат. Эти точки обозначают ступени разрушения образца. На соответствующих прямых откладывают среднее число циклов до достижения определенных ступеней разрушения образцов конкретных резин. Точки соединяют отрезками, а затем проводят прямые линии, на пересечении которых с горизонтальными кривыми получают уточненные значения числа циклов до достижения определенных ступеней разрушения резин.

Сопrotивление резин образованию трещин оценивают числом циклов от начала испытания до образования видимых трещин. Обыч-

но оно определяется числом циклов от момента появления трещин до разрастания их до 12 мм.

Результаты испытаний заносятся в табл. 7.

Таблица 7

Результаты испытаний резин по сопротивлению образованию и разрастанию трещин

Показатель	Образцы		
	1	2	3
Толщина образца, мм			
Толщина подканавочного слоя, мм			
Число циклов деформации до образования трещин Среднее			
Число циклов деформации до образования трещин (ступень В) Среднее			
Число циклов деформации до образования трещин (ступень С) Среднее			
Число циклов деформации до образования трещин (ступень Д) Среднее			
Число циклов деформации до образования трещин (ступень Е) Среднее			

Контрольные вопросы

1. Усталостная выносливость резин.
2. Факторы, влияющие на усталостную выносливость резин.
3. Основные показатели, характеризующие усталостную выносливость резин.
4. Правила безопасности при работе на машине МРС-2.

4. ОЦЕНКА ЭЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕЗИН

Показатели эластичности характеризуют способность резины возвращать часть энергии, сообщенной извне при толчках, ударах и других кратковременных воздействиях. Потери ее связаны с гистерезисом, т.е. неполной отдачей энергии.

Эластичность резины принято характеризовать величиной ее полезной упругости, представляющей собой отношение возвращенной работы к работе, затраченной на деформирование образца.

Показатель полезной упругости может быть определен на разрывной машине при растяжении образца до определенной деформации и последующей его разгрузке. Однако в практике наиболее часто применяется менее трудоемкий метод определения полезной упругости на маятниковом упругомере УМР-2 (рис.11). В отличие от определения полезной упругости на разрывной машине, в случае использования упругомера образцы подвергаются деформации сжатия, но сущность явлений, сопровождающих эти процессы, одинакова.

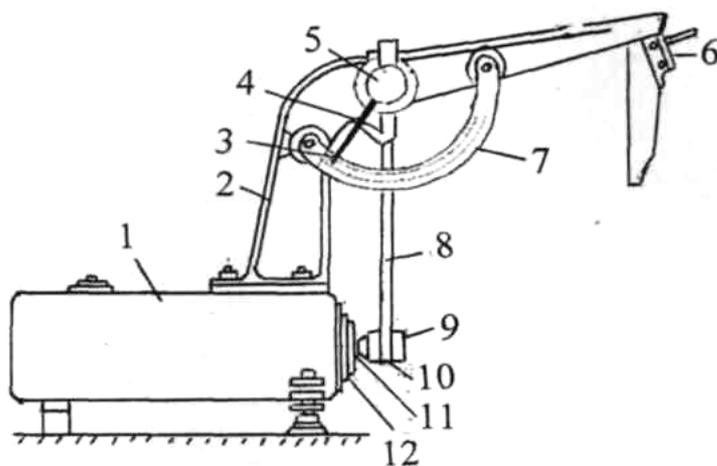


Рис.11. Маятниковый упругомер:

- 1 – станина; 2 – кронштейн; 3 – стрелка; 4 – пружинный захват; 5 – пружинный механизм с рукояткой; 6 – защелка; 7 – шкала; 8 – маятник; 9 – груз; 10 – боек; 11 – плоская пружина; 12 – площадка

Эластичность, измеренная при комнатной температуре, с повышением концентрации узлов практически не меняется, при повышении же температуры испытания она увеличивается тем больше, чем выше температура. Эластичность также зависит от характера вулканизационных связей: она повышается с увеличением длины и гибкости поперечных связей.

Эластичность резины сильно зависит от типа и дозировки технического углерода. При увеличении дозировки технического углерода и степени дисперсности эластичность резин уменьшается. Она практически не зависит от развитости первичной структуры технического углерода, но ускоренно снижается при высоком содержании хи-

нонов на поверхности частиц технического углерода.

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛАСТИЧНОСТИ РЕЗИН

Цель работы: определить эластичность резины по отскоку.

Оборудование и материалы: резиновые стандартные образцы, толщиномер, упругомер УМР-2.

Определение эластичности резины по отскоку производится согласно ГОСТ 6950–73.

Порядок проведения работы

Образцы для испытания готовятся в виде шайбы диаметром 40 мм или квадрата с длиной стороны не менее 40 мм. Толщина образцов должна составлять $6 \pm 0,25$ мм, что позволяет исключить влияние твердости подложки. Образцы должны иметь ровную гладкую поверхность и твердость в пределах 30–85 ед.

Толщину образца измеряют толщиномером, испытания производят при температуре $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Испытуемый образец прикладывают к площадке так, чтобы он ее полностью касался, и закрепляют по краям пружинами. Маятник поднимают в исходное положение и фиксируют защелкой. Затем маятник освобождают. Вследствие эластичности резины при ударе образец маятник отскакивает на некоторую высоту. Его ловят рукой после каждого удара, не допуская повторного падения на образец. По образцу, без изменения его положения, производят четыре удара, поднимая после первого, второго и третьего ударов маятник в исходное положение. При этом происходит стабилизация образцов вследствие эффекта размягчения резины, что обеспечивает получение более близких результатов. За показатель эластичности в данной точке принимают показания шкалы прибора после четвертого удара маятника по образцу.

Из каждой пробы испытывают по два образца в трех разных точках. Расстояние между испытываемыми точками и от краев образца до точек должно быть не менее 10 мм. За показатель эластичности принимают среднее арифметическое результатов замеров эластичности двух образцов. Допустимое отклонение от среднего значения составляет $\pm 5\%$.

Оформление результатов испытания

Показатель эластичности (в процентах) характеризуется долей возвращенной резиной работы по отношению к затраченной на деформирование:

$$S = (h_2/h_1) \cdot 100,$$

где h_2 – высота отскока бойка маятника после удара, мм; h_1 – высота падения бойка маятника, мм.

Шкала прибора проградуирована в процентах эластичности.

Результаты испытаний заносятся в табл. 8.

Таблица 8

Результаты испытаний по определению эластичности резины

Показатель	Образцы		Среднее значение	
	1	2	1	2
Толщина образца, мм				
Показания шкалы, %				
1-я точка				
2-я точка				
3-я точка				
Среднее значение				

Примечание. Среднее значение эластичности округляется до целого процента.

Контрольные вопросы

1. Эластичность резин и способы ее определения.
2. Влияние типа и дозировки технического углерода на эластичность резины.
3. Правила безопасной работы на упругомере УМР-2.

5. ИСПЫТАНИЯ РЕЗИН НА ТВЕРДОСТЬ

Твердость – одна из важных физических и эксплуатационных характеристик – указывается в большинстве ГОСТов и технических условий на резиновые изделия. Определение твердости производят при контроле качества резиновых смесей и вулканизатов, поскольку этот показатель зависит как от свойств каучука, так и от соблюдения дозировок вулканизирующей группы, наполнителей и пластификаторов при смешении. Испытания ведут на вулканизованных образцах, полученных непосредственно после изготовления смеси (экспресс-контроль).

По степени твердости резины можно разделить на несколько групп (табл. 9).

Таблица 9

Классификация резин по твердости

Группа резины	Степень твердости резины	Пределы твердости по твердомеру ТМ-2
I	Резины малой твердости	35–50
II	Резины средней твердости	50–70
III	Резины повышенной твердости	70–90

Введение в резиновую смесь активных ускорителей и увеличение их дозировок повышает степень вулканизации резин, а следовательно, и их твердость. Наполнение резин активными наполнителями также приводит к повышению их твердости до определенного максимального значения. Пластификаторы снижают твердость резин.

Режим вулканизации также существенно сказывается на твердости резин. Для большинства синтетических каучуков по мере увеличения продолжительности вулканизации твердость повышается; твердость натурального каучука возрастает до определенного значения, а затем снижается.

Определение твердости широко применяется благодаря простоте методов испытаний, доступности и значительной чувствительности приборов, а также непродолжительности определений. В ряде случаев испытание можно производить на готовом изделии, не вырезая из него образца.

Определение твердости основано на сопротивлении материала сдавливанию в него металлической поверхности в виде наконечников

(инденторов) разной формы и размеров.

Твердость можно определять:

1) при действии на наконечник (индентор) прибора определенной нагрузки в течение заданного времени;

2) при действии на наконечник прибора переменной нагрузки создаваемой деформирующейся пружиной;

3) при заданном погружении индентора в образец в течение заданного времени (практического применения не имеет).

При этом соответственно измеряется глубина погружения индентора (в мм), величина деформации пружины (в условных единицах шкалы прибора) или нагрузка, вызывающая заданное погружение индентора. Твердость выражается безразмерной величиной или как отношение приложенной нагрузки к площади контакта индентора с образцом.

Результаты испытания зависят от следующих факторов:

1) величина нагрузки на образец;

2) величина нагрузки, при которой производится нулевой отсчет, необходимый для обеспечения контакта индентора с образцом;

3) продолжительность действия нагрузки;

4) форма и размеры наконечника прибора и степень его изношенности (чем меньше наконечник, тем меньше сказывается состояние поверхности и толщина образца; в этом отношении целесообразно применение конических наконечников);

5) твердость материала, на который укладывается образец при испытании (чем больше глубина погружения наконечника, тем значительнее влияние жесткости поверхности);

6) силы трения между поверхностями наконечника и образца, которые зависят от состава резины, материала наконечника и состояния поверхностей;

7) соотношение размеров наконечника и толщины образца, влияющее на глубину погружения наконечника;

8) форма образца;

9) расстояние от края образца до места погружения индентора;

10) температура испытания.

Твердость можно определять при температурах от -60 до $+150^{\circ}\text{C}$ на твердомерах, снабженных нагревательной или охлаждающей камерой. Продолжительность прогрева или охлаждения образцов до испытания, температурный режим испытания строго регламентируются. Твердость резин при низких температурах может слу-

жить характеристикой их морозостойкости.

В практике заводских и исследовательских лабораторий наиболее широко применяются твердомеры типа Шора. Микротвердомеры используют для определения твердости изделий малых размеров, сложной конфигурации, не имеющих плоских поверхностей.

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ РЕЗИН ПО ШОРУ

Цель работы: определить твердость резины по Шору А.

Оборудование и материалы: резиновые стандартные образцы, толщиномер, твердомер типа Шор А.

Определение твердости резины по Шору А производится согласно ГОСТ 263–75.

Порядок проведения работы

Для испытания применяют образцы в виде шайб или квадратных пластин толщиной $6 \pm 0,3$ мм. Толщина образцов должна быть не менее 5 мм и число слоев одинаковой резины не должно превышать трех. При этом толщина верхнего слоя должна составлять не менее 2 мм. Применение образцов большой толщины необходимо, чтобы исключить влияние твердой подложки на значение показателей. Использование образцов с неровной поверхностью и с посторонними включениями не допускается. Метод заключается в измерении сопротивления резины погружению в нее индентора, находящегося под действием тарированной пружины.

При измерении твердости образец помещают на ровную металлическую поверхность. Прибор регулируют так, чтобы индентор соприкасался с шайбой. Показатель твердости фиксируют по шкале прибора по истечении 3 ± 1 с с момента прижатия к образцу. При более длительном контактном давлении показания снимают по истечении 15 ± 1 с, что отмечают в выводах по работе. Образец испытывают не менее чем в трех точках, расстояние между которыми должно быть не менее 5 мм, а расстояние от любой точки измерения до края – не менее 13 мм.

Оформление результатов испытания

За результат испытания принимают среднее арифметическое всех измерений, округленное до 1,0. Допускаемое отклонение каждого

измерения от среднего арифметического значения не должно превышать ± 3 ед.

Результаты испытаний заносятся в табл.10.

Таблица 10

Результаты испытаний по определению твердости резины

Точка	Твердость, усл.ед. Шор А
1	
2	
3	
Среднее значение	

Контрольные вопросы

1. Твердость резины и классификация резин по твердости.
2. Влияние рецептурных и технологических факторов на твердость резины.
3. Способы определения твердости.
4. Влияние различных факторов на результаты испытания резины на твердость.

6. ИСПЫТАНИЯ РЕЗИН НА ИСТИРАНИЕ

Многие резиновые изделия (авто-, мото- и велопокрышки, ремни, транспортерные ленты, резиновая обувь и др.) в условиях эксплуатации подвергаются истиранию, что приводит к их износу и выходу из строя. Повышение износостойкости, т. е. сопротивления резин истиранию, – одна из главных задач резиновой промышленности. При выборе рецептуры резины для того или иного изделия, а также при разработке новых рецептур очень важно правильно оценить ее износостойкость.

Истирание материала является следствием трения, возникающего при перемещении его относительно поверхности более твердого тела (абразива). Истирание резины может сопровождаться тремя явлениями:

1. *Преодоление адгезионных сил*, которые возникают при контакте поверхностей и особенно велики на гладкой поверхности. При этом поверхностный слой резины может подвергаться разрушению за счет отрыва и дальнейшего скатывания мельчайших полосочек резины.

2. *Деформирование поверхностного слоя* неровностями поверхности контртела – абразива. Деформирование поверхности резины при истирании носит динамический характер, в результате чего в поверхностном слое резины протекают процессы усталости, приводящие к появлению и разрастанию трещин.

3. *Повреждение поверхности* выступами контртела. Если поверхность контртела имеет достаточно высокие и острые выступы, на поверхности резины могут происходить разрывы и раздиры.

Таким образом, при истирании резины возможны три механизма износа: 1) *скатывание*; 2) *усталостный износ*; 3) *абразивный износ*.

Чем выше прочность резины и устойчивость к многократным деформациям, тем выше ее износостойкость.

Наряду с механическими факторами разрушения истиранию резины способствует развивающаяся на поверхности контакта ее с контртелом высокая температура. Поэтому износостойкость резины связана с ее температуростойкостью и устойчивостью к тепловому старению. Сопротивление истиранию понижается также в результате возможного в некоторых случаях накопления статического электричества – трибоэлектрического эффекта.

Относительное перемещение резины и контртела может проис-

ходить в *режиме скольжения* (работа транспортерных лент) и в *режиме качения* (работа шин). Однако при эксплуатации шины наряду с трением качения претерпевают и трение скольжения, например, при торможении. Такой режим называют *трением качения с проскальзыванием*. В связи с этим испытание на износостойкость производится либо в режиме скольжения, либо в режиме качения с проскальзыванием.

Поскольку длительность эксплуатационных испытаний очень велика, условия лабораторных испытаний, производимых в короткие сроки, резко ужесточают: применяют бумагу высокой абразивности, повышают температуру в зоне контакта резины и абразива, увеличивают нормальное давление и скорость скольжения или качения.

С целью получения сравнимых результатов испытания шероховатость абразивной бумаги регламентируется в соответствующих ГОСТах на истирание. Для проверки абразивной способности бумаги используют эталонную резину со стандартной износостойкостью. Абразивная способность новой бумаги быстро снижается до определенного предела, поэтому на ней обычно в течение 15–30 мин производят притирание образцов до тех пор, пока абразивная способность не стабилизируется. Притирание образцов состоит в истирании поверхностной пленки и является подготовительной операцией перед испытанием. Поскольку при истирании образцов абразивность бумаги со временем падает, ее проверяют с помощью эталонной резины.

Лабораторная работа № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗИН ИСТИРАНИЮ ПРИ СКОЛЬЖЕНИИ НА МАШИНЕ МИ-2

Цель работы: определить сопротивление резины истиранию при скольжении.

Оборудование и материалы: резиновые стандартные образцы, шлифовальная шкурка, машина МИ-2, набор грузов, весы аналитические.

Определение сопротивления резин истиранию при скольжении проводится согласно ГОСТ 426–77.

Порядок проведения работы

Образцы для испытания с истирающейся поверхностью в форме квадрата со стороной 20 мм снабжены заплечиками шириной 4 мм и

высотой 3 мм, служащими для закрепления в рамках держателя (рис. 12). Истираемая часть, выступающая над рамкой держателя, должна иметь высоту $3,5 \pm 0,5$ мм. Образцы (шесть штук) готовят путем вулканизации в специальной пресс-форме. После вулканизации их следует выдержать не менее 16 ч и не более суток. На поверхности образцов не должно быть трещин, пор, раковин и других дефектов.

Сопротивление истиранию определяется при постоянной нагрузке 26 Н. Испытание рекомендуется производить при давлении 0,0325 МПа. На диске закрепляют истирающую шкурку, устанавливают на машину держатель с образцами. Машину включают и стабилизируют шкурку в течение 15 мин при давлении 0,0325 МПа. После этого притирают образцы к шкурке до снятия наружной пленки со всей рабочей поверхности. Притирание образца и стабилизацию шкурки можно производить одновременно.

После этих подготовительных операций выключают электродвигатель, отмечают карандашом положение образцов в рамках, вынимают их, очищают от пыли и бахромки, взвешивают с точностью до 0,001 г. Затем взвешенные образцы снова закрепляют в рамках и устанавливают держатель на машину так же, как для притирки. Подвешивают прижимающий груз в 26 Н. Конечный выключатель счетчика ставят на цифру «200».

Включают электродвигатель и подвергают образцы истиранию в течение 5 мин. В ходе испытания через каждую минуту записывают массу уравновешивающего груза. По окончании истирания образцы снова очищают и взвешивают. Потери массы резины при истирании должны составлять не менее 0,05 г, в противном случае продолжительность испытания увеличивают.

Истирающую способность каждого круга шкурки с помощью эталонной резины проверяют до и после испытания шести пар образцов. При уменьшении истирающей способности круга шлифовальной шкурки на 20% и более его заменяют новым.

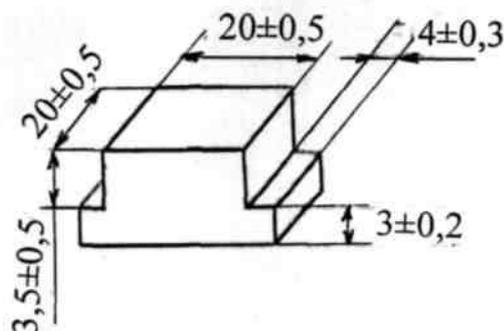


Рис.12. Образец для определения сопротивления истиранию резины при скольжении

Оформление результатов испытания

Результаты испытания резины на истирание выражаются показателями истираемости α , износостойкостью – сопротивлением истиранию β , удельной истираемостью $I_{уд}$, коэффициентом трения μ .

Истираемость α характеризуется убылью объема двух образцов резины ΔV , приходящейся на единицу работы трения A :

$$\alpha = \frac{\Delta V}{A}.$$

Убыль объема (m^3) двух образцов резины рассчитывают по формуле

$$\Delta V = \frac{m_1 - m_2}{\rho},$$

где m_1 – начальная масса образцов после притирания, кг; m_2 – масса образцов после истирания, кг; ρ – плотность резины, кг/м³.

Так как вращающий момент, создаваемый силами трения, уравновешивается грузом, подвешенным к длинному плечу рычага, то работа трения на приборе МИ-2 равна

$$A = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot (P_1 \cdot R + P_2 \cdot R) = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot R \cdot (P_1 + P_2),$$

где P_1 – среднее значение уравновешивающего груза, подвешенного к длинному плечу рычага, Н; P_2 – «постоянная» машины (разность массы плеч рычага, определяемая без образцов и прижимного груза), Н; R – расстояние от точки подвеса уравновешивающего груза P_1 до центра грузового стержня, т. е. до центра вращения рычага, м; n – число оборотов диска за время испытания.

«Постоянная» машины P_2 , определяется по специальной схеме и проверяется не реже 1 раза в год.

Результаты испытаний заносятся в табл.11.

Износостойкость (сопротивление истиранию) β определяется работой, затраченной на истирание единицы объема резины

$$\beta = \frac{A}{\Delta V}.$$

В данном случае $\beta = 1/\alpha$.

Таблица 11

**Результаты испытаний по определению сопротивления
резины истиранию при скольжении**

Показатель	Образцы			Среднее значение
	1	2	3	
Масса образца – до истирания – после истирания				
Потери массы, кг				
Плотность резины, кг/м ³				
Уравновешивающий груз, Н				
Постоянная машины, Н				
Работа трения, Дж				
Истираемость, м ³ /Дж				
Сопротивление истиранию				
Коэффициент трения				

За показатель износостойкости резины принимается среднее арифметическое значение результатов испытания не менее трех пар образцов, которые отличаются от среднего не более чем на 10%.

Коэффициент трения μ , определяют по формуле

$$\mu = F/P,$$

где F – сила трения, действующая на оба образца, Н; P – прижимающее усилие, Н;

На основании равенства моментов сил $F = 62 \cdot (P_1 + P_2)$.

Контрольные вопросы

1. Механизм истирания резины.
2. Влияние физико-механических свойств вулканизатов на истираемость резины.
3. Влияние структуры и состава резины на износостойкость.
4. Правила безопасной работы на машине МИ-2.

7. СТОЙКОСТЬ РЕЗИН К ВНЕШНИМ НЕМЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Продолжительность эксплуатации (долговечность) резиновых изделий зависит от условий хранения и эксплуатации, от вида изделия, его назначения и составляет от нескольких месяцев до нескольких лет. Качество изделий можно оценить, испытывая их в естественных условиях в течение продолжительного времени. Поэтому используются лабораторные ускоренные методы оценки долговечности резин в различных агрессивных средах, основанные на проведении испытаний в более жестких условиях (повышенная температура, большие деформации и нагрузка, высокие концентрации агрессивного агента, а иногда и совместное воздействие всех этих факторов).

Лабораторные испытания дают лишь качественную оценку резин. Поэтому при испытании необходимо проводить сравнение вновь разработанных резин с ранее применявшимися или сопоставление полученных результатов с нормами ТУ и ГОСТов на данные резиновые изделия. Под влиянием различных механических и немеханических факторов самопроизвольно и необратимо изменяются состав, структура и свойства резины. Эти изменения происходят в различных средах, при разных температурах, в условиях воздействия ионизирующего излучения и различных видов деформаций. Процесс необратимого изменения свойств резин, вызванный воздействием различных немеханических факторов в совокупности или отдельно, называется *старением*.

Наиболее часто встречается так называемое *атмосферное старение*, т.е. изменение структуры и свойств резин при одновременном воздействии кислорода, озона, света, тепла и влаги. При этом большинство изделий находится также под воздействием механических факторов, оказывающих большое влияние на физико-химические процессы старения, вызывая их активацию и ускорение. Однако в ряде случаев можно выделить преимущественную роль какого-либо фактора. Это создает условия для изучения процесса старения и определения путей борьбы с ним. При исследовании процесса атмосферного старения можно выделить три основные группы изменений, происходящих в резине.

1. Изменение механических свойств в результате теплового старения. В этом случае при повышенной температуре происходят структурные изменения каучука, особенно интенсивные в присутствии ки-

слорода (окислительная деструкция, структурирование и модификация) и ускоряющиеся при действии нагрузки.

2. Изменение поверхности резины с изменением цвета, повышением жесткости поверхности и образованием на ней сетки трещин. Главную роль в этом процессе играют фотохимические реакции, протекающие под действием ультрафиолетовых лучей.

3. Озонное растрескивание при растяжении за счет присутствующего в атмосфере озона. Его концентрация в атмосфере колеблется от $2 \cdot 10^{-6}$ до $9 \cdot 10^{-6}$ % (об.), но может быть и выше. В атмосферных условиях это наиболее опасный вид старения, так как он протекает с высокой скоростью. В основе процесса лежат реакции присоединения озона по двойным связям, образование озонидов и деструкция полимерных цепей.

Влияние различных агрессивных сред на свойства, каучуков и резин определяется не только свойствами резин, но существенно зависит от характера действующей среды. Долговечность резин при воздействии агрессивной среды увеличивается с толщиной. Это происходит вследствие того, что агрессивные вещества действуют не по всей массе резины, а с поверхности. Значительное влияние оказывают процессы адсорбции и десорбции, набухания и выщелачивания, а также различные химические реакции, происходящие при взаимодействии резины с агрессивной средой. Так, под влиянием кислот в вулканизате могут разрушаться солевые, ди- и полисульфидные связи. В результате действия щелочей разрушаются связи и узлы, образованные при взаимодействии полимерных цепей с ускорителями.

Растрескивание резин зависит как от химической природы агрессивной среды, так и от значения деформации. Скорость разрушения недеформированной резины в агрессивной среде определяется диффузией, а деформированной – скоростью химического взаимодействия со средой по месту разрушения (в трещинах). При этом температурный коэффициент разрушения (например, по пределу прочности) зависит от типа связей и способности агента адсорбироваться на резине.

При действии растворителей, масел, топлива и некоторых других жидкостей происходит набухание резины, которое, прежде всего, зависит от природы полимера и растворителя и степени вулканизации. Поэтому для повышения сопротивления набуханию необходимо увеличивать степень вулканизации, но не допускать реверсии вулканиза-

та. При набухании происходит также и экстракция – извлечение из резины растворимых в данном растворителе веществ, к которым относятся мягчители, органические ускорители вулканизации, противостарители и некоторые низкомолекулярные фракции, содержащиеся в полимере и не вошедшие в структуру вулканизационной сетки.

Поэтому набухание резины следует рассматривать как суммарный процесс, в котором изменение массы резины определяется уравнением

$$\Delta m = m_n - (m + b),$$

где m – масса резины до набухания; m_n – масса резины после набухания; b – масса веществ, перешедших в раствор.

Если скорость вымывания веществ в раствор больше скорости набухания, то Δm может иметь отрицательное значение. Набухание резины в агрессивных растворителях, содержащих серу или ее соединения, может приводить к разрушению серных связей, структурированию и перегруппировке полисульфидных связей аналогично обменным реакциям и реакциям перегруппировки связей при вулканизации. При этом возможно образование циклов за счет внутримолекулярного присоединения серы, повышение жесткости и ухудшение механических свойств. Введение в агрессивную среду противостарителей повышает стойкость резин. Набухание резин на основе каучуков различной полярности в смесях агрессивных растворителей происходит более активно, чем в каждом из растворителей в отдельности.

Устойчивость полимеров к тепловому старению зависит от строения звена полимера. Ненасыщенные каучуки окисляются и изменяют свои механические свойства быстрее, чем насыщенные, и скорость окисления тем выше, чем больше ненасыщенность. Существенную роль играет место расположения двойных связей (основная или боковая цепь). Двойные связи главной цепи более активны, и их окисление будет вызывать наибольшее изменение механических свойств. Повышение подвижности водородных атомов у углеродов главной цепи увеличивает реакционную способность. Поэтому скорости окисления у полипропилена или полистирола большие, чем у полиэтилена. В присутствии атомов фтора в основной цепи насыщенного полимера резко увеличивается его инертность к воздействию различного рода агрессивных сред вследствие прочной связи фтора с углеродом, блокирования углерод-углеродных связей и достижения наивысшей степени окисления. Атомы хлора насыщенной цепи сравни-

тельно легко отщепляются, особенно если они стоят у третичного атома углерода, соседствующего с атомом углерода с двойной связью или с электроотрицательной группой. Эти полимеры отличаются повышенной реакционной способностью. Если же хлор находится около углерода с двойной связью (например, полихлоропрены), то он прочно связан с ним и экранирует двойную связь, сдвигая электронное облако π -связи. Поэтому хлоропреновые каучуки, несмотря на высокую ненасыщенность, отличаются относительно большой инертностью. Метильные группы, видимо, повышают реакционную способность. Нитрильные группы в нитрильных каучуках способствуют повышению стойкости к старению, возможно, за счет образования продуктов, обладающих свойствами антиоксидантов.

Концентрация сшивок при вулканизации, по-видимому, не может оказать существенного влияния на различные виды старения, если при этом образуются достаточно прочные к термическим и окислительным воздействиям узлы. Различия в стойкости к старению, наблюдаемые в процессе вулканизации, возможно, связаны также с наличием в системе непрореагировавших вулканизирующих веществ или продуктов их реакций, которые могут ускорять, замедлять процесс окисления или менять его направление, приводя к преимущественной деструкции или структурированию.

Наибольшая стойкость к старению наблюдается в оптимуме вулканизации. Стойкость к старению зависит от вида применяемой вулканизирующей системы и основного типа образующихся узлов. Прочные вулканизационные связи типа С–С или С–S–С повышают стойкость к старению. Увеличение степени сульфидности серных связей ускоряет старение. Однако различные виды вулканизатов, имеющие поперечные связи типа С–С, отличаются друг от друга по стойкости довольно существенно. Так, радиационные вулканизаты более стойки к старению, чем перекисные, что, вероятно, связано с участием в процессах окисления перекиси или продуктов ее превращений.

Влияние техуглерода на процесс старения достаточно сложное. Оно связано не столько с созданием определенных видов каучуко-сажевых структур, сколько с непосредственным влиянием технического углерода на окисление или другие реакции. Это обусловлено сильно развитой поверхностью сажи, наличием определенных реакционноспособных групп на поверхности, каталитическими и адсорбционными свойствами сажевых частиц. Один и тот же техуглерод

может и инициировать, и ингибировать окислительные процессы, что зависит главным образом от вида каучука, соотношения каучука и наполнителя, а также от условий старения. В насыщенных полимерах техуглерод является главным образом ингибитором. В ненасыщенных каучуках он менее эффективен, но в статических условиях старения ингибирующее действие техуглерода все-таки преобладает. Во всех случаях техуглерод защищает резины, вулканизованные перекисями. При серной вулканизации он может способствовать окислению вследствие ослабления защитного действия продуктов превращений некоторых ускорителей.

Использование пластификаторов с высокой упругостью паров или высокой летучестью приводит к ускоренному изменению свойств в условиях повышенных температур вследствие удаления пластификатора из резины и изменения ее состава. Пластификаторы ненасыщенного типа ухудшают стойкость к старению, поскольку они участвуют в окислении резины.

В зависимости от строения эластомеров, назначения резиновых изделий и условий эксплуатации применяются различные противостарители и их комбинации. Выбор их должен обеспечить сохранение свойств резины и предотвращение или замедление процесса старения различных видов: термоокислительной деструкции, термического старения, механических превращений, утомления при многократных деформациях, озонного, светового и радиационного старения, воздействия агрессивных сред и т. д. Противостарители носят соответствующие названия: противоокислители, противоутомители, светостабилизаторы, антиозонанты и т. д. В качестве противостарителей применяются соединения различных классов: производные аминов, фенолов, сульфидфенолов, эфиров фосфористой кислоты и др. Особым видом антиозонантов являются воски, образующие на поверхности защитную пленку вследствие ограниченной растворимости или при непосредственном нанесении их на поверхность. Против светового старения можно эффективно использовать красители, отражающие ультрафиолетовую часть спектра.

Обычно в резиновые смеси вводят 0,5–2 мас. ч. противостарителя на 100 мас. ч. каучука. При сложных условиях старения необходимо применять комбинации противостарителей, каждый из которых защищает от определенного вида старения. При этом некоторые сочетания противостарителей обнаруживают синергический эффект, т. е. взаимно усиливают эффективность действия. Учитывая эти обстоя-

тельства, комбинации противостарителей очень широко используют в практике. Таковы комбинации производных парафенилендиамина и дифениламина с производными фенолов и др.

Для защиты от действия озона широко используются комбинации химических антиозонантов (2–5 мас.ч.) с физическими противостарителями: восками, микрокристаллическими парафинами, петролатумом, церезином и др.

При создании резин, стойких к агрессивной среде, необходимо учитывать диффузионные свойства среды. Диффузия зависит не только от размеров молекул агрессивного агента, но также от полярности его и исходного каучука. Установлена экспоненциальная зависимость коэффициента проницаемости резин от температуры. Среда по отношению к полимеру может быть *физически и химически агрессивной*. Так, для резин на основе СКС-30 или на основе смеси СКЭП и СКИ-3 перекись водорода является химически агрессивным агентом, и ее диффузия вызывает разрушение резины вплоть до появления сквозных трещин, вследствие чего происходит резкое возрастание проницаемости. Для резин на основе ХСПЭ, СКФ-32 и СКФ-26 действие перекиси водорода физически агрессивно, и значение коэффициентов проницаемости по достижении равновесного состояния не изменяется во времени. Концентрированная азотная кислота для резин на основе фторкаучуков тоже является физически агрессивным агентом, так как коэффициент проницаемости при достижении равновесия не изменяется во времени. Диффундирующий агент способен вызвать разрушение резины не только из-за реакции с каучуком, но также и за счет химического взаимодействия с пластификатором или наполнителем. Поэтому в целом химическая стойкость резин зависит, прежде всего, от природы полимера, наполнителя и пластификатора. В связи с этим при разработке новых марок резин для эксплуатации в агрессивной среде необходимо для снижения диффузии вводить в состав резины активные марки техуглерода с развитой первичной структурой и высокой удельной поверхностью, а также пластинчатые наполнители (слюда). В качестве мягчителей рекомендуются различные полимерные смолы.

Резины для эксплуатации в различных алифатических и ароматических растворителях (бензин, масла, нефть, жиры и др.) необходимо создавать на основе каучуков, содержащих активные полярные группы (CN, C1, P и др.). Обычно это резины на основе нитрильных или хлоропреновых каучуков, но применяют также резины на основе

фторкаучуков, силиконовых, полисульфидных каучуков и др.

Кислото- и щелочестойкие резины принципиально можно создавать из каучуков любых типов. Однако лучшими являются эластомеры с малой ненасыщенностью и полярные – фторсодержащие и силиконовые каучуки. Повышение щелоче- и кислотостойкости обеспечивается введением в состав резины инертных минеральных наполнителей и техуглерода. При разработке щелочестойких резин необходимо учитывать поверхностное влияние щелочи, которая не диффундирует через резину.

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЗИН К ТЕПЛОМУ СТАРЕНИЮ

Цель работы: определить стойкость резины к тепловому старению.

Оборудование и материалы: резиновые пластины, штанцевый нож, толщиномер, вырубной пресс, разрывная машина РМИ-60, термостат.

Определение стойкости резин к тепловому старению производится согласно ГОСТ 9.024–74.

Порядок проведения работы

Для испытания используют образцы в виде двухсторонней лопатки, вырубленные из резиновых пластин толщиной $1 \pm 0,2$ или $2 \pm 0,2$ мм. От каждой пробы заготавливают не менее десяти образцов. Пять из них испытывают на растяжение до старения, пять – после старения. Образцы маркируют, подвешивают за нерабочие участки с помощью крючков на деревянные стержни и помещают в термостат.

Образцы выдерживают в термостате при повышенной температуре в воздушной среде в течение заданного времени. Продолжительность старения устанавливают в зависимости от температурной области применения резин, равной 24, 72, 144, 168 или 240 ч. Температура испытания зависит от типа резины. Во избежание искажения результатов испытания необходимо строго соблюдать условия размещения образцов. Расстояние между образцами должно быть не менее 10 мм, а между образцами и стенками термостата не менее 50 мм. Загрузка термостата не должна превышать 10% объема рабочей камеры.

Старение резин разных типов проводят в отдельных камерах. Допускается совместное испытание образцов, содержащих противоокислители, ускорители, вулканизирующие агенты и мягчители примерно одного типа и в одинаковых количествах.

Каучук	Температура старения, °С
НК, СКИ-3	70; 100
СКД, СКС, СКМС, СКН, БК, полихлоропрены, полиуретаны	100; 125; 150
СКЭП, СКЭПТ, ХСПЭ, акрилатный	125; 150; 175
СКФ, силоксановые каучуки	200; 225; 250; 300; 350

По окончании срока старения образцы вынимают из термостата, выдерживают не менее 16 ч и не более 6 сут при комнатной температуре и испытывают на растяжение.

Оформление результатов испытания

Показателем стойкости к тепловому старению является отношение изменения в процессе старения любого выбранного показателя к его начальному значению до старения (в %). Коэффициент стойкости рассчитывают по формуле

$$K = (A_0 - A_1) / A_0,$$

где A_0 – среднее значение показателя до старения; A_1 – среднее значение показателя после старения.

Результаты испытаний заносятся в табл.12.

Таблица 12

Результаты испытаний по определению стойкости резин к тепловому старению

Показатели	Образцы											
	до старения						после старения					
	1	2	3	4	5	Среднее значение	1	2	3	4	5	Среднее значение
Размеры рабочего участка												
– ширина, м												
– толщина, м												
– площадь поперечного сечения, мм ²												
Нагрузка при заданном удлинении, Н												

Показатели	Образцы											
	до старения						после старения					
	1	2	3	4	5	Среднее значение	1	2	3	4	5	Среднее значение
Разрывная нагрузка, Н												
Относительное удлинение при разрыве, %												
Условное напряжение при заданном удлинении, МПа												
Условная прочность при растяжении, МПа												

Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ РЕЗИН, НАХОДЯЩИХСЯ В НЕНАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ, К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЖИДКИХ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

Цель работы: определить изменение свойств резины при воздействии жидких агрессивных сред.

Оборудование и материалы: резиновые пластины, жидкости для набухания, жидкость для промывки образцов, бумага фильтровальная, пинцет, ножницы, штанцевый нож, вырубной пресс, толщиномер, аналитические весы, разрывная машина РМИ-60, термостат, сосуд для набухания, мерный цилиндр, бюксы.

Определение стойкости резины, находящихся в ненапряженном состоянии к воздействию жидких агрессивных сред, производится согласно ГОСТ 9.030–74.

Определение изменения массы образцов

Порядок проведения работы

Для испытания используют образцы размером 20×20 мм, которые вырезают из резиновой пластины толщиной $2 \pm 0,2$ мм и маркируют. От каждой партии резины должно быть не менее трех образцов. Образцы взвешивают, закрепляют на стержнях и помещают в сосуд для набухания с агрессивной жидкостью. На стержень должен прикрепляться ярлык с указанием номера образца, условий испытания и вида среды. Необходимо строго соблюдать условия размещения образцов: они не должны соприкасаться друг с другом, с дном и стенками сосуда; уровень

жидкости над образцами должен соответствовать не менее 1 см. Соотношение объемов среды и образцов не должно составлять не менее 15 : 1.

В случае проведения испытаний при повышенной температуре жидкость в сосуде следует предварительно прогреть до температуры испытания. Сосуд с образцами герметизируют, помещают в термостат и выдерживают в нем определенное время при заданной температуре. Режим испытания и тип среды устанавливаются в соответствии с техническими условиями на резины или резиновые изделия. После окончания испытания сосуд с образцами охлаждают. Образцы извлекают из растворителя и погружают для промывания на 30 с в сосуд с растворяющей средой и легко испаряющейся жидкостью. После испытания в легколетучих средах образцы промывке не подвергаются. Далее образцы высушивают, для чего их помещают на фильтровальную бумагу и выдерживают в течение 3–4 с на каждой стороне.

Определяют массу образцов взвешиванием на аналитических весах в бюксах с известной массой. Затем образцы помещают в термостат при 70°С и удаляют из них поглощенную жидкость путем доведения до постоянной массы.

Оформление результатов испытания

Характеристикой стойкости резин к агрессивной среде является изменение массы образца Q .

$$Q = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100,$$

где m_0 – исходная масса образца (до воздействия среды), г; m_1 – масса образца после выдержки в агрессивной среде, г.

Результаты испытаний заносятся в табл.13.

Таблица 13

Результаты изменения массы образцов резин при воздействии жидкой агрессивной среды

Показатель	Образцы			Среднее значение
	1	2	3	
Масса образца, г				
– до воздействия среды				
– непосредственно после выдержки в среде				
– после воздействия среды и последующего ее удаления				
Степень набухания, %				
Степень вымывания, %				

Определение изменения физико-механических показателей

Порядок проведения работы

Для испытания используют образцы в виде двухсторонней лопатки, вырубленные из резиновых пластин толщиной $2 \pm 0,2$ мм. От каждой пробы заготавливают не менее десяти образцов. Пять из них испытывают на растяжение до воздействия агрессивной среды (аналогично работе 10.1), пять — после ее воздействия.

Оформление результатов испытания

Стойкость резины к воздействию агрессивной среды оценивают по коэффициенту изменения физико-механических показателей (условной прочности при растяжении, относительного удлинения при разрыве), которые рассчитывают по формуле

$$K = \frac{n_1}{n_0},$$

где n_0 – показатель до воздействия среды; n_1 – показатель после воздействия среды.

Результаты испытаний заносятся в табл. 14.

Таблица 14

Результаты испытаний по определению стойкости резины к воздействию агрессивной среды

Показатели	Образцы											
	до воздействия среды						после воздействия среды					
	1	2	3	4	5	среднее значение	1	2	3	4	5	среднее значение
Размеры рабочего участка – ширина, м – толщина, м – площадь поперечного сечения, мм ²												
Нагрузка при заданном удлинении, Н												
Разрывная нагрузка, Н												
Относительное удлинение при разрыве, %												

Показатели	Образцы												
	до воздействия среды						после воздействия среды						
	1	2	3	4	5	среднее значение	1	2	3	4	5	среднее значение	
Условное напряжение при заданном удлинении, МПа													
Условная прочность при растяжении, МПа													

Контрольные вопросы

1. Старение резины. Виды старения.
2. Изменение свойств резины при атмосферном старении.
3. Изменение свойств резины при воздействии жидкой агрессивной среды.
4. Влияние структуры и состава резины на стойкость к тепловому старению.
5. Влияние структуры и состава резины на стойкость к воздействию жидких агрессивных сред.

8. МОРОЗОСТОЙКОСТЬ РЕЗИН

Большое число резиновых изделий эксплуатируется при пониженных и низких температурах. Поэтому показатели морозостойкости являются одними из важнейших эксплуатационных характеристик. Главным требованием при эксплуатации резин в этих условиях является сохранение высокоэластических свойств.

Аморфные полимеры в зависимости от температуры могут находиться в трех агрегатных состояниях: стеклообразном, высокоэластическом и вязкотекучем. Для резины характерно высокоэластическое состояние. При понижении температуры происходит постепенное ухудшение ее высокоэластических свойств из-за снижения подвижности сегментов и перехода в стеклообразное состояние. Если считать энергию меж- и внутримолекулярного взаимодействия практически неизменной, то снижение температуры до определенных значений создает условия, при которых энергии теплового движения становится недостаточно для преодоления взаимодействия. Это приводит к фиксации сегментов, т. е. к образованию своеобразных «узлов», и к соответствующему повышению вязкости и жесткости цепей полимера. В стеклообразном состоянии расстояние между узлами сравнимо с размерами сегментов. Ниже температуры стеклования перестройка структуры осуществляется чрезвычайно медленно. Поэтому температуру стеклования можно определить как температуру, ниже которой в полимерах утрачивается возможность теплового перемещения кинетических сегментов. Вследствие этих причин в области перехода наблюдается появление экстремальных точек на кривых зависимости свойств от температуры.

Таким образом, чем более гибкой является молекула, т. е. чем меньше размер кинетического сегмента, тем большее число узлов должно образоваться для перехода полимера в стеклообразное состояние и тем ниже должна быть температура перехода. Наоборот, чем менее гибка молекула (например, вследствие полярности), тем больше размер сегментов и меньше число узлов, тем более «рыхлой» будет образующаяся структура. Таким образом, полимеры с гибкими цепями будут ближе по структуре к низкомолекулярным застеклованным жидкостям. Температура стеклования зависит от скорости охлаждения: при увеличении последней на один порядок температура возрастает на 3%.

От описанного выше *структурного стеклования* следует отли-

чать *механическое*, которое обусловлено исчезновением высокоэластичности при достаточно больших скоростях деформации. При этом продолжительность релаксации значительно превышает продолжительность действия силы, т. е. происходит застекловывание полимера. В зависимости от скорости деформации оно может происходить или при температуре структурного стеклования T_c , или, если скорость достаточно высока, при более высокой температуре механического стеклования T_m . Последняя будет тем выше, чем больше скорость деформации.

Под влиянием значительных напряжений в стеклообразных полимерах могут развиваться большие деформации, близкие по своей природе к высокоэластическим. Их называют *вынужденно эластическими*, а само явление – *вынужденной эластичностью*.

Для изучения кристаллизации разработан целый ряд методов, к которым относятся дилатометрический, рефрактометрический, светорассеяния, методы ЯМР и ИКС, рентгено- и электронно-графические, световой и электронной микроскопии и др.

Учитывая сложность явлений, происходящих при понижении температуры, морозостойкость характеризуют с помощью нескольких показателей. Наиболее широко используемыми из них являются температура стеклования, температура хрупкости, температура максимальной скорости кристаллизации (для кристаллизующихся полимеров) и степень изменения эластических свойств при понижении температуры.

Наибольшее влияние на T_c резины оказывает структура исходного каучука и значительно меньшее – ее изменение при переработке и вулканизации. Процесс стеклования имеет релаксационный характер, поэтому те особенности структуры, благодаря которым увеличивается скорость релаксационных процессов и повышается эластичность, способствуют также и улучшению морозостойкости.

Очень сильное влияние на T_c оказывает присутствие полярных групп, их число и уровень взаимодействия, сказывающиеся на гибкости полимерной цепи и силах межмолекулярного взаимодействия. Чем больше полярных групп в полимере, чем выше уровень взаимодействия, чем выше внутри- и межмолекулярное взаимодействие, тем выше температура стеклования.

Большое значение имеет расположение полярных групп. Так, при симметричном расположении групп и взаимной компенсации полей T_c понижается; если компенсация неполная, T_c повышается. Она

повышается также при наличии у атома углерода заместителя большого объема, особенно, если он находится у углерода вместе с метильным радикалом. Экранирование полярных групп неполярными понижает T_c . Например, в полисилоксанах органические радикалы экранируют связь $-\text{Si}-\text{O}-$, приводя к понижению T_c . Увеличение размеров таких экранирующих радикалов до определенных размеров понижает T_c , с этого момента начинают сказываться затруднения стерического характера и T_c повышается.

Для изопреновых полимеров различное соотношение структур *цис*- и *транс*-1,4 не приводит к существенному различию в T_c , присутствие 1,2- и 3,4-звеньев повышает температуру стеклования:

Температура хрупкости зависит практически от тех же факторов, что и T_c . Интервал между этими температурами – область вынужденной эластичности – может быть различным. Чем выше гибкость молекул, тем меньше интервал, т. е. тем уже область вынужденной эластичности. К числу таких полимеров относятся практически все каучуки, хрупкое разрушение которых наступает вскоре после достижения T_c . Исключение составляют полярные каучуки типа нитрильных, но и у них эта область сравнительно узка. Так, для СКН-40 она составляет 20–25°C. Чем меньше молекулярная масса полимера, тем меньше у него развита способность к проявлению вынужденной эластичности, и при молекулярной массе, близкой по значению к кинетическому сегменту, T_c и $T_{хр}$ совпадают.

Существенное влияние на морозостойкость резин оказывают пластификаторы. Введение пластификаторов понижает T_c , но для полимеров с гибкими цепями, какими являются каучуки, это снижение относительно невелико и составляет для неполярных каучуков 10–20°C, для полярных достигает 30–40°C. При межструктурной пластификации существенное снижение T_c , до определенного значения происходит при добавлении сравнительно небольших количеств пластификатора. Дальнейшее введение пластификатора на T_c не влияет. При внутрискруктурной пластификации T_c понижается с увеличением содержания пластификатора.

Температура стеклования с увеличением степени вулканизации несколько возрастает. Температура хрупкости для неполярных каучуков практически не изменяется с увеличением степени вулканизации, но несколько зависит от температуры вулканизации.

Существует довольно много разнообразных методов определения поведения резин при низких температурах. Здесь следует допол-

нительно остановиться на краткой характеристике некоторых наиболее употребительных и стандартных методов.

Большую информацию о механическом поведении резин в условиях пониженных температур дает испытание их *в специализированных динамометрах*, снабженных термо-криокамерой. С помощью таких динамометров можно получить кривые изменения ряда свойств резин при различных температурах (прочность, относительное и остаточное удлинение, условные и истинные напряжения при заданных деформациях, работа деформации, гистерезис, форма кривой и пр.).

Лабораторная работа № 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ РЕЗИН ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Цель работы: определить коэффициент морозостойкости и коэффициент возрастания жесткости резины.

Оборудование и материалы: резиновые пластины, штанцевый нож, вырубной пресс, толщиномер, термометр, этиловый спирт, двуокись углерода твердая, перчатки, совок, прибор для определения морозостойкости.

Определение морозостойкости резин при растяжении производится согласно ГОСТ 408–78.

Порядок проведения работы

Для испытания применяют образцы в виде двухсторонних укороченных лопаток длиной $25 \pm 0,5$ мм, шириной $6,5 \pm 0,3$, толщиной $2 \pm 0,35$ мм. Образцы вырезают на вырубном прессе штанцевым ножом.

Сущность метода заключается в растяжении образца свободно приложенным грузом до удлинения на 100 % и определении величины растяжения замороженного образца под действием того же груза.

Для испытания применяют не менее трех образцов. На образцы наносят предварительные метки рабочего участка, растягивают их вручную 3–4 раза на 150 % и оставляют для «отдыха» в свободном состоянии на 5 мин, затем наносят метки рабочего участка для испытания. Прибор устанавливают на край стола так, чтобы эбонитовая трубка находилась над полом. Блок прибора должен свободно вращаться. Трос, перекинутый через блок, не должен проскальзывать и иметь перегибов. В сосуде Дьюара готовят охлаждающий агент –

смесь этилового спирта с твердой углекислотой. Сосуд должен быть заполнен смесью на 2/3 объема. Температура смеси должна быть на 2–3°С ниже заданной. Установочный образец укрепляют в зажимы прибора по меткам рабочего участка. Верхний зажим соединяют с концом троса, перекинутого через блок, нижний упирают заплечиками в торец эбонитовой трубки и удерживают пружинами. Шкалу прибора устанавливают на нулевое положение по отношению к стрелке. На подставку прибора ставят сосуд со спиртом при температуре 22±2°С и погружают в него эбонитовую трубку с закрепленным образцом. На подвеску равномерно накладывают груз, вызывающий растяжение образца в течение 5 мин на 100±5 %. Подобранный груз является постоянным для испытания следующих образцов резин данной пробы. Установочный образец дальнейшим испытаниям не подвергается.

Испытываемый образец этой же пробы закрепляют в зажимах, как описано выше, и погружают в спирт при температуре 22±2°С. Подобранный груз кладут на подвеску. Через 5 мин действия груза на образец записывают удлинение образца по показанию шкалы, снимают груз, вынимают образец с зажимом и оставляют для «отдыха» в течение 3 мин, не снимая зажим. Затем образец вновь помещают в эбонитовую трубку и погружают в сосуд Дьюара с охлаждающей смесью. Образец выдерживают в охлаждающей смеси 5 мин. После чего на подвеску прибора накладывают груз, подобранный при температуре 22±2°С. После пятиминутного действия груза записывают показания шкалы с точностью до 0,5 мм.

Для определения коэффициента возрастания жесткости и относительной остаточной деформации на подвеску накладывают дополнительный груз, необходимый для того, чтобы растянуть охлажденный образец за 5 мин на ту же величину, на которую образец был растянут грузом при температуре 22±2°С.

Оформление результатов испытания

Коэффициент морозостойкости K_m , значения которого находятся в пределах от 0 до 1, рассчитывается по формуле

$$K_m = \frac{l}{l_3},$$

где l – удлинение рабочей части образца, вызванное нагрузкой при температуре 22±2°С, мм (м); l_3 – удлинение рабочей части образца,

вызванное той же нагрузкой, мм (м).

Коэффициент возрастания жесткости $K_{вж}$, значение которого больше 1, рассчитывается по формуле:

$$K_{вж} = \frac{P}{P_3},$$

где P – нагрузка, вызывающее удлинение образца при температуре $22 \pm 2^\circ\text{C}$, Н; P_3 – нагрузка, вызывающая то же удлинение охлажденного образца, Н.

Результаты испытаний заносятся в табл.15.

Таблица 15

Результаты испытаний по определению морозостойкости резины

Показатели	Образцы			Среднее значение
	1	2	3	
Толщина, мм				
Температура испытания, °С				
Нагрузка, Н – при 22°С – при охлаждении – дополнительная				
Удлинение, мм (м) – при 22°С – при охлаждении – дополнительная				
Коэффициент морозостойкости				
Коэффициент возрастания жесткости				

Морозостойкость резины тем выше, чем ближе значения коэффициентов морозостойкости и возрастания жесткости к единице.

Контрольные вопросы

1. Морозостойкость резины, основные понятия и показатели.
2. Агрегатные состояния полимеров.
3. Влияние структуры полимера и пластификатора на морозостойкость резин.

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ РЕЗИН

Плотность, являющаяся самостоятельной характеристикой, необходима также при расчете некоторых физико-механических показателей резин. Плотность зависит от состава резиновых смесей. При разработке рецептур стремятся получить резины с наименьшей плотностью, так как это позволяет снизить вес изделий и сократить расход резиновой смеси на их изготовление. Исключение составляют резиновые смеси, предназначенные для специальных целей, например для устранения дисбаланса покрышек.

Наименьшей плотностью обладают чистые и ненаполненные смеси на основе каучуков с плотностью менее 1000 кг/м^3 (НК, СКИ-3, СКД, БСК, БНКС, БК, СКЭП). Однако для производства резиновых изделий они почти не применяются. В наполненных смесях плотность зависит от подбора каучуков и ингредиентов и в большинстве случаев она выше 1000 кг/м^3 . Для получения резин небольшой плотности нежелательно применение таких каучуков, как хлоропреновый, сульфидный, фторсодержащий, кремнийорганический, с плотностью от 1210 до 2200 кг/м^3 , и минеральных наполнителей, плотность которых лежит в пределах от 2600 до 6500 кг/м^3 .

Определение плотности резин используется для контроля качества резиновых смесей, поскольку отклонение плотности от установленных норм достаточно чувствительно характеризует изменение состава резиновой смеси в результате применения нестандартного сырья, неточности навесок ингредиентов, замены одного ингредиента другим, потери ингредиентов при смешении.

Распространены различные методы определения плотности:

- 1) при помощи весов ПВМ-3 типа Жоли;
- 2) гидростатический;
- 3) пикнометрический, отличающийся от гидростатического повышенной точностью определения;
- 4) экспресс-метод.

При определении плотности в качестве среды используют дистиллированную воду, этиловый спирт, спирто-водные смеси и растворы солей (обычно хлористого цинка) разной плотности.

Лабораторная работа № 12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ РЕЗИНЫ

Цель работы: определить плотность резины различными методами.

Оборудование и материалы: резиновые пластины, бумага фильтровальная, пинцет, ножницы, штанцевый нож, вырубной пресс, толщиномер, весы ПВМ-3 (типа Жоли), цилиндр емкостью 250 мл, денсиметр, вода дистиллированная, этиловый спирт, водно-спиртовые растворы различной плотности, растворы хлористого цинка различной плотности, стаканы химические емкостью 250 мл и 100 мл.

Определение плотности резин производится согласно ГОСТ 267–73.

Определение плотности резины на весах ПВМ-3

Порядок проведения работы

Испытание производят на образцах размером 20×20 мм, вырубленных из вулканизованных пластин толщиной $2 \pm 0,3$ мм. Образцы вырезают при помощи штанцевого ножа или вырезают по шаблону, осматривают и проверяют их размеры толщиномером и линейкой. От каждой испытуемой партии резины отбирают не менее трех образцов без дефектов и нумеруют их. Пропудренные образцы очищают от опудривающего средства щеткой или тряпкой.

В химический стакан наливают дистиллированную воду или спирт и помещают в термостат, в котором поддерживается температура $20 \pm 1^\circ\text{C}$ при помощи контактного термометра или терморегулятора. Длительность выдержки в термостате не менее 10 мин. Выбор среды зависит от того, выше или ниже единицы предполагаемая плотность образцов. Плотность среды определяют денсиметром, перелив предварительно испытуемую жидкость в цилиндр и проверив ее температуру ртутным термометром.

Объем жидкости в химическом стакане должен быть достаточным для полного погружения нижней чашки весов во время испытания. Весы ПВМ-3 (рис.12) устанавливают так, чтобы кронштейн 3 находился на высоте, обеспечивающей достаточное расстояние нижней чашки от дна стакана при нагружении верхней чашки и свободное движение стержня, при котором он, перемещаясь в цилиндре, не будет касаться его стенок.

Результаты испытаний по определению плотности резины

№ образца	Показания нониуса прибора			Плотность образца, г/см ³	Отклонение %
Среднее значение					

Определение плотности резины экспресс-методом*Порядок проведения работы*

Плотность применяемых растворов должна составлять от 0,9 до 1,4 г/см³ через каждые 0,02 г/см³. Растворы плотностью ниже 1 г/см³ представляют собой водно-спиртовую смесь, раствор плотностью 1 г/см³ – дистиллированную воду, растворы плотностью выше 1 г/см³ – водные растворы хлористого цинка. На каждую колбу наклеивают этикетку с указанием плотности раствора. Плотность растворов проверяют денсиметром с точностью до 0,01 г/см³, перелив предварительно раствор в цилиндр.

Для проведения испытания растворы наливают в химические стаканы. Образцы резины вырубают на вырубном прессе штанцевым ножом и при помощи пинцета поочередно вносят в стакан с раствором. Если при этом образец тонет, его извлекают, обсушивают фильтровальной бумагой и переносят в сосуд с раствором большей плотности. Если же образец всплывает, то, обсушив, его переносят в сосуд с раствором меньшей плотности.

Испытания заканчивают после нахождения раствора, в котором образец уравнивается (не тонет и не всплывает на поверхность). За плотность образца принимают плотность данного раствора. Если равновесие не достигается, плотность образца определяют как среднее значение плотности двух растворов, в одном из которых образец тонет, а в другом всплывает. Плотность этих растворов должна отличаться на 0,02 г/см³.

Оформление результатов испытания

Результаты испытания заносятся в табл.17.

Таблица 17

Результаты испытаний по определению плотности резины

№ образца	Плотность раствора, г/см ³	Положение образца	Плотность образца, г/см ³
Среднее значение			

Контрольные вопросы

1. Влияние природы каучука на плотность резин.
2. Методы определения плотности резины.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ РАБОТЕ НА ЛАБОРАТОРНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ И ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ

1. К работе на лабораторном оборудовании допускаются учащиеся, прошедшие инструктаж по охране труда и освоившие приемы работы на нем.

2. Работу ведут в халате с застегнутыми рукавами и головном уборе.

3. На вулканизационном оборудовании работают в рукавицах, на термостатах – в перчатках.

4. Лабораторную работу выполняют только под наблюдением преподавателя или лаборанта.

5. Перед началом работы студент должен тщательно осмотреть оборудование и убедиться в его исправности и чистоте. Затем включить машину и проверить исправность кнопочных включателей, аварийных и предохранительных устройств, привода, ограждений, системы смазки, трубопроводов и вентиляей.

6. На оборудовании, не имеющем ограждений на движущихся частях машины, работать запрещается.

7. При неисправностях оборудования, замеченных в начале и в ходе работы, студент должен немедленно выключить машину и сообщить преподавателю.

8. Рабочее место и пол вокруг машины должны быть свободными и чистыми.

9. Во время работы категорически запрещается:

а) класть руки и облакачиваться на вращающиеся части машин, прикасаться к режущим поверхностям;

б) поправлять и подталкивать руками материал во вращающиеся, под режущие и смыкающиеся части машины; передавать инструмент через режущие и вращающиеся части машины;

г) обтирать и чистить машину на ходу;

д) оставлять включенную машину без присмотра;

е) работать на машине студентам, не прикрепленным к данной работе и не прошедшим инструктаж по охране труда.

10. При работе на машинах с вращающимися частями (валками) нужно соблюдать особую осторожность:

а) подрезку резиновой смеси производить ниже средней линии вала;

б) нельзя опираться свободной рукой о валки, стрелки и станины;

в) при затягивании или захвате руки следует немедленно ударить рукой по коромыслу аварийного выключателя.

11. При работе на червячном прессе запрещается стоять против головки машины и подавать материал в зону червяка руками.

12. При пользовании вулканизационным оборудованием и термостатами необходимо осторожно производить перезагрузку, не прикасаясь к горячим поверхностям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнев А. Е., Буканов А. М., Шевердяев О. Н. Технология эластомерных материалов. – М.: ЭКСИМ, 2000. – 287 с.
2. Лепетов В. А. Резиновые технические изделия. – Л.: Химия, 1976. – 440 с.
3. Кошелев Ф. Ф. Общая технология резины. – М.: Химия, 1978. – 528 с.
4. Справочник резинщика: материалы резинового производства. – М.: Химия, 1971. – 607 с.
5. Борзенкова А. Я. Каучуки общего и специального назначения: Тексты лекций по дисциплине «Технология эластомеров» для студентов специальности Т.15.02.00 (специализация Т.15.02.07). – Мн.: БГТУ, 1997. – 106 с.
6. Федюкин Д. Л., Махлис Ф. А. Технические и технологические свойства резин. – М.: Химия, 1985. – 240 с.
7. Лабораторный практикум по технологии резины / Под ред. Н. Д. Захарова. – М.: Химия, 1988. – 256 с.
8. Лабораторный практикум по технологии резины / Под ред. Н. Д. Захарова, Н. В. Белозерова – М.: Химия, 1976. – 240 с.
9. Овчаров В. И., Бурмистр М. В., Тютин В. А., Вербас В. В., Смирнов А. Г., Науменко А. П. Свойства резиновых смесей и резин: оценка, регулирование, стабилизация. – М.: САНТ-ТМ, 2001. – 400 с.
10. Щербина Е. И., Долинская Р. М. Структура и свойства резин. – Мн.: БГТУ, 2004. – 135 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.	3
1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ.	4
Лабораторная работа № 1. Определение вязкости резиновых смесей и склонности к преждевременной вулканизации на вискозиметре Муни MV 2000.	8
2. ВУЛКАНИЗАЦИЯ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ.	12
Лабораторная работа № 2. Определение кинетики изотермической вулканизации на реометре ODR 2000.	16
Лабораторная работа № 3. Определение оптимума вулканизации по изменению физико-механических показателей.	18
3. ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ РЕЗИН ПРИ МНОГОКРАТНЫХ ДЕФОРМАЦИЯХ	20
Лабораторная работа № 4. Испытание резин на многократное растяжение.	23
Лабораторная работа № 5. Определение сопротивления резин образованию и разрастанию трещин при изгибе.	25
4. ОЦЕНКА ЭЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕЗИН.	28
Лабораторная работа № 6. Определение эластичности резин.	29
5. ИСПЫТАНИЯ РЕЗИН НА ТВЕРДОСТЬ	31
Лабораторная работа № 7. Определение твердости по Шору.	33
6. ИСПЫТАНИЯ РЕЗИН НА ИСТИРАНИЕ.	35
Лабораторная работа № 8. Определение сопротивления резин истиранию при скольжении на машине МИ-2.	36
7. СТОЙКОСТЬ РЕЗИН К ВНЕШНИМ НЕМЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ.	40
Лабораторная работа № 9. Определение стойкости резин к тепловому старению.	46
Лабораторная работа № 10. Определение химической стойкости резин, находящихся в ненапряженном состоянии, к воздействию жидких агрессивных сред.	48
8. МОРОЗОСТОЙКОСТЬ РЕЗИН.	52
Лабораторная работа № 11. Определение морозостойкости резин при растяжении.	55
9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ РЕЗИН.	58
Лабораторная работа № 12. Определение плотности резины.	59
Литература.	65

Учебное издание

Шашок Жанна Станиславовна
Касперович Андрей Викторович

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛАСТОМЕРОВ

Лабораторный практикум
В 2-х частях
Часть 2

Редактор М. Ф. Мурашко

Подписано в печать 04.05.2006. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 3,8 . Уч.-изд. л. 4,0.
Тираж 50 экз. Заказ

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050. Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0133255 от 30.04.2004.

Отпечатано в лаборатории полиграфии учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220050. Минск, Свердлова, 13.
ЛП № 02330/0056739 от 22.01.2004