

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Ж. С. Шашок, К. В. Вишневский

# ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛАСТОМЕРОВ

*Рекомендовано  
учебно-методическим объединением  
по химико-технологическому образованию  
в качестве учебно-методического пособия  
для студентов учреждений высшего образования  
по специальности 1-48 01 02 «Химическая  
технология органических веществ,  
материалов и изделий» специализации  
1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров»*

Минск 2018

УДК 678.074(075.8)  
ББК 35.72я73  
Ш32

**Р е ц е н з е н т ы :**  
кафедра высокомолекулярных соединений  
Белорусского государственного университета  
(заведующий кафедрой доктор химических наук,  
профессор *Л. П. Круль*);  
первый заместитель генерального  
директора – главный инженер  
ОАО «Белшина» *С. Н. Каюшников*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».*

**Шашок, Ж. С.**

Ш32      Технология переработки эластомеров : учеб.-метод. пособие 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, К. В. Вишневский. – Минск : БГТУ, 2018. – 123 с.  
ISBN 978-985-530-660-4.

В учебно-методическом пособии рассмотрены новейшие достижения в области подготовки сырья и материалов для изготовления резиновых смесей; механизм и особенности смешения каучуков с ингредиентами при использовании различных видов смесительного оборудования; процессы каландрования, шприцевания и формования резиновых смесей; методы и способы вулканизации резиновых изделий.

Пособие является основой для изучения дисциплины «Технология переработки эластомеров».

**УДК 678.074(075.8)  
ББК 35.72я73**

**ISBN 978-985-530-660-4** © УО «Белорусский государственный технологический университет», 2018  
© Шашок Ж. С., Вишневский К. В., 2018

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Изделия на основе эластомеров находят широкое применение благодаря своим специфическим свойствам: высокой эластичности, амортизационной способности, хорошему сопротивлению износу, усталостно-прочностным характеристикам, тепло- и морозостойкости, бензо- и маслостойкости, тепло-, газо- и влагонепроницаемости.

Производство изделий из эластомеров характеризуется разнообразием технологических процессов и типов применяемого оборудования и машин. Для получения высококачественного резинотехнического изделия необходимо учитывать ряд факторов, связанных с особенностями строения каучуков и условиями их переработки.

Последовательность производственных процессов и тип основного оборудования должны учитываться инженером-технологом при определении взаимосвязи между видом используемого сырья и параметрами технологических операций.

При разработке изделий на основе эластомеров необходимо знать основные закономерности возможных изменений свойств каучуков и ингредиентов в процессе хранения, изготовления резиновых смесей, формования заготовок и вулканизации. Кроме того, при выборе способа изготовления изделия нужно учитывать физико-химические взаимодействия и характер химических реакций, протекающих между компонентами в процессах переработки эластомерных композиций.

В данном пособии подробно изложены вопросы хранения и подготовки сырья к процессу изготовления резиновых смесей, приведены особенности процесса смешения при использовании различных видов смесительного оборудования; представлены основные виды оборудования, используемого при формовании резиновых смесей, а также рассмотрено влияние технологических факторов на процесс вулканизации; описаны технические способы вулканизации резиновых изделий, понятия и особенности переработки эластомеров с учетом современных тенденций и достижений в области производства резинотехнических изделий.

# 1. ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

В основе изготовления резиновых смесей и резиновых изделий лежат процессы, связанные с механическим деформированием материалов, обеспечивающие перемешивание компонентов смеси, придание резиновой смеси определенных форм и размеров и вызывающие также механохимические явления. Поэтому главным условием правильного применения необходимого технологического процесса и оборудования является понимание поведения каучуков и резиновых смесей в процессе их деформирования, т. е. их механических свойств.

По своим механическим свойствам эластомеры обнаруживают черты твердых и жидких тел, т. е. упругих и вязкотекучих, но в то же время и качественно отличаются от них. Как известно, в идеально упругих твердых телах напряжение пропорционально соответствующей деформации, развивающейся мгновенно, и не зависит от скорости приложения напряжения. В вязких жидкостях напряжение определяется скоростью деформации и не зависит от ее величины. В эластомерах же напряжение зависит и от величины, и от скорости деформации. Эта особенность может быть определена как вязкоупругое и высокоэластическое поведение материалов.

Резина отличается большими деформациями при сравнительно низких напряжениях. Твердые же упругие тела, наоборот, характеризуются большими напряжениями при низких деформациях. Есть определенные отличия и между каучуком и резиной. Если вести деформацию при бесконечно малой скорости, то в каучуке напряжение падает практически до нуля, т. е. он обнаруживает явные признаки вязкой жидкости. В резине же с понижением скорости

деформации напряжение снижается, но до некоторого конечного значения, т. е. резина ближе по механическому поведению к твердому упругому телу.

Таким образом, одной из главных особенностей механических свойств эластомеров, общей для каучуков и резин и отличающей их от упругих твердых тел, является существенная зависимость напряжения от времени действия силы или скорости деформации, т. е. известное явление релаксации напряжения или деформации. Зависимость напряжение – деформация носит сложный релаксационный характер. В свою очередь, релаксационные свойства зависят от температуры, повышение которой увеличивает скорость релаксации и, таким образом, изменяет механические свойства эластомеров. При данной скорости деформации напряжение в нешитых эластомерах может снижаться до нуля, а в шитых эластомерах (резинах) – до некоторого конечного значения, обусловленного степенью сшивания. Эта особенность поведения эластомеров должна учитываться технологом при разработке режимов переработки эластомеров.

В реальных условиях эксплуатации резин и переработки эластомеров практически не встречаются случаи очень малых скоростей деформации, поэтому механические свойства эластомеров при конечных скоростях деформации будут определяться как ее равновесными свойствами, так и релаксационными.

Следует далее учитывать, что механические свойства эластомеров могут обратимо и необратимо изменяться под воздействием механических и немеханических факторов. Известно, что после воздействия деформации, хотя бы кратковременной, механические свойства изменяются, особенно в наполненных эластомерах. Часть этих изменений может быть обратимой (эффект Патрикеева – Маллинза), обусловленной разрушением слабосвязанной структурной сетки, часть – необратимой, обусловленной механохимическими процессами разрушения структуры и химических валентных связей.

Среди немеханических факторов может быть воздействие теплоты, влияющей на процессы релаксации и приводящей к обратимому изменению свойств. При достаточно длительном воздействии теплоты и в присутствии кислорода воздуха, а также под влиянием других агрессивных веществ или сред происходят значительные необратимые изменения, связанные с необратимым

разрушением первоначальной структуры и приводящие к существенным изменениям механических свойств.

Технология производства шин и резиновых технических изделий (РТИ) включает в себя ряд операций, переходов и превращений сырья и исходных материалов. Переработка сырья в изделия на заводах резиновой промышленности заключается в изменении его свойств, состояния, формы и размеров в результате физико-механических воздействий и химических превращений. Совокупность целенаправленных действий по превращению сырья и материалов в готовое изделие в промышленности называется технологическим процессом.

Общая технологическая схема производства резиновых изделий из каучуков включает в себя следующие (рис. 1), общие для большинства изделий, процессы:

- прием, хранение и транспортирование каучуков, ингредиентов и армирующих материалов;
- подготовку и обработку каучуков и ингредиентов;
- развеску и дозирование материалов;
- приготовление резиновых смесей;
- формование резиновых смесей: каландрование, прорезинивание тканей на каландрах, шприцевание;
- изготовление каландрованных и шприцованных резиновых заготовок и прорезиненных тканей на детали;
- изготовление резиновых клеев, прорезинивание (шпредингование) тканей;
- сборку (конфекцию) из деталей сложных изделий;
- вулканизацию резиновых изделий.

Из материала с ярко выраженными пластическими свойствами в итоге получают эластичное изделие, в идеале не способное к пластическим деформациям. Для того чтобы осуществить смешение и различные процессы формования, каучук и резиновая смесь должны иметь определенную пластичность, т. е. способность к необратимым деформациям. Таким образом, суть всего технологического процесса выглядит как придание каучуку пластических свойств, достигаемое механической или тепловой обработкой и добавкой необходимых веществ, сохранение этих свойств на всех этапах технологического процесса и превращение полученного материала путем вулканизации в резину, т. е. высокоэластичный материал, не обладающий пластическими свойствами.

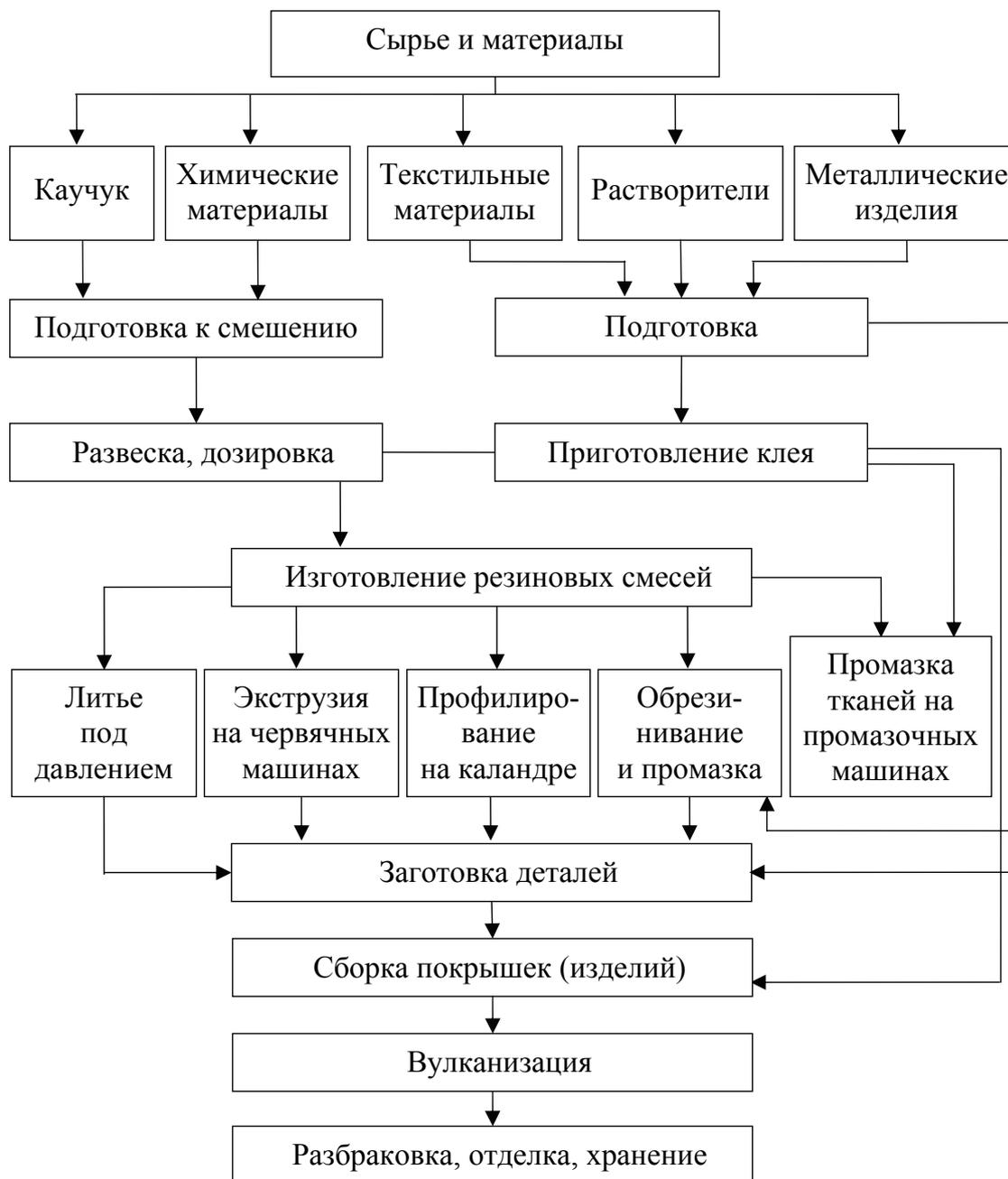


Рис. 1. Общая технологическая схема производства резиновых изделий

В основе обоснования разумного сочетания параметров изготовления и эксплуатации резин лежит подбор их каучуковой основы и соответствующих ингредиентов – от вулканизирующей группы до модифицирующих добавок. В свою очередь рецептура композиций, конфигурация и форма изделий, требования к ним определяют необходимость подбора и обоснования химико-технологических процессов переработки эластомеров.

## 2. ПРИЕМ, ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ КАУЧУКОВ И ИНГРЕДИЕНТОВ

Необходимый запас сырья на заводе должен обеспечивать бесперебойную работу в течение определенного календарного периода, что соответствует хранению десятков тысяч тонн грузов более 50 наименований, упакованных в различную тару (коробки, цилиндрические барабаны, бумажные мешки) или без нее. Следует учитывать высокую интенсивность поступления грузов, необходимость быстрой разгрузки вагонов и автомашин, чтобы исключить простои и обеспечить разгрузку других прибывающих транспортных средств. Эти задачи на ряде заводов решаются путем применения подвесных толкающих конвейеров (ПТК) для подачи поступающего груза с рампы на полуавтоматизированные склады, в основном стеллажного типа. ПТК перевозит подвески с грузом до места перегрузки в складские штабелеры. Применяют краны-штабелеры. ПТК и складские средства (краны-штабелеры, тележки и др.) работают полностью в автоматическом режиме.

Расширение объема контейнерных перевозок позволяет в наибольшей степени механизировать и автоматизировать погрузочно-разгрузочные и транспортные операции. В связи с необходимостью использовать различные приспособления, захватные и штабелирующие устройства большое внимание уделяется унификации контейнеров. Кроме того, применяют специализированные поддоны и контейнеры самых различных форм и размеров, которые используются внутри склада либо для подачи грузов со склада на рабочие участки в производство.

Сырье поступает на завод по железной дороге, автотранспортом, упакованное в мешки, бочки, контейнеры, цистерны, в специаль-

ных вагонах-хоппрах и подается в автоматизированные высотные стеллажные склады, что позволяет контролировать массу и тип прибывающих грузов, определить место их хранения, управлять транспортными системами и краном-штабелером для приема и выдачи в производство.

Стеллажные склады имеют высоту 12–15 м и более (до 35 м на некоторых зарубежных заводах), в которых сырье расходуется по принципу «первым загружен – первым выгружен». Склады сырья, материалов и готовой продукции расположены близко к производственным цехам и связаны с ними конвейерными и другими системами для подачи сыпучих и твердых материалов и трубопроводами – для жидких материалов.

## 2.1. Условия хранения каучуков

По условиям производства и зачастую в связи с удаленностью заводов, потребляющих каучук, от заводов-изготовителей иногда приходится хранить значительные запасы каучука в течение длительного времени. При хранении его свойства могут существенно ухудшаться, причем основным процессом, вызывающим разрушение каучука, является окисление (старение).

Скорость процесса старения зависит от гидротермического и светового режима склада. Основным условием хранения является постоянство температуры и влажности воздуха в помещении складов, т. е. соблюдение режима, при котором не может происходить конденсация влаги на каучуке. При наличии конденсирующейся влаги ускоряется процесс старения каучуков и создаются условия для развития бактериальных процессов на каучуке и на таре, что может привести к их разрушению. Практически установлено, что оптимальными условиями хранения является температура 10–15°C при относительной влажности воздуха 70–75%. При повышении температуры на 10°C старение ускоряется в 2 раза.

Желательно, чтобы полы склада были деревянные, так как при этом снижается возможность конденсации влаги на полу. Кипы каучука хранятся на деревянных поддонах. При необходимости естественного освещения склада оконные стекла должны быть окрашены в желтый или зеленый цвет.

Контрольно-измерительные приборы – термографы и гигрографы – устанавливаются в складском помещении на уровне нижнего ряда штабеля, на удалении от дверей, ворот и продухов.

Все синтетические каучуки, подлежащие хранению, должны быть стабилизированы эффективными противостарителями. При хранении синтетических каучуков значительные изменения в них происходят в первые 2–3 месяца. После этого срока свойства большинства синтетических каучуков сохраняются без заметных изменений.

Высшие сорта смокед-шитса можно хранить в течение длительного времени, второй сорт – менее длительно; непригоден к хранению натуральный каучук низших сортов. При хранении натурального каучука особенно важно следить за тем, чтобы в нем не появилась плесень. Плесень развивается вследствие наличия в каучуке белков, которые являются для углеводорода каучука защитными веществами, предохраняющими его от окисления. По мере распада белков под действием плесени каучук начинает быстро окисляться. Партии каучука, начавшего окисляться, должны быть немедленно удалены со склада, так как дальнейшее присутствие их может способствовать окислению здорового каучука, особенно при хранении его в штабелях без упаковки.

При организации хранения, транспортировки и дальнейшей переработки учитывают выпускную форму каучуков. Наиболее распространенной товарной формой синтетических каучуков являются брикеты массой  $30 \pm 0,5$  кг размером  $660 \times 330 \times 180$  мм в полиэтиленовой упаковке. Обычно такие брикеты упаковывают дополнительно в бумажные мешки. Каучуки некоторых марок выпускают в виде рулонов массой 80–100 кг и упаковывают в тканевые мешки. В процессе хранения происходит деформация брикетов и рулонов, особенно хладотекучих полимеров (бутилкаучук, СКД), поэтому подобные каучуки хранятся в таре с жесткими стенками.

## **2.2. Хранение порошкообразных ингредиентов**

### **2.2.1. Бестарное хранение порошкообразных ингредиентов**

Одними из порошкообразных ингредиентов, расходуемых в значительных объемах, являются наполнители, в частности технический углерод.

В промышленности используются два типа складских помещений для хранения наполнителей: 1) бункерные склады хранения ингредиентов в гранулированном виде; 2) склады тарного хранения различных ингредиентов в негранулированном виде.

Ингредиенты, расходующиеся в больших количествах, целесообразно транспортировать и хранить в незатаренном виде. Их хранят в специально сооружаемых складах. Емкость склада определяется необходимым запасом материала, согласно графику поставки сырья, обеспечивающим бесперебойную работу производства. Подобные склады на заводах по переработке эластомеров используются для хранения технического углерода.

Бункерный склад приема, хранения и передачи в производство различных видов технического углерода является сложным техническим сооружением (рис. 2) высотой более 32 м. Гранулированный технический углерод поступает на склад в специальных бункерных железнодорожных вагонах 1. Из вагона технический углерод ссыпается по гибким рукавам 2 и трубопроводам 3 в приемные воронки подрельсовых конвейеров 4 с погружными скребками. Далее при помощи наклонных скребковых конвейеров 5 он подается к распределительным трубопроводам 10 и реверсивными винтовыми конвейерами 9 – к элеваторам 18 для подъема в большие бетонные бункера (силосы) 16.

Каждый тип технического углерода хранится на складе в одном определенном силосе 16. Из силосов технический углерод подается в производство при помощи двухвинтовых конвейеров 6 и скребковых конвейеров 7 и далее реверсивными винтовыми конвейерами 8 и элеваторами 19 к промежуточным бункерам 17. Из промежуточных бункеров технический углерод транспортируется скребковыми или винтовыми конвейерами в расходные бункера, расположенные около резиносмесителей. Число силосов и транспортных систем в бункерном складе завода зависит от количества различных типов технического углерода, используемых в производстве. В таком силосе может храниться до 70 т, что связано с его невысокой насыпной плотностью (0,3–0,6 т/м<sup>3</sup>). Одна такая транспортная система разгрузки и передачи технического углерода из железнодорожных вагонов может подать в силосы 20 т/ч, а производительность транспортной системы, выдающей технический углерод из силосов в производство, составляет 6 т/ч.

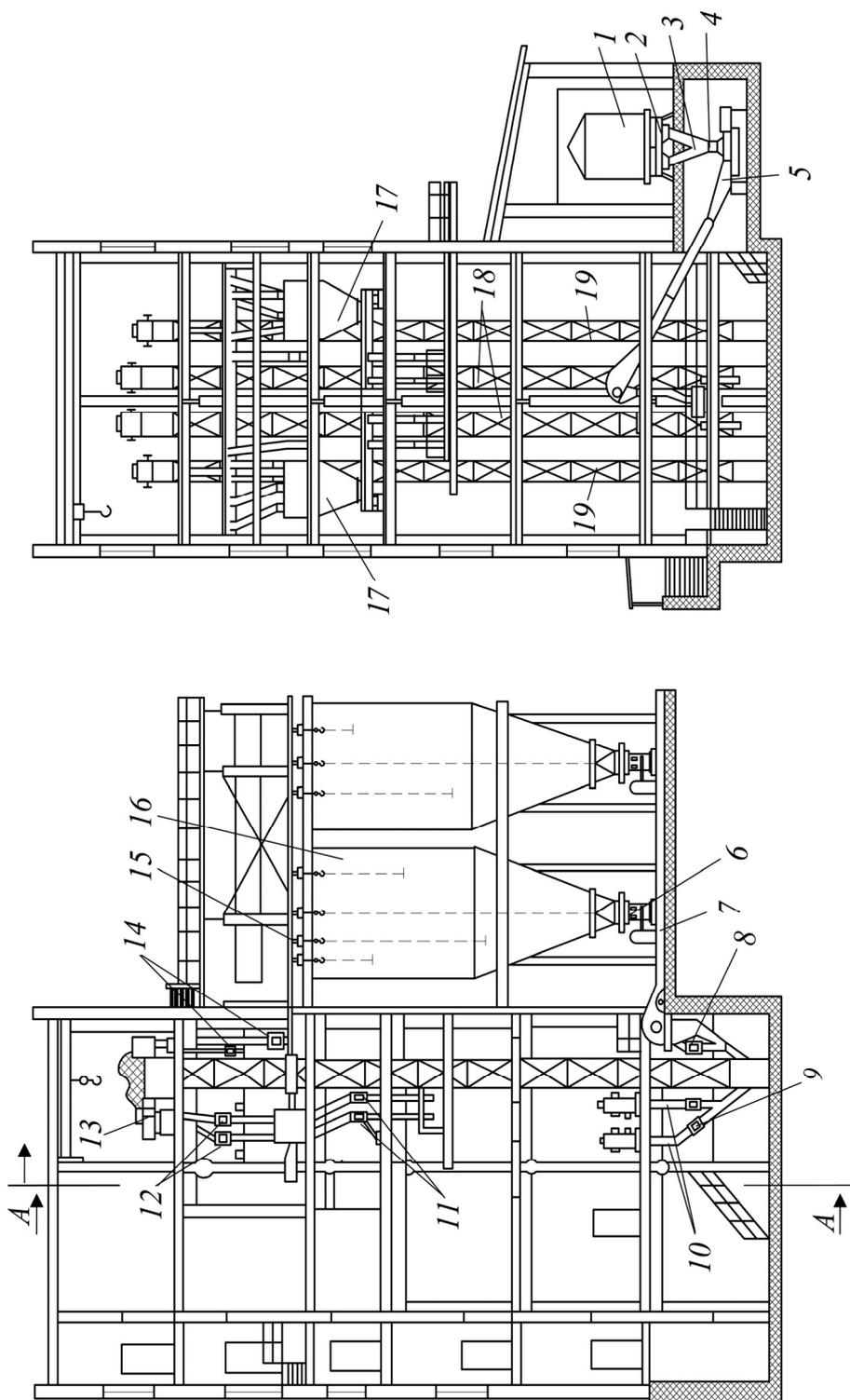


Рис. 2. Бункерный склад технического углерода:

1 – железнодорожный вагон-хоппер; 2 – гибкий рукав; 3, 10 – трубопроводы; 4 – подрельсовый конвейер; 5 – скребковый конвейер; 6 – двухвинтовой конвейер (питатель-разгрузчик); 7 – скребковый конвейер подачи технического углерода из силосов в производство; 8, 9, 11, 12–14 – реверсивные винтовые конвейеры; 15 – распределительный скребковый конвейер; 16 – силос; 17 – промежуточный бункер; 18 – элеватор подъема технического углерода в силосы; 19 – элеватор подачи технического углерода в производство

Расходные бункера предназначены для создания в зоне резиносмесителя технологического запаса и промежуточного хранения порошкообразных ингредиентов перед подачей питателем к дозирующему устройству. В бункере устанавливаются реле верхнего и нижнего уровней материала; для предотвращения сводообразования применяются различные устройства: пульсаторы-сводоразрушители, вибраторы, пневмопушки.

### 2.2.2. Тарное хранение порошкообразных ингредиентов

Кроме бункерных складов, как упоминалось выше, используются склады тарного хранения порошкообразных ингредиентов. Для ингредиентов, расходуемых в небольших количествах в качестве тары используются чаще всего мешки различного объема, для расходуемых в больших количествах – применяются мягкие контейнеры типа «big-bag» и «liner bag».

«Big-bag» (биг-бэг) – контейнер из полипропиленовой ткани грузоподъемностью до 3000 кг, имеющий от одной до четырех петель (строп).

Подобные контейнеры могут комплектоваться полиэтиленовыми вкладышами различной толщины и иметь специфические свойства, такие как термостойкость, антистатичность. Полиэтиленовые вкладыши могут быть как вложенными внутрь контейнера, так и прикрепленными к самому контейнеру, также могут иметь горловину различной ширины и конфигурации для облегчения использования загрузочно-разгрузочных станций.

В настоящее время разработаны специальные разгрузочные устройства (рис. 3) для мягких контейнеров, которые предусматривают разгрузку контейнеров типа «big-bag» и подачу сыпучих ингредиентов к расходным бункерам, весам или транспортным системам в подготовительных производствах шинных, кабельных заводов и заводов РТИ. Устройство разгрузочное может поставляться в комплекте со спиральным конвейером для подачи сыпучих ингредиентов в бункерное оборудование или транспортные системы (рис. 3, а) либо с винтовым питателем для подачи сыпучих ингредиентов на весы (рис. 3, б), в этом случае «big-bag» выполняет функции расходного бункера.

В состав устройства входит электрическая таль с травесой для закрепления контейнера и установки его на разгрузочной воронке. На разгрузочной воронке, установленной на виброопорах,

расположены: электровибратор, уплотнительная мембрана, заслонка шиберная, воздухоотводный патрубок с фильтром.

«Liner bag» (лайнер-бэг) представляет собой своего рода вкладыш, который изготавливается из полипропиленовой или капроновой (полиамидной) ткани и дублирует форму транспортного контейнера. Этот вкладыш иногда называют также Dry Bulk Liner или Dry Bulk Container Liner. Лайнер-бэг может повторять контуры как морского сухогрузного контейнера, так и железнодорожного. В зависимости от того, какой вид погрузочного оборудования планируется применять, возможны любые вариации конструкций передней перегородки вкладыша.

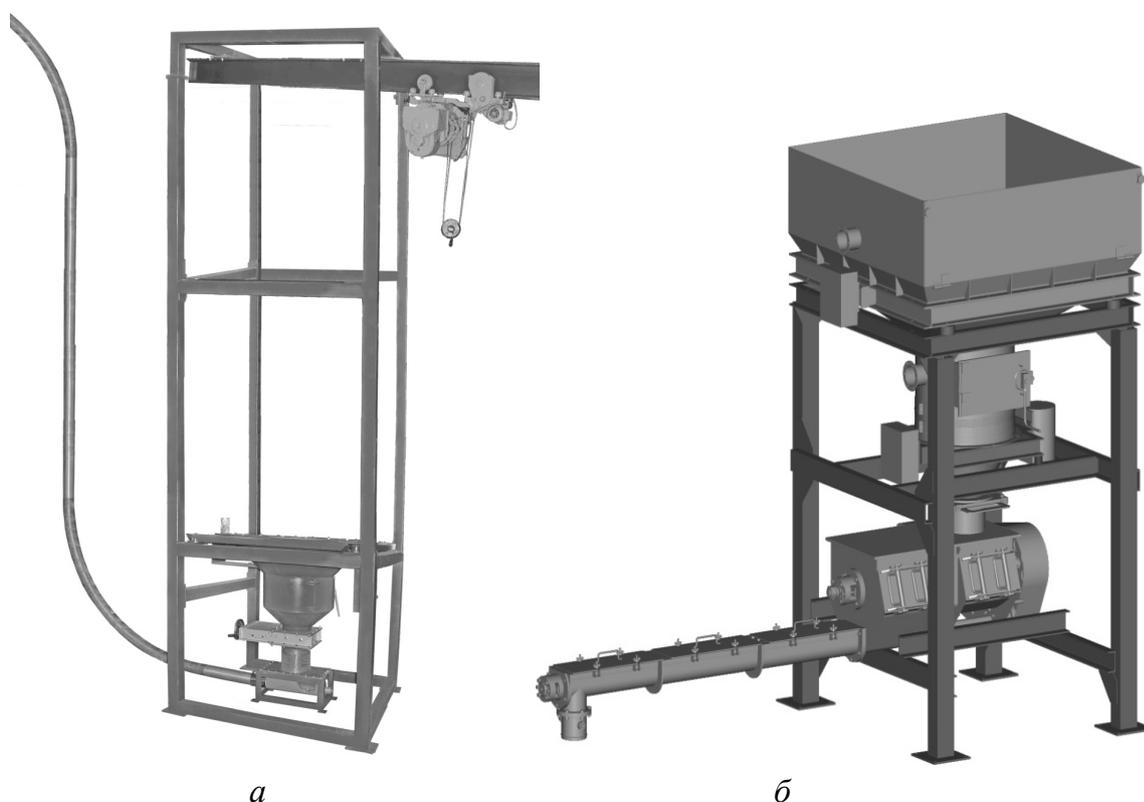


Рис. 3. Устройство разгрузочное для мягких контейнеров со спиральным конвейером (а) или с винтовым питателем (б)

Существует несколько технологий, которые могут применяться для загрузки и выгрузки лайнер-бэга. Наиболее популярными являются гравитационный метод (самотеком) и использование пневмотранспортера. Иногда в качестве загрузочного оборудования могут применяться ленточный или шнековый транспортеры, а также вакуумные линии.

Основными преимуществами подобной тары являются:

- возможность максимального использования полезного объема лайнер-бэга и контейнера, его вмещающего;
- вместительность (грузоподъемность до 37,5 т);
- гарантия защиты груза;
- бесконтактная перевалка груза с широкими возможностями для автоматизации процесса.

### 2.3. Прием и хранение жидких продуктов

Жидкие материалы – масла, дибутилфталат и другие подаются из железнодорожных цистерн по трубопроводу через фильтр в резервуары-хранилища, имеющие, при необходимости, змеевики или паровые рубашки для подогрева материала.

Затем они по трубопроводам перекачиваются в промежуточные расходные емкости, где происходит подогрев, плавление, фильтрация, а затем передача мягчителей на весовой дозатор в подготовительных производствах шинных, кабельных заводов и заводов РТИ. Корпус емкости оснащен рубашкой для циркуляции водяного пара; предусмотрены патрубки для ввода и вывода пара и плавких мягчителей, поступающих из магистралей, и откидная крышка для ввода вручную твердых мягчителей, а также устройство для измерения и автоматического поддержания заданной температуры мягчителей, реле верхнего и нижнего уровня, трехлопастная мешалка с приводом от мотор-редуктора, сетка для фильтрации мягчителей.

Далее жидкие материалы насосом подаются по обогреваемой кольцевой циркуляционной магистрали на автоматические весы. В ходе растаривания, транспортировки и развески ингредиенты безвозвратно теряются.

### 2.4. Транспортирование материалов со складов в производство

В производстве резиновых изделий применяют различные по форме, упаковке материалы: твердые, штучные, насыпные порошкообразные, гранулированные, вязкие, жидкие с разными температурами плавления и др.

При выборе транспортирующих средств необходимо учитывать: вид груза; часовую производительность (т/ч или м<sup>3</sup>/ч); характер перемещаемого материала (абразивность, влажность, склонность к комкованию или слипанию, электризации и т. д.); направление перемещения (горизонтальное, вертикальное, наклонное или комбинированное с перегибами по горизонтали и вертикали); возможность получения наиболее высоких экономических показателей; небольшие затраты на приобретение и установку; малый расход электроэнергии на механизацию погрузочно-разгрузочных работ; надежность работы механизмов; хорошую герметизацию транспортирующих систем, исключаящую выделение пыли, паров и газов в рабочие помещения.

Выбор транспортных механизмов, прежде всего, зависит от поставленной цели и условий работы. Для перемещения материалов в агрегате или в потоке требуется использовать установки непрерывного действия (конвейеры), в то время как для подачи материалов со складов в промежуточные емкости можно применять механизмы периодического действия.

#### 2.4.1. Транспортирование сыпучих материалов

Системы транспортирования сыпучих материалов должны характеризоваться высокой производительностью, исключать загрязнение окружающей среды, обеспечивать минимальное разрушение гранул, высокую долговечность, эксплуатационную надежность и ремонтпригодность. Транспортные средства, пригодные для транспортировки порошкообразных ингредиентов, ограничиваются жесткими требованиями, поскольку многие из них (в особенности технический углерод) обладают большой проникающей способностью и приводят к сильному загрязнению цехов, производственных помещений и окружающей среды, прежде всего из-за образования тонкой пыли при разрушении гранул в процессе транспортировки. На заводах для транспортирования подобных материалов применяют скребковые, ленточные и винтовые конвейеры, пневмовакуумную и контейнерную подачу.

**Скребковые транспортеры** – транспортирующее устройство непрерывного действия, в котором перемещение насыпных грузов осуществляется по неподвижному желобу – рештаку с помощью скребков, закрепленных на одной или нескольких тяговых цепях и погруженных в слой насыпного груза.

Для перемещения технического углерода применяются конвейеры типа «суперфлоу» с погружными скребками из пластмассы, которые меньше разрушают гранулы, несмотря на это, на практике более целесообразно использовать закрытые конвейеры ленточного типа, которые более надежны, герметичны, проще в эксплуатации и меньше пылят.

**Ленточные транспортеры** являются наиболее распространенным типом транспортирующих машин, они просты и производительны. Однако подобные транспортеры неэффективны при перемещении материалов малой плотности, со значительными углами подъема и их трудно герметизировать. Для увеличения угла подъема материала применяются ленточные транспортеры с перегородками (поперечинами) и с гофробортом (бортиками) на ленте, однако технический углерод имеет низкую насыпную плотность и сильно пылит. Поэтому для его транспортировки применяются закрытые ленточные транспортеры. К недостаткам таких конвейеров можно отнести неудобство обслуживания.

**Винтовые транспортеры** состоят из неподвижного желоба, закрытого сверху крышкой, приводного вала с укрепленными на нем витками транспортирующего винта, концевых опор и промежуточной опоры, привода, загрузочного и разгрузочного патрубков. Винтовые конвейеры могут транспортировать груз в горизонтальном, наклонном и вертикальном положениях. Перемещение груза по желобу осуществляется витками вращающегося винта.

К достоинствам винтовых транспортеров относятся: компактность и простота конструкции, полная сохранность пылевидного груза, невысокая стоимость, простота ухода и отсутствие наружных движущихся частей.

К недостаткам подобных транспортеров относятся: большой расход мощности, небольшая длина транспортирования, частичное дробление груза, повышенный износ желоба и винта, что объясняется постоянным перемешиванием груза, кроме того, эти транспортеры достаточно сложны в обслуживании.

Вследствие того, что длинные шнеки часто забиваются подаваемым материалом в местах расположения промежуточных опор, шнековые установки изготавливаются небольшой длины (до 4 м) и расположены каскадом.

Винтовые питатели применяются в системах автоматического дозирования в линиях резиносмещения. Конструкция питателя предотвращает слеживаемость материала в нижней части бункера и обеспечивает равномерную заданную подачу дозируемого материала на весы. Корпус питателя является нижней секцией расходного бункера со встроенными ворошителем и шнеком. Конструкция шнека, выполненная в виде лопаток и винтовой поверхности, является индивидуальной для различных типов материалов. Для более точного дозирования на разгрузочном патрубке питателя устанавливается регулируемый привод.

Наряду с традиционными системами транспортировки на основе ленточных конвейеров и ковшовых элеваторов нашли применение пневмотранспортные установки, которые превосходят механические по многим показателям. Они обеспечивают высокую герметичность системы, условия для очистки внутреннего тракта, а главное – беспыльность. Низкие капитальные затраты, высокая степень механизации и автоматизации, минимальный объем работ по техническому обслуживанию при высокой эксплуатационной надежности являются преимуществами пневмосистем по сравнению с механическими. Трассы трубопроводов могут быть проложены в любом направлении, для размещения оборудования требуется небольшая площадь.

Существует два основных типа пневматических систем: напорные и всасывающие. Применение традиционного способа пневмотранспорта диспергированным потоком для технического углерода является ненадежным, так как из-за повышенной адгезивности на стенках материалопроводов налипает пыль, слой которой увеличивается с течением времени и в конечном итоге приводит к закупорке. Гранулы технического углерода в процессе пневмотранспортирования разрушаются, образуемая пыль также налипает на стенки материалопровода, снижая производительность его транспортировки.

Применение пневмотранспорта с пониженными скоростями и перемещение материала струями над подстилающим слоем позволило значительно снизить деградацию гранул техуглерода, а последующее применение на отдельных участках эластических рукавов или шлангов исключило возможность налипания его на внутренних стенках материалопровода. Кроме того, могут применяться

струйные системы типа «флюид-флекс», а также «флюидная» подача по партиям. Эти два типа больше удовлетворяют требованиям сохранности гранул. В струйных системах типа «флюид-флекс» продукт транспортируется по поливинилхлоридному шлангу с тканевым вкладышем, направленным по спирали. Большая гибкость рабочей трассы препятствует осаждению углерода в шланге и его налипанию на стенки. Кроме того, применяется пневматическое очистительное устройство, которое обеспечивает постоянное вибрирование стенки шланга, что препятствует налипанию углерода и закупориванию рабочей линии. При струйной «флюидной» подаче углерода партии рабочая трасса по всей длине подпитывается сжатым воздухом, скорость которого в рабочем трубопроводе составляет от 2 до 10 м/с.

Основным направлением в совершенствовании пневмотранспорта является увеличение экономичности за счет снижения энергозатрат и повышения надежности работы. Эта задача решается при замене пневмотранспорта с низкими концентрациями пневмотранспортом с высокими концентрациями: псевдооживленным, пробкообразным потоками и др. Получают дальнейшее развитие комбинированные системы пневмотранспортирования, сочетающие различные силы взаимодействия на транспортируемый материал – вибрацию, аэрирование, ультразвук и т. д.

#### 2.4.2. Транспортирование штучных материалов

Для транспортирования штучных материалов применяют подвесные конвейеры, позволяющие перемещать грузы в горизонтальной и вертикальной плоскостях в различном направлении, т. е. в любую точку рабочего пространства. В цехах иногда применяются транспортеры с толкающими тележками, которые двигаются по неподвижным направляющим при помощи тягового элемента (канаты, цепи). Этот тип конвейера позволяет сочетать непрерывность движения тележек с периодичностью процесса.

Тяжелые грузы на небольшие расстояния перемещают подъемными кранами и рольгангами, а имеющие меньшую массу – напольным транспортом.

Каучуки в поддонах могут перемещаться как с помощью ПТК, так и напольным транспортом. Кипы натурального каучука, а также брикеты натурального и синтетического каучуков

транспортируются ПТК или ленточными конвейерами. Для облегчения дозирования на тензометрических транспортерных весах брикеты каучука режут на несколько частей.

#### *2.4.3. Транспортирование жидких и легкоплавких материалов*

Жидкие и легкоплавкие материалы транспортируют по системе трубопроводов под давлением. Для поддержания необходимой температуры в трубопроводах применяют паровой или электрический обогрев. При большом расходе мягчители по обогреваемым трубопроводам перекачиваются в промежуточные расходные емкости подготовительного цеха, затем с помощью циркуляционных насосов – в цеховую циркуляционную систему трубопроводов, откуда дозируются автоматической системой развески в резиносмесители.

### 3. ПОДГОТОВКА КАУЧУКОВ И ИНГРЕДИЕНТОВ К СМЕШЕНИЮ

Каждый каучук имеет свою технологию подготовки перед изготовлением резиновых смесей. Так, синтетические каучуки освобождают от тары и разрезают на куски, масса которых удобна для взвешивания определенных порций с установленной точностью. Каучуки низкой пластичности иногда гранулируют в виде цилиндрических гранул диаметром 10–15 мм и длиной 15–20 мм, что облегчает автоматизацию производства.

#### 3.1. Растваривание и резка каучуков

Кипы натурального каучука (НК) растваривают, снимают с них наружный слой, загрязненный различными включениями. Известно, что при низких температурах НК переходит из аморфного состояния в кристаллическое. Интенсивность кристаллизации НК ускоряется при температурах ниже  $+10^{\circ}\text{C}$ . Кипа закристаллизованного НК требует больших усилий для ее резания и затрат большого количества теплоты на декристаллизацию. На некоторых заводах кипы кристаллического НК разрезают специальными однолезвийными ножами на куски, которые подвергают декристаллизации в механизированных распарочных камерах путем нагрева при повышенных температурах. На других заводах кипы НК после растваривания целиком направляют на декристаллизацию и затем осуществляют их резку многолезвийными ножами.

Для резки каучука в промышленности используют гильотинные, многолезвийные, или многолучевые, ленточные, дисковые ножи. Привод ножей может быть как гидравлический, так

и электромеханический. Большие кипы НК обычно режут на вертикальных или горизонтальных машинах с гидравлическим приводом. Иногда такие машины имеют многолучевые головки, в которых закреплено несколько радиально расположенных лезвий. Машины с такими головками разрезают кипу каучука одновременно на 6, 8 или 10 кусков. Усилие, создаваемое ножом, достигает 1000 кН.

Для резки брикетов и рулонов синтетических каучуков широко применяют дисковые ножи. Они имеют до четырех режущих дисковых устройств. Для облегчения последующей развески каучуков брикеты и рулоны синтетического каучука режут на куски определенной формы и массы. В этом случае агрегаты из нескольких ножей оборудуют специальными закрепляющими и поворотными механизмами, фиксирующими положение брикета или его частей при подаче на резку.

### 3.2. Декристаллизация каучуков, способы и режимы декристаллизации

При хранении каучуки некоторых видов с регулярной структурой молекул (натуральный, хлоропреновый (ХПК)) кристаллизуются, что приводит к повышению их жесткости, затрудняет резку и дальнейшую переработку. При увеличении степени кристалличности на 5% вязкость каучука увеличивается на два порядка. Кристаллизующиеся каучуки при хранении при пониженных и даже комнатной температурах подвергают декристаллизации (распарке), заключающейся в нагреве их до температур выше точки плавления кристаллической фазы. Температура декристаллизации подбирается заведомо большей, чем максимальная температура плавления кристаллической фазы. Декристаллизацию кип НК осуществляют в камерах периодического и непрерывного действия, брикетами или предварительно разрезая их на 4–5 частей. В зависимости от времени года каучук выдерживают от 6 до 24 ч в камере при температуре 60–80°C.

Продолжительность распарки ХПК зимой – 6 ч, летом – 4 ч в распарочных камерах периодического действия при температуре 60–70°C. При распарке гранул в растаренном виде на специальных поддонах продолжительность операции уменьшается на 30–50%.

Увеличение продолжительности и повышение температуры декристаллизации приводит к увеличению усадки наполненных смесей при шприцевании, росту их склонности к подвулканизации и снижению пластичности. Пластичность же самих каучуков повышается с ростом температуры и продолжительности декристаллизации.

В зависимости от количества потребляемого на заводе кристаллизующегося каучука применяются различные способы декристаллизации. Если количество потребляемого кристаллизующегося каучука невелико, то декристаллизацию проводят в распарочных камерах периодического действия размером  $5 \times 6 \times 5$  м; камеры обогревают горячим воздухом. Камеры такого типа несложны по конструкции и просты в обслуживании. Однако при их использовании необходимо иметь большой запас каучуков. Кроме того, в этих камерах не обеспечивается равномерный разогрев кип каучука по всей массе и происходит окисление поверхности каучука. Более производительна декристаллизация НК в камерах непрерывного действия в течение 6–7 ч при температуре  $90\text{--}100^\circ\text{C}$ , осуществляемая с помощью люлечного цепного конвейера ( $v = 0,7$  м/мин, емкость люльки 100 кг).

Натуральный каучук при большом его потреблении декристаллизуют на специальных установках в поле токов высокой частоты. При помещении кип каучука в высокочастотное электрическое поле с переменной частотой 20–75 МГц тепло генерируется по всей толщине каучука. Продолжительность разогрева кип каучука до  $40\text{--}50^\circ\text{C}$  составляет 25–50 мин. Известны установки для декристаллизации каучука токами высокой частоты непрерывного и периодического действия. Установки непрерывного действия состоят из нескольких последовательно расположенных камер, через которые по специальному транспортеру двигаются кипы каучука, а установки периодического действия – из одной камеры. Степень декристаллизации каучука проверяют погружением в кипу специальной металлической иглы при постоянном давлении. Если каучук не декристаллизовался, то игла не сможет проколоть кипу за определенное время, и такая кипа поступает на повторную декристаллизацию. Однако широкого распространения установки не получили из-за неравномерного нагрева кип и трудностей, связанных с регулированием процесса.

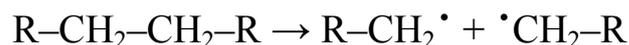
### 3.3. Пластикация каучуков

Натуральный и синтетический каучуки не всегда удовлетворяют требованиям резиновой промышленности по уровню пластичности и эластических свойств.

Эластические свойства каучука, очень ценные в резиновых изделиях, при изготовлении резиновых смесей оказывают отрицательное влияние на процессы их обработки, так как механические усилия затрачиваются непроизводительно на обратимые деформации. Под влиянием механических и тепловых воздействий пластичность каучука может увеличиваться. Технологический процесс и само явление, в результате которого повышается пластичность каучука, снижается его вязкость и эластическое восстановление, называется пластикацией. При пластикации также изменяются физические свойства каучука, что оказывает влияние на свойства резиновых смесей и вулканизатов. В настоящее время пластикация объясняется деструкцией макромолекул каучука и снижением его молекулярной массы под действием механических напряжений и окислительных процессов. Вследствие больших размеров молекулярных цепей энергия межмолекулярного взаимодействия макромолекул каучука превышает прочность отдельных химических связей. Поэтому при сдвиговых усилиях в молекулярных цепях могут возникнуть напряжения, способные преодолеть энергию валентных связей между атомами цепи.

Разрыв макромолекул каучука под действием механических напряжений возможен, если размер этих макромолекул превышает некоторое минимальное значение, определяемое природой и структурой полимера и скоростью деформации. Разрыву молекулярных цепей каучука при механической обработке способствует образование физических «зацеплений» и «захлестов» (переплетений) макромолекул, число которых повышается с увеличением молекулярной массы полимера и его разветвленности.

При механическом воздействии в момент, когда концентрация напряжения на данном участке полимерной цепи превосходит прочность связей между метиленовыми группами макромолекул, происходит разрыв цепей (преимущественно в середине молекул) с образованием реакционноспособных радикалов:



Дальнейшее протекание реакции со свободными радикалами зависит от многих условий. В отсутствие кислорода и низкомолекулярных акцепторов радикалы могут рекомбинировать, и в этом случае пластикация не наблюдается. Они могут взаимодействовать с соседними макромолекулами с образованием разветвленных макромолекул, что приводит к увеличению молекулярной массы полимера. В присутствии кислорода могут происходить преимущественно реакции взаимодействия свободных радикалов с кислородом, что способствует увеличению массы полимера. Дальнейшие превращения в полимере будут зависеть от активности образовавшихся пероксидных радикалов и его природы.

При механической обработке в массе полимера возникают напряжения, определяемые его вязкостью, температурой и скоростью деформации. С повышением температуры вязкость каучуков и, соответственно, напряжения, возникающие при их переработке, уменьшаются, что должно приводить к понижению деструкции.

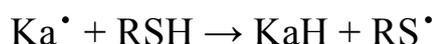
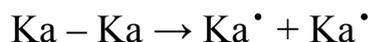
Одновременно при повышении температуры ускоряются термоокислительные процессы, а следовательно, должна повышаться деструкция. Эти взаимно противоположные процессы изменения приводят к сложной температурной зависимости скорости пластикации. Минимальная деструкция макромолекул натурального каучука при механической обработке на воздухе наблюдается при температурах 80–115°C. Взаимодействие кислорода со свободными радикалами, образующимися при разрыве молекулярных цепей полимера под действием механических напряжений, сильно проявляется при пластикации натурального каучука в различных средах.

Проведение процесса пластикации с большой скоростью характерно для изопреновых и хлоропреновых каучуков серного регулирования. Кроме кислорода, на скорость пластикации сильное влияние оказывают некоторые низкомолекулярные добавки. Ингибиторы окисления замедляют пластикацию, особенно при повышенных температурах, когда в основном происходит термомеханическая деструкция.

Механизмы низкотемпературной и высокотемпературной механической пластикации НК и молекулярно-массовое распределение в таких пластикатах одинаковы. Однако при высокотемпературной

пластикация вследствие повышенного окисления каучука эластические свойства вулканизатов ухудшаются.

Для ускорения процесса пластикация применяют вещества – акцепторы свободных радикалов, которые получили название ускорителей пластикация или химических пластификаторов. Их действие в основном сводится к стабилизации полимерных радикалов, образующихся при механической или термоокислительной деструкции макромолекул каучука:



В результате увеличивается эффект пластикация, так как предотвращаются рекомбинация радикалов и их взаимодействие с молекулами полимера. В качестве ускорителей пластикация широкое применение находят некоторые ароматические меркаптаны и дисульфиды. Эффективным ускорителем пластикация является меркаптобензтиазол.

При использовании ускорителей пластикация увеличивается скорость деструкции натурального каучука как при низких, так и при высоких температурах; наибольшую активность они проявляют при температуре выше 80°C. На 100 мас. ч. каучука вводится 0,1–0,3 мас. ч. ускорителей пластикация.

Для хлоропреновых каучуков серного регулирования (наирит СР и КР) эффективными ускорителями пластикация являются ускорители серной вулканизации углеводородных каучуков (меркаптобензтиазол, дибензтиазолилдисульфид, дифенилгуанидин).

Выбор способа и оборудования для пластикация каучуков и технологические условия их обработки зависят от природы каучука, назначения резиновых изделий и необходимой производительности процесса. Некоторые каучуки с целью пластикация подвергаются воздействию тепла и кислорода воздуха (термопластикация), но большинство способов основано на активном воздействии механической энергии (механическая пластикация). Механическая пластикация каучуков может проводиться в червячных, роторных и валковых машинах. Часто процесс пластикация, особенно для синтетического изопренового каучука и полихлоропрена, совмещается с процессом смешения.

### 3.3.1. Термопластикация каучуков

Уменьшить вязкость некоторых каучуков и увеличить их пластичность возможно в результате термоокислительной деструкции при повышенной температуре в присутствии кислорода воздуха, которая получила название термопластикации. При правильном выборе оптимальных температуры и давления воздуха процессы деструкции могут преобладать над структурированием.

В основном термопластикации подвергают жесткие высокомолекулярные (нерегулированные) бутадиен-стирольные каучуки СКС-10, СКС-30 и др. Термопластикация бутадиен-стирольного каучука производится под давлением в горизонтальных котлах, без давления – в камерах прерывного или непрерывного действия. Процесс проводят в автоклавах при 120–140°С и давлении воздуха 0,25–0,30 МПа. Каучук раскладывают в виде узких полосок на металлические противни, помещаемые в автоклав. При термопластикации происходят глубокое окисление и деструкция полимера с увеличением содержания низкомолекулярных фракций, в то время как при механической пластикации наблюдается разрыв наиболее длинных молекул преимущественно в средней части, причем содержание низкомолекулярной фракции не увеличивается.

При увеличении содержания низкомолекулярных фракций в каучуке понижаются эластические и прочностные свойства вулканизатов, поэтому резины на основе термопластиков уступают по свойствам резинам на основе механических пластиков. Сужение молекулярно-массового распределения, которое наблюдается при механической пластикации, может в некоторых случаях способствовать повышению эластических свойств резин.

### 3.3.2. Пластикация каучука в червячных машинах

Наиболее производительным оборудованием для пластикации натурального каучука являются червячные пластикаторы, которые относятся к машинам непрерывного действия. Они применяются на крупных предприятиях, в большом количестве потребляющих этот каучук.

Пластикация каучука в червячных пластикаторах обусловлена сдвиговыми деформациями, возникающими в каучуке в осевом направлении при вращении червяка, и силами трения между

каучуком и стенками цилиндра, каучуком и поверхностью червяка. Напряжение сдвига зависит от вязкости каучука, температуры, скорости сдвига, геометрии червяка, зазора между червяком и стенками цилиндра и других факторов. Скорость сдвига зависит от диаметра червяка и частоты его вращения.

Вследствие трения каучука о стенки камеры и о поверхность червяка, а также в результате внутреннего трения происходит интенсивное нагревание каучука при пластикации. Практически вся потребляемая пластикатором энергия превращается в тепло, которое частично рассеивается в окружающую среду, а в основном уносится охлаждающей водой и нагретым пластицированным каучуком.

В цилиндре червячного пластикатора с червяком диаметром 500–600 мм при частоте вращения червяка 22,5 об/мин поддерживается температура 60–70°C, а в головке 105–115°C. При этом за один пропуск в присутствии ускорителя пластикации получают пластикат П-1 с пластичностью 0,21–0,30. Для повышения пластичности пластикат П-1 необходимо пропустить вторично через пластикатор после его полного охлаждения. Полученный пластикат П-2 будет иметь пластичность 0,31–0,40.

### 3.3.3. Пластикация каучука в закрытых резиносмесителях

Высокие напряжения сдвига в каучуке могут развиваться при его обработке в скоростном резиносмесителе. По сравнению с червячным пластикатором резиносмеситель имеет меньшую поверхность охлаждения, а теплообразование в нем более значительное.

Пластикацию в скоростных резиносмесителях с полным объемом камеры 250 л и частотой вращения заднего ротора 40 об/мин проводят в условиях термоокислительной деструкции, активированной механическим напряжением. Температура пластика при выгрузке его из смесителя достигает 140–180°C.

Для получения пластика П-1 НК необходимо обработать в резиносмесителе в течение 8 мин без ускорителя пластикации и в течение 4–5 мин с ускорителем пластикации. Пластикат П-2 может быть получен при двукратной обработке каучука по 8 мин без ускорителя пластикации в резиносмесителе с промежуточным охлаждением или за 6–8 мин при однократной обработке

с применением ускорителя пластикации. В резиносмесителях производят также пластикацию ХПК (3–4 мин при 100°C). В некоторых случаях пластикацию каучуков в скоростных смесителях совмещают с приготовлением резиновых смесей.

#### 3.3.4. Пластикация каучука на вальцах

Пластикацию каучука на вальцах экономически целесообразно проводить при малых масштабах производства. В начале проведения процесса холодные каучуки обладают высокой эластичностью, и втягивание их в зазор между валками затруднительно. В этом случае необходимо производить загрузку каучуков малыми порциями, при малом зазоре между валками и по возможности ближе к приводным зубчатым колесам. При заправке неразогретых каучуков на их обработку расходуется большое количество энергии, вследствие чего каучук и валки сильно нагреваются. Температурный режим и продолжительность пластикации устанавливаются опытным путем в зависимости от свойств исходного сырья и того, какими свойствами должен обладать полученный пластикат. Чем жестче каучук, чем ниже его температура, тем больше затрачивается механической энергии на его деформацию.

В слоях воздуха, окружающих поверхность каучука, происходит ионизация кислорода, что ускоряет образование пероксидов и деструкцию молекул каучука, а следовательно, увеличивает пластичность и понижает вязкость растворов каучука.

Наибольшее увеличение пластичности наблюдается в первые 10 мин, далее она изменяется крайне медленно. Во время обработки каучука повышается его температура, а также уменьшаются вязкость и коэффициент трения, что приводит к снижению расходуемой энергии. Для получения более однородного по качеству пластиката следует производить его подрезку. Для получения пластиката П-1 (пластичность 0,21–0,30) НК необходимо пластицировать около 12 мин при 50–55°C. Пластикат П-2 (пластичность 0,31–0,40) получают повторной пластикацией охлажденного пластиката П-1. В некоторых случаях для получения смесей с высокой пластичностью каучук подвергают трехкратной пластикации (пластикат П-3 имеет пластичность 0,41–0,50).

На вальцах производят пластикацию бутадиен-нитрильных каучуков, которые не удается пластицировать другими методами, и хлоропренового каучука.

### 3.4. Развеска и дозирование материалов

Все поступающие на завод ингредиенты должны соответствовать международным требованиям, нормам ГОСТов, ТУ (техническим условиям) и специфическим требованиям, установленным заводом-потребителем. В процессе приемки производят лабораторный контроль качества поступающих на завод ингредиентов; методы отбора проб для анализа и методы испытаний предусматриваются нормативными документами. При несоответствии нормам материалы не допускаются в производство.

Для ингредиентов по ГОСТам установлены различные нормы влажности в пределах от 0,2 до 2,5% в зависимости от гигроскопичности материала. При наличии в ингредиентах влажности в пределах норм брака смесей практически не бывает. При повышенной влажности во время смешения с каучуком ингредиенты легко спрессовываются с образованием агломератов, которые трудно затем распределяются в каучуке. Повышенная влажность приводит к понижению адгезии резиновой смеси к ткани и является причиной образования пор при вулканизации.

В резиновой промышленности для изготовления изделий применяют различные резиновые смеси, в состав которых входит большое число компонентов. В резиновых смесях каучуки, мел, каолин, технический углерод и мягчители содержатся в большом количестве; содержание ускорителей вулканизации, противостабилизаторов, замедлителей подвулканизации незначительно.

Для получения резиновых изделий высокого качества компоненты необходимо тщательно взвешивать, так чтобы содержание их в резиновой смеси соответствовало заданному количеству. Дозирование компонентов производится с точностью  $\pm 1\%$ . С применением скоростных смесителей скорость дозирования компонентов должна соответствовать скорости приготовления резиновых смесей.

Самый простой способ дозирования – *ручная (частично механизированная) развеска*; его применяют на сравнительно мелких предприятиях, не имеющих мощного смесительного оборудования.

Компоненты резиновой смеси взвешивают на различных весах и, как правило, в открытой таре подают на участок смешения с помощью электрокаров или ручных тележек. Такая ручная система развески имеет существенные недостатки: низкую производительность,

неудовлетворительные санитарно-гигиенические условия труда и потери ингредиентов за счет распыления.

Ручная развеска повсеместно заменяется полуавтоматическими и автоматическими системами дозирования. Все виды автоматического дозирования представляют собой довольно сложные системы.

**Системы автоматического дозирования** применяют на предприятиях с ассортиментом одновременно выпускаемых изделий не более 20–25, причем число постоянно расходуемых ингредиентов, входящих в состав резиновых смесей для этих изделий, не должно превышать 40–50 наименований.

**Индивидуальная автоматическая система дозирования** предусматривает установку бункеров и емкостей с автоматическими весами, дозаторами и транспортирующими механизмами для всех материалов, поступающих на смешение в резиносмеситель.

Величина навесок, порядок взвешивания и весь режим смешения задаются вычислительными системами или системами, предусматривающими возможность документального и визуального контроля за процессом дозирования и смешения. Для увеличения гибкости управления, возможности визуального наблюдения за ходом технологического процесса и своевременного предупреждения аварийных ситуаций система оборудуется пневмосхемой технологического процесса с сигнализацией о положении и состоянии работы механизмов и с предупредительной и световой сигнализацией, обеспечивающей быстрое нахождение поврежденных участков. Система допускает возможность перехода на ручное управление процессами дозирования и смешения. При использовании индивидуальных автоматических систем дозирования предусматривается оснащение каждого резиносмесителя большим числом бункеров, весов и транспортирующих механизмов, что значительно загромождает помещение. По условиям компоновки обычно не удается установить около смесителя больше 20–25 бункеров для компонентов смеси, что ограничивает возможность применения таких систем.

Оборудование для развески компонентов смеси **при централизованном способе дозирования** является общим для нескольких смесителей и устанавливается на отдельном участке.

Особенности конструкции:

- участок располагается на двух этажах;
- состоит из бункеров, установленных в межэтажном перекрытии, винтовых питателей с отсекателями, весов тензометрических

ковшовых, системы загрузки бункеров, системы аспирации, системы управления;

– загрузка бункеров производится через шкафы загрузочные, установленные на механизмах, позволяющих перемещать шкафы к бункерам;

– бункера для серы оснащены системой защиты от статического электричества;

– уровень загрузки бункеров контролируется датчиками;

– весы и загрузочные шкафы подключены к системе вытяжной вентиляции при помощи вентиляционных воздуховодов;

– развеска химикатов производится в соответствии с подготовленными сменными заданиями, согласно которым пластиковый пакет на разгрузочный патрубок весов закрепляется при помощи механизма крепления пакета. По сигналу системы управления включается заданный питатель и происходит навешивание химиката и выгрузка взвешенной порции в пакет. При взвешивании каждого химиката в отдельный пакет механизм крепления пакета срабатывает после получения навески. При наборе нескольких химикатов в один пакет устройство крепления пакета срабатывает после полного набора навесок. Пакет запаивается и маркируется оператором;

– управление участком может производиться как из операторной, так и с пульта местного управления.

Участок предназначен для развески сыпучих химикатов в пластиковые пакеты с низкой температурой плавления. При этом способе развески непосредственное оснащение смесительных агрегатов бункерами, весами и другим вспомогательным оборудованием не обязательно.

С помощью централизованной автоматической системы дозирования можно изготавливать множество разнообразных резиновых смесей, в состав которых входит большое число компонентов, так как на участке централизованной развески может быть установлено любое число бункеров и дозаторов. Однако участок транспортирования взвешенных материалов к смесительному оборудованию имеет очень сложную систему адресации, что снижает надежность обслуживания сразу нескольких резиносмесителей.

Компоненты, расходуемые в небольших количествах, навески, не превышающие 10 кг, точная дозировка которых имеет чрезвычайно важное значение, рационально дозировать централизованным способом на отдельном участке и доставлять к резиносмесителям в полиэтиленовых пакетах.

Химикаты, входящие в одну закладку для приготовления маточных смесей, распределяют не больше чем в три полиэтиленовых мешка, а для приготовления готовых смесей – в один мешок. Максимальная масса каждого мешка около 12 кг.

На резиновых заводах с большим ассортиментом резиновых смесей и большим числом ингредиентов, входящих в их состав, наиболее широкое распространение получили комбинированные полуавтоматические системы дозирования, с помощью которых наиболее распространенные ингредиенты (технический углерод, мел, каолин и некоторые другие), расходуемые в больших количествах (10–15 кг), взвешиваются автоматически непосредственно у смесителя, а компоненты, расходуемые в малых количествах, дозируются на централизованных участках. Причем подача к смесителям и загрузка компонентов могут быть не автоматизированы. Такие системы дозирования получили название полуавтоматических. Каучуки, регенерат, ускорители, вулканизирующие агенты и материалы, трудно поддающиеся развеске на автоматических весах, взвешиваются вручную. Загрузка этих материалов в резиносмеситель осуществляется оператором или автоматически.

Ускорители вулканизации, вулканизирующие агенты и другие ингредиенты, расходуемые в малом количестве или достаточно редко, обычно дозируют централизованно и упаковывают в полиэтиленовые пакеты; в одном пакете может находиться несколько навесок ингредиентов для одной резиновой смеси. Полиэтиленовые пакеты на участок смешения транспортируют на электрокарах. Иногда компоненты загружают в резиносмеситель вместе с полиэтиленовыми пакетами, при этом температура плавления полиэтилена не должна превышать 100°C. Для смесей на основе каучуков БНК, СКФ, СКТ и некоторых других загрузка ингредиентов в полиэтиленовые пакеты недопустима, так как полиэтилен может ухудшить свойства резин на их основе.

При автоматическом дозировании наиболее широко используют дозаторы, принцип действия которых основан на порционном взвешивании (порционные автоматические весы имеют большую точность взвешивания: 0,5–1,0%). Агрегаты порционных автоматических весов состоят из расходного (питающего) бункера; дозирующего питателя; весового бункера; приемного устройства; ручного и автоматического регулятора точности развески; счетчика, последовательно суммирующего приготовленные навески.

Автоматические весы выпускают различных конструкций и грузоподъемности для взвешивания порошкообразных, кусковых и жидких материалов. При выборе весов необходимо учитывать вид материала, его насыпную плотность, пределы взвешивания одной порции, объем весового бункера или бачка для жидких материалов, продолжительность взвешивания одной порции и допускаемую погрешность.

Прием и взвешивание жидких и расплавленных мягчителей в подготовительных производствах осуществляется также на специальных весах или с помощью расходомеров.

Для взвешивания каучуков и листовой маточной смеси на подготовительных производствах шинных, кабельных заводов и заводов РТИ устанавливаются тензометрические транспортерные весы. Весовой транспортер приводится в движение мотор-барabanом; регулирование скорости транспортера выполняется частотным преобразователем.

Прием сыпучих ингредиентов резиновых смесей от весов и ввод их в резиносмеситель осуществляется при помощи загрузочной емкости. На емкости установлен перекидной клапан для отбора бракованной навески в закрепленный пакет.

Развеска материалов с применением заранее приготовленных композиций экономически целесообразна при массовом изготовлении резиновых смесей одного состава.

На производственном участке, расположенном отдельно от цеха смешения, готовят по заданному рецепту смеси из сыпучих или жидких плавящихся материалов. Эти смеси называют композициями. Композицией называется система, состоящая из нескольких компонентов, в которой компоненты не взаимодействуют друг с другом и число их равно числу составных частей композиции. Особенно целесообразно их использование для материалов, применяющихся в небольших дозировках, так как композиции, приготовленные в обогреваемых мешалках, легче и лучше диспергируются в смесях,готавливаемых в резиносмесителе. Применение композиции в значительной мере уменьшает количество компонентов, загружаемых в резиносмесители, а это обуславливает сокращение числа бункеров, емкостей и автоматических весов и упрощает систему автоматического управления. Кроме того, применение композиций сокращает продолжительность загрузки и процесс смешения, что, естественно, повышает коэффициент использования оборудования.

## 4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Резиновая смесь является сложной вязкоупругой тиксотропной многокомпонентной системой, в состав которой входят каучуки и различные ингредиенты, равномерно распределенные в массе каучука. Для получения резиновых смесей ингредиенты смешивают до образования однородной массы с каучуком, являющимся жидкостью с высокой аномальной вязкостью. В процессе смешения система с упорядоченным расположением ингредиентов превращается в систему с неупорядоченным, статистически случайным распределением.

Простое смешение рассматривается как процесс, в результате которого происходит только изменение первоначального распределения компонентов в объеме. При простом смешении энтропия системы возрастает; при этом физическое состояние компонентов не изменяется.

Большинство порошкообразных ингредиентов, особенно технический углерод, вводят в смесь в виде более или менее крупных агломератов, поэтому процесс смешения сопровождается диспергированием (измельчением) этих компонентов.

Процесс смешения включает несколько этапов: измельчение твердых компонентов; введение компонентов в каучук; распределение компонентов в объеме; диспергирование агломератов; смешение.

### 4.1. Сущность процесса смешения

Механизм смешения компонентов можно рассматривать как деформацию многокомпонентной системы, в результате которой уменьшается толщина полос (слоев) смешиваемых материалов

и увеличивается поверхность контакта между ними (рис. 4). Сдвиговые деформации в системе при смешении должны происходить до тех пор, пока толщина слоев станет достаточно малой и в предельном случае достигнет размера частиц диспергируемой фазы.

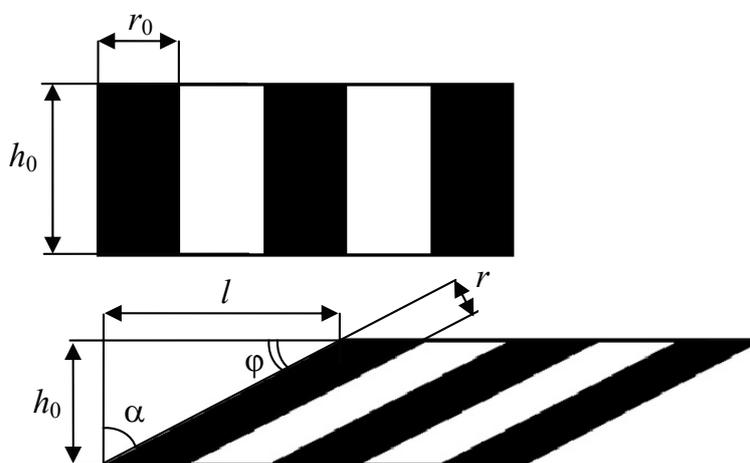


Рис. 4. Схема сдвига слоев материала при смешении

В соответствии с этой схемой деформация сдвига между двумя параллельными плоскостями выражается безразмерной величиной:

$$\gamma = l / h_0 = \text{ctg } \varphi = \text{tg } \alpha.$$

Уменьшение толщины слоев и увеличение поверхности раздела между компонентами будут зависеть от деформации сдвига. Общая деформация сдвига будет равна произведению скорости сдвига и продолжительности смешения:

$$\gamma_{\Sigma} = \bar{\dot{\gamma}} \cdot t.$$

Диспергирование ингредиентов в полимере происходит в результате воздействия на частицы диспергируемой фазы напряжений сдвига, возникающих вследствие существования относительного движения в системе полимер – частица.

Увеличение напряжений сдвига всегда способствует интенсификации диспергирования. Для каждой системы существует свое критическое напряжение сдвига, ниже которого оно не происходит.

При недостаточном диспергировании могут ухудшиться свойства вулканизатов.

Для того чтобы получить вулканизаты с хорошими свойствами из резиновых смесей, имеющих низкую вязкость, когда напряжения сдвига незначительны, необходимо увеличить продолжительность смешения, т. е. деформацию сдвига.

При увеличении пластичности каучука (при снижении вязкости) оптимальная деформация сдвига увеличивается до 2300–2600.

Процесс смешения каучука с ингредиентами сопровождается рядом физико-химических и химических явлений, которые существенно влияют на состояние смеси и само смешение.

При смешении происходит диффузия и растворение некоторых компонентов в смеси, что приводит, с одной стороны, к более равномерному их распределению, а с другой (особенно при введении пластификаторов) – к существенному уменьшению вязкости, снижению напряжений сдвига и изменению других реологических характеристик смеси. В случае введения некоторых порошкообразных нерастворимых в каучуке ингредиентов (технического углерода) возможно существенное увеличение вязкости смеси вследствие образования прочной углерод-каучуковой структуры (углерод-каучуковый гель), гидродинамических эффектов и, главным образом, в результате адсорбции каучуков на поверхности частиц наполнителей, а также хемосорбции, активированной механическими напряжениями.

При смешении в результате действия возникающих напряжений сдвига происходят механохимические процессы: деструкция полимера, сопровождающаяся снижением его вязкости (пластикация), и активация взаимодействия полимера с наполнителем, сопровождающаяся увеличением вязкости.

В процессе смешения резиновая смесь вследствие внутреннего трения интенсивно разогревается, что приводит к снижению вязкости смеси и уменьшению напряжений сдвига, ускорению термоокислительных процессов, а также к преждевременной вулканизации смеси.

Действие различных факторов, определяющих процесс смешения, часто оказывается взаимно противоположным, поэтому выбирать режим смешения следует в соответствии с применяемым оборудованием, учитывая состав резиновой смеси, требования, предъявляемые к качеству смеси, и экономические показатели процесса смешения. Для получения резиновой смеси высокого качества необходимо в процессе смешения:

- обеспечить деформацию и напряжение сдвига;

- выбрать достаточные для смешения и диспергирования, но не приводящие к перепластикации смеси;
- определить оптимальные температурные условия процесса, от которых зависят напряжения сдвига, расход энергии при смешении, термоокислительная деструкция каучука и подвулканизация резиновой смеси;
- обеспечить высокую интенсивность процесса, определяющую производительность труда.

## 4.2. Приготовление резиновых смесей на вальцах

Вальцевание проводится с целью пластикации каучуков, изготовления резиновых смесей, введения ускорителей и вулканизирующих агентов в маточную резиновую смесь, получения листов из резиновой смеси перед шприцеванием, каландрованием и др. В технологических процессах вальцевание проводят преимущественно для доработки резиновых смесей после изготовления в закрытых резиносмесителях, для введения вулканизирующей группы и подогрева после «отдыха» перед последующими операциями.

Для приготовления резиновых смесей вальцы используют ограниченно. Они находят применение на предприятиях с малым объемом производства, с большим ассортиментом изделий, для приготовления смесей на основе некоторых каучуков специального назначения (фторкаучуков, акрилатных каучуков и др.), а также для приготовления резиновых смесей с волокнистыми наполнителями.

Обработка материала на валковых машинах в основном происходит в области деформации *ABCD* (рис. 5).

В этой области обработка материала производится под действием сил, возникающих от соприкосновения обрабатываемого материала с поверхностью вращающихся валков. В области *ABCD* на материал действуют растягивающие, сжимающие, сдвигающие силы, а также он подвергается действию статического электричества, возникающего от трения смеси о поверхность валков и повышенных температур. В результате этих воздействий обрабатываемый материал затягивается в постепенно сужающийся зазор, образованный двумя цилиндрическими валками. Захват резиновой смеси, загруженной на вальцы, происходит лишь при значении угла захвата  $\alpha_1$  или  $\alpha_2$ , равного 30–45° (центральный угол, образован-

ный линией центров  $O_1O_2$  и радиусом-вектором, проведенным из центра вращения валка к крайним точкам соприкосновения резиновой смеси с поверхностью валков – точкам  $A$  или  $B$ ). За счет сил адгезии и трения материала о поверхность валков происходит затягивание материала в сужающийся межвалковый зазор  $DC$ .

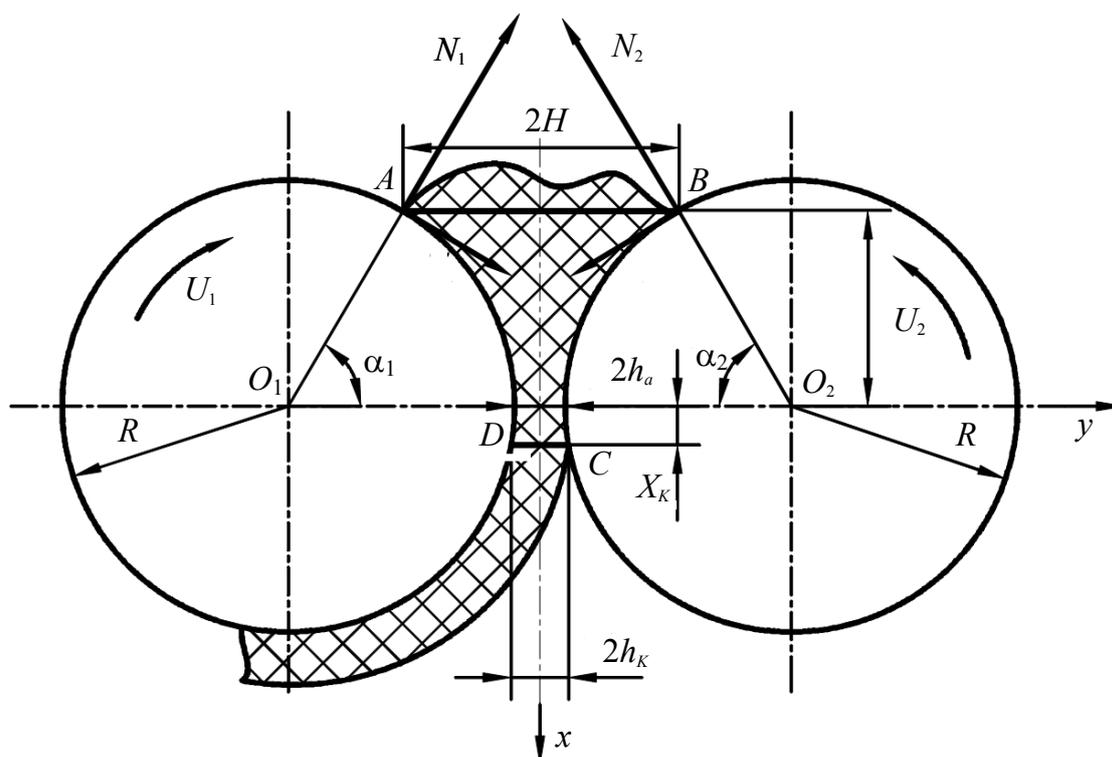


Рис. 5. Схема обработки материала на вальцах

На некотором расстоянии от поверхностей валков есть слои, направление течения которых обратно направлению вращения валков. Эти слои, сталкиваясь, образуют так называемый вращающийся запас резиновой смеси – турбулентное ядро. В межвалковом зазоре в результате деформации материала, сил трения и когезионных сил происходит разогрев резиновой смеси. По выходе из межвалкового зазора резиновая смесь остается, как правило, прилипшей к поверхности переднего валка, поскольку он имеет меньшую скорость вращения и более высокую температуру.

Валки действуют на материал, который одновременно сжимается и проталкивается через зазор между валками. Валки радиусом  $R$  находятся на расстоянии  $2h_a$  друг от друга и вращаются с окружными скоростями  $U_1$  и  $U_2$ . Толщина клина материала на входе в зазор равна  $2H$  и на выходе  $2h_k$ .

Материал, выходящий из зазора, прилипает к одному из валков, вращается вместе с ним и снова соприкасается с участком клина, на котором происходит круговое течение, чтобы потом вновь поступить в зазор. При вальцевании с фрикцией точка застоя градиента скорости и линии тока проходят через области определенной деформации сдвига, и, по сравнению с симметричным вальцеванием, сдвиг материала увеличивается. Однако линии тока остаются замкнутыми, и даже вальцевание с фрикцией не отвечает требованиям, предъявляемым к идеальному смешению, так как ориентированные вдоль линий тока поверхности раздела будут сохранять свое положение.

На практике для устранения этих недостатков применяют подрезку материала. При этом нарушается замкнутость линий тока и материал перемещается в осевом направлении. Если повторять эту операцию достаточно часто, то материал распределяется равномерно. Таким образом, при двухвалковом вальцевании подрезка является неотъемлемой частью технологического процесса. В вальцах для непрерывного смешения применяются автоматические подрезающие приспособления.

Технологическое поведение резиновой смеси на вальцах зависит от режима работы (температуры, величины зазора) и связанного с этим физического состояния материала: упругопластического, вязкоэластического и вязкотекучего. Этим состояниям отвечают совершенно различные режимы и условия вальцевания. При вальцевании необходимо прежде всего обеспечить беспрепятственное и быстрое прохождение жесткой, часто холодной, смеси через зазор валков для образования сплошной, гладкой, плотно прилегающей к переднему валку ленты материала, не допуская ее перехода на задний быстроходный валок; исключить нарушение когезионной сплошности листа резиновой смеси, его скольжение, свивание, «шубление».

Вальцевание смеси при упругопластическом состоянии практически не происходит; наблюдается сильное ее скольжение на входе в зазор между валками. При раздвижении валков распорные усилия аномально резко возрастают при большой жесткости смеси и возможна поломка валков из-за механического расклинивающего эффекта.

При вязкоэластическом состоянии смеси протекает эффективное вальцевание. Смеси плотно облегают медленно вращающийся

валок за счет сил упругости, а величина эластического восстановления смеси при выходе из зазора достаточно велика. При нестабильном упруговязком состоянии смеси возникает явление «шубления». Смесь характеризуется малой упругостью и когезионной прочностью, в результате чего наблюдается нарушение ее целостности и провисание под действием инерционных и гравитационных сил.

При вязкотекучем состоянии вальцевание смеси затруднено, она сильно прилипает к медленно вращающемуся валку, отсутствует ее заметное эластическое восстановление, возможен ее переход на задний валок. Если эластомер находится в вязкотекучем состоянии и минимальные напряжения возникают при максимальном зазоре, то необходимо уменьшить липкость смеси, иначе снять смесь с валка будет трудно.

Для предотвращения перехода смеси на задний валок обрабатывают передний валок канифолью или натирают задний валок стеариновой кислотой, парафином либо мылом.

При отрыве малонаполненных смесей от поверхности валка рекомендуется понизить температуру обработки, а при отрыве высоконаполненной – повысить ее. При переработке смесей с заведомо плохими технологическими свойствами вначале пропускают смесь через узкий зазор, снимая ее тонкой лентой, а затем, после разогрева всей массы материала и перехода ее в вязкоэластическое состояние, увеличивают зазор до оптимальной величины.

Удержание смеси на переднем рабочем валке можно регулировать также изменением температуры валков. Для этого температура переднего валка при обработке смесей на основе изопреновых каучуков должна быть на 5–10°С ниже, чем заднего, а для бутадиеновых, бутадиен-стирольных и других каучуков – выше на ту же величину. Температуру смеси при смешении на вальцах устанавливают в зависимости от свойств смеси; она не должна превышать температуру, при которой происходит активация вулканизирующей группы.

Температуру заднего валка целесообразно поддерживать не выше 70–75°С, а переднего – не выше 45–55°С. При этом максимальная температура вальцевания для изопреновых каучуков составляет 90°С, бутадиен-стирольных – 80°С, полихлоропреновых – 75°С. Температуру смеси и рабочих поверхностей валков контролируют чаще всего игольчатой и лучковой термопарами.

Таким образом, в зависимости от свойств эластомерной композиции все технологические приемы, регулирующие ее поведение при вальцевании, сводятся к варьированию температурного режима валков и величины зазора между ними.

### 4.3. Приготовление резиновых смесей в закрытых резиносмесителях периодического действия

В массовом производстве резиновых смесей применяют главным образом закрытые резиносмесители. При изготовлении резиновых смесей в таких смесителях эластомер рассматривается как главная среда (фаза), в которой диспергируются целевые компоненты (дисперсионная среда). Скорости сдвига в различных точках объема деформируемого материала существенно различаются друг от друга. При этом напряжения сдвига разнятся в 5–6 раз. Наибольшая скорость сдвига наблюдается в зазоре между гребнем ротора и стенкой камеры.

Существенными факторами, влияющими на качество смешения и свойства получаемых композиций, являются: 1) частота вращения роторов и связанная с ней потребляемая энергия; 2) температура смешения и вязкость среды; 3) давление смеси на стенки камеры и связанное с этим давление верхнего пресса резиносмесителя; 4) конструкция смесительных органов и вспомогательных узлов резиносмесителя; 5) степень заполнения рабочей камеры резиносмесителя.

Резиносмесители разделяются на резиносмесители с тангенциальными роторами – *бенбери* и со взаимозацепляющимися (взаимопроникающими) роторами – *интермикс*.

В резиносмесителях с тангенциальными роторами перемешивание материала осуществляется на участке между ротором и кожухом, т. е. по тангенциальному принципу (рис. 6), а в резиносмесителях со взаимозацепляющимися роторами – между двумя роторами, т. е. по взаимопроникающему принципу (рис. 7).

Одной из основных черт взаимозацепляющегося ротора, в отличие от тангенциального, является то, что при этой конфигурации смешение частично осуществляется между лопастью ротора и корпусом соседнего ротора, что близко к резке, которая типична для валковых смесителей.

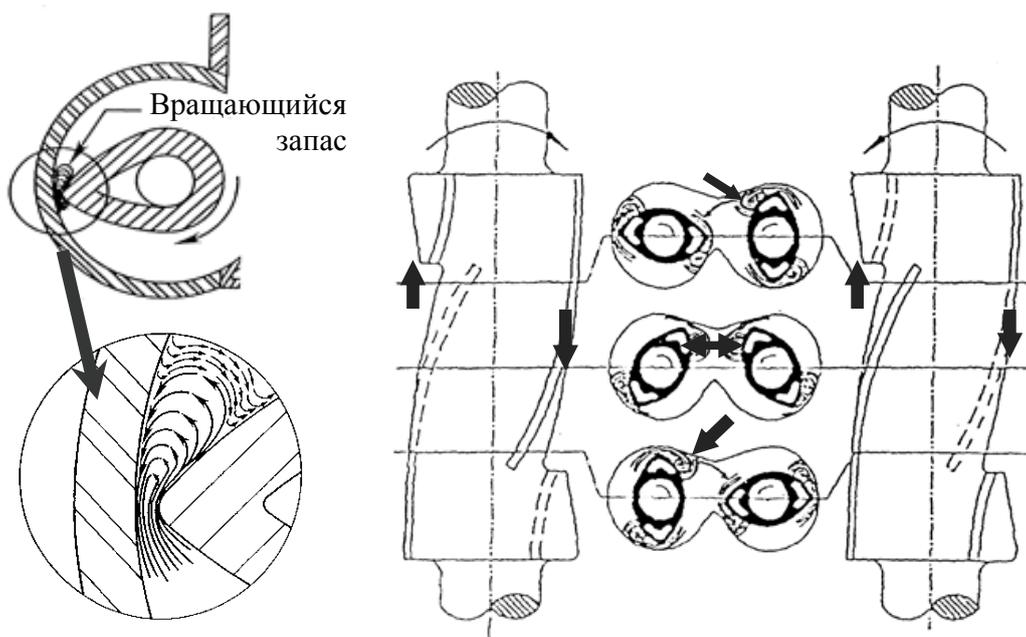


Рис. 6. Схема обработки материала в резиносмесителях с тангенциальными роторами

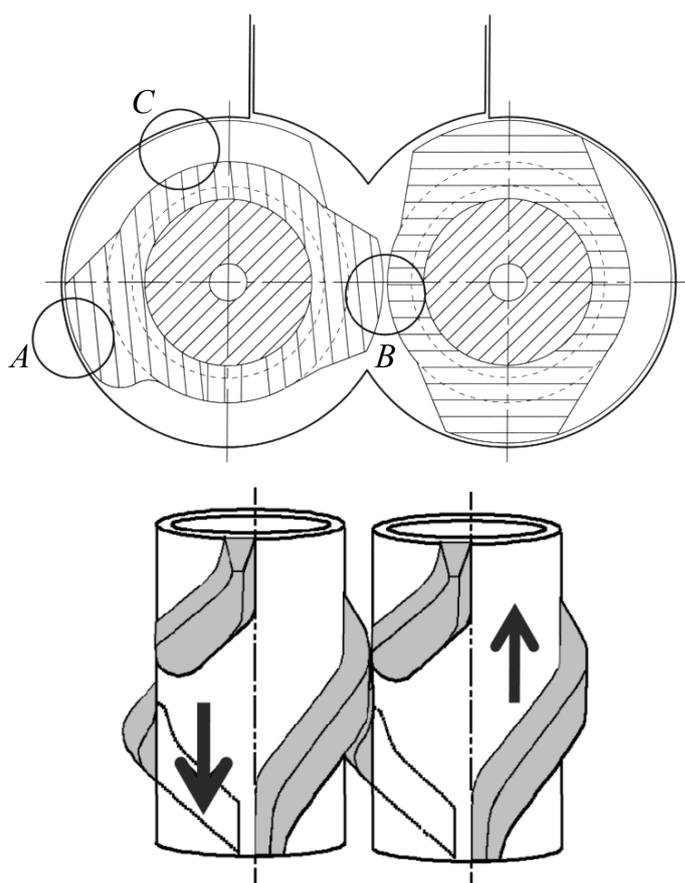


Рис. 7. Схема обработки материала в резиносмесителях со взаимозацепляющимися роторами

Разница скоростей в зоне ламинирования, благодаря которой обеспечивается дисперсия ингредиентов, достигается при равенстве угловых скоростей за счет разности радиусов между лопастью одного ротора и корпусом другого ротора. Такое же явление разности тангенциальных скоростей, как правило, наблюдается и при работе вальцов за счет фрикций.

Использование взаимозацепляющихся роторов придает камере смешивания конфигурацию, обладающую выигрышным соотношением поверхности и объема. Это означает, что по сравнению с тангенциальными системами такие системы при равном внутреннем объеме смесителя обладают большей поверхностью для теплообмена.

Таким образом, при одинаковом свободном объеме камеры диаметр ее со взаимозацепляющимися роторами будет больше; также больше должна быть мощность привода и, следовательно, цена резиносмесителя.

Массу заправки и коэффициент заполнения камеры смесителя выбирают прежде всего исходя из реологических свойств перерабатываемого каучука, дисперсности наполнителей и величины зазора между гребнем лопасти роторов и стенкой камеры. Величина зазора может меняться в зависимости от продолжительности эксплуатации оборудования, вследствие его износа.

Давление в камере смесителя является одним из наиболее важных факторов при изготовлении резиновых смесей. Верхний пресс смесительной камеры не создает постоянного давления, он в основном удерживает материал в рабочей зоне. Поэтому верхний пресс препятствует проскальзыванию смеси по граничным областям, создает локальное давление на смесь. Расчет массы заправки производят по теоретической плотности ингредиентов. Вследствие малой насыпной плотности порошковых материалов, общий объем ингредиентов в начале цикла смешения больше объема смесительной камеры, но уменьшается по мере смешения их с каучуком. В начале цикла смешения повышенное давление способствует быстрому внедрению ингредиентов в каучук и хорошему их распределению.

При недостаточном давлении пресса и при избыточном объеме заправки ухудшается однородность смеси, так как часть ингредиентов остается в горловине загрузочной воронки. Если величина заправки будет недостаточной, то давление верхнего пресса будет

неполным, что вызовет проскальзывание смеси и увеличение продолжительности смешения.

Считается, что оптимальным является давление 0,3–0,6 МПа. При увеличении давления на смесь повышается ее температура и растет мощность смешения. Рост мощности при повышении давления на смесь происходит лишь до определенного давления. Когда верхний пресс доходит «до упора», усилие уже передается не на смесь, а на конструкцию резиносмесителя.

При смешении практически вся полезная мощность переходит в тепло, поэтому для предотвращения подвулканизации снижают частоту вращения роторов. В начале процесса смешения холодный каучук проскальзывает по поверхности камеры и роторов, поэтому смешение в этот период не происходит, а наблюдается лишь грубое распределение ингредиентов, уплотнение рыхлых материалов, сопровождающееся резким сокращением удельного объема материала. Лишь после этого происходит процесс диспергирования ингредиентов в полимерной матрице. Указанные процессы отражаются на величине потребляемой смесителем мощности.

На процесс измельчения кусков каучука и других материалов затрачивается малая энергия, ее потребление резко возрастает после создания в смесителе прессующего давления, которое совместно с вращающимися роторами уплотняет рыхлую смесь и одновременно интенсифицирует внедрение в каучук технического углерода и других сыпучих ингредиентов. При этом одновременно протекают два процесса: преобладающий вначале процесс уплотнения материалов и второй процесс – смачивание порошкообразных материалов каучуком и жидкими ингредиентами.

Энергия, затрачиваемая на протекание этих процессов, велика, поэтому температура смеси возрастает, а каучук переходит в вязкотекучее состояние. Это приводит к снижению вязкости и образованию монолитной части смеси, в которой появляются сдвиговые напряжения, и начинает реализовываться диспергирующее смешение, идет пластикация каучука и гомогенизация смеси. Поскольку в этот период в системе еще имеется свободный наполнитель, то процессы диспергирования, пластикации и гомогенизации протекают одновременно, интенсивность диспергирующего смешения и соответствующая ей зависимость потребления энергии меняется по кривой с максимумом, так как вначале в смеси мало смоченного материала. При возрастании степени смачивания темпы

снижения вязкости каучука, вследствие роста температуры, становятся выше темпов возрастания вязкости из-за внедрения наполнителя, что приводит к замедлению и прекращению диспергирования. В конце цикла смешения происходят деструкция (пластикация) каучука и гомогенизация смеси.

Температура резиновой смеси в резиносмесителе не должна быть слишком высокой, иначе при сильном понижении вязкости и напряжения сдвига ухудшается распределение ингредиентов. В то же время температура оказывает сильное влияние на характер механохимических, деструктивных и термоокислительных процессов. При повышенных и пониженных температурах эти процессы протекают особенно интенсивно: до 100°C преобладает механическая, а выше 150°C – окислительная деструкция.

Снижение температуры поверхности камеры приводит к значительному уменьшению коэффициента трения между резиновой смесью и металлом, что существенно ухудшает качество смешения. Если существующая система охлаждения не обеспечивает необходимый теплоотвод, то меняют режим процесса смешения. Обычно используют режимы двухстадийного или многостадийного смешения с охлаждением смеси в промежутках между стадиями, а также короткие высокоскоростные циклы, в течение которых смесь не успевает сильно разогреться.

На стадии внедрения и смачивания в зависимости от свойств эластомера и температурно-деформационных условий процесса возможна реализация двух механизмов смешения: ламинарного (слоистого) и дробления, или раскрашивания.

Ламинарный механизм включает большие деформации эластомерной матрицы, приводящие к увеличению поверхности раздела фаз материала, с последующей ее релаксацией с захватом раздробленных и уплотненных агломератов технического углерода.

При механизме дробления под действием напряжений сдвига (превышающих критические) происходит разрушение эластомера; уплотнение наполнителя (за счет заполнения пустот агломератов техуглерода окклюдированным каучуком); перемешивание кусков раздробленного каучука с наполнителем с последующим компактированием композиции под влиянием прессующего давления и роста температуры. Причем образование связанного каучука проявляется в селективной адсорбции на поверхности техуглерода высокомолекулярных фракций.

На начальных стадиях смешения, при высоких нормальных напряжениях, характерных для эластомеров, развивается сложный механизм деформирования материала, складывающийся из деформаций растяжения и сдвига. При этом разрушение материала происходит в зазоре между гребнем ротора и стенкой при сдвиговом деформировании. Величина когезионной прочности является ключевым фактором при раскрашивании каучука в процессе смешения в резиносмесителе. Увеличение продолжительности переработки смеси приводит к снижению эффективной и относительной вязкости и уменьшению эластического восстановления образца.

Вязкостные свойства смесей слабо зависят от дозировки наполнителя и молекулярной массы каучука при высоких скоростях сдвига. Однако на практике введение наполнителей изменяет поведение каучука в процессе переработки как при малых, так и при высоких деформациях. Это объясняется тем, что упругие свойства полимера активно реагируют на введение наполнителей.

Молекулярная масса каучука в золь-фракции резиновой смеси уменьшается при увеличении активности и дозировки наполнителя, продолжительности переработки, интенсивности деформирования и понижении температуры. Для наполненного эластомера зависимость молекулярной массы от продолжительности механодеструкции быстрее выходит на предельную молекулярную массу. Технический углерод высокоактивных марок увеличивает степень механодеструкции изопрена в 1,5–2 раза.

Изменение вязкости смесей в процессе их изготовления и переработки на основе бутадиен-стирольных и изопреновых каучуков имеет различную природу. В смесях на основе бутадиен-стирольного каучука снижение вязкости вызвано в основном улучшением диспергирования техуглерода, а в смесях на основе изопреновых каучуков оно обусловлено механодеструкцией полимера. Изменения структурных характеристик резиновых смесей, приводящие к изменению их реологических свойств, протекают как при изготовлении резиновых смесей, так и в процессе их дальнейшей переработки, в том числе при шприцевании.

В процессе приготовления резиновых смесей на основе деструктурирующихся при температурах выше 140°C каучуков (НК, СКИ-3) происходит размягчение смеси, а на основе структурирующихся каучуков (СКС-30, СКД, СКМС-30АРКМ, ХПК) – повышение

жесткости. Поэтому при достижении таких температур процесс прекращают и смесь выгружают из резиносмесителя.

Для устранения подвулканизации серу и ускорители необходимо вводить в смеси на второй стадии смешения при более низкой температуре (не выше 110°C).

Значительное влияние на качество смешения оказывает порядок введения ингредиентов, особенно мягчителей. Некоторые мягчители, такие как сосновая смола, мазут, гудрон, могут взаимодействовать с активными типами технического углерода и образовывать неразрушающиеся агломераты, которые остаются в смеси в виде комков-включений. Поэтому перед этими мягчителями лучше вводить часть технического углерода, а оставшуюся часть – после втирания мягчителей вместе с минеральными наполнителями (каолином, белой сажей), которые улучшают перетирание жестких сажевых агломератов.

Разрушение и диспергирование агломератов лучше осуществляются после охлаждения смеси и повторной ее переработки на второй стадии смешения. По этой причине для улучшения качества резин применяется двухстадийный процесс приготовления резиновых смесей.

#### 4.4. Одно-, двух- и трехстадийное смешение

При изготовлении резиновых смесей смешение проводят в одну, две или три стадии, что зависит от дисперсности и содержания наполнителя. Чем они больше, тем выше температура смеси в резиносмесителе, в таком случае рекомендуется проводить смешение в две или три стадии.

При построении режимов смешения используют пошаговый принцип, при котором цикл смешения разбивается на определенное для данной резиновой смеси число шагов. Каждый шаг цикла характеризуется неизменностью регулируемых параметров процесса, таких как частота вращения роторов, давление на верхний пресс или его положение, температура охлаждающего агента в контурах охлаждения резиносмесителя. Условием (критерием) окончания данного шага и начала следующего является достижение предварительно заданных текущих величин временных, температурных или

энергетических (текущие значения мощности или удельных энергозатрат) параметров процесса.

При переходе к следующему шагу цикла смешения могут реализовываться:

- ввод (загрузка) в камеру резиносмесителя одного или нескольких ингредиентов резиновой смеси;
- изменение давления на верхний пресс, частоты вращения роторов, температуры теплоносителя.

Управление циклом смешения осуществляется по температуре и затратам энергии, контроль – по времени.

Разброс продолжительности изготовления резиновых смесей при опущенном верхнем прессе в отработанном режиме смешения не должен превышать  $\pm 5$  с.

Систематическое, в течение производства одной серии заправок данной резиновой смеси достижение заданной температуры до истечения заданного времени свидетельствует о необходимости корректировки режима смешения для этой смеси.

Приготовление смесей может осуществляться в одну и несколько стадий. Процесс в одну стадию осуществляется, чаще всего, в течение 5–6 мин. Серу вводят на вальцах. Это вызвано тем, что при введении серы в резиносмеситель часть ее остается на поверхности роторов и внутренней камеры резиносмесителя и затем попадает в другую смесь, вызывая подвулканизацию.

Двухстадийное приготовление смесей осуществляется в смесителях по 2,5–3,5 мин в каждом. Смесь после первой стадии гранулируется, охлаждается и передается на вторую стадию. Для охлаждения гранул и предупреждения их слипания используется суспензия, состоящая из каолина, эмульгатора и воды. Охлажденные и высушенные гранулы пневмотранспортом подаются в бункера для хранения запасов, а после развешивания они передаются на вторую стадию.

На второй стадии в смесь вводят серу и ускорители вулканизации. Для предотвращения подвулканизации температура смеси в этом случае не должна превышать 110°C. После второй стадии смесь поступает в агрегат, состоящий из трех вальцов, где производится ее гомогенизация, охлаждение и листование.

Для получения резин с твердостью до 72 усл. ед. по Шору А с применением обычных дозировок высокодисперсного технического углерода необходимо многостадийное ведение процесса. Этот

путь увеличения стадийности требует дополнительных энерго- и трудозатрат, но при этом значительно повышается качество получаемых резин и устраняются некоторые недостатки.

Первая стадия – введение наполнителя и всех химикатов или введение 70–90% технического углерода с диспергаторами в эластомерную структуру.

Вторая стадия – повторная обработка смеси (после вылежки маточной смеси не менее 8 ч) в резиносмесителе до температуры 145–150°C или введение в гранулированную смесь остатков технического углерода, активаторов, противостарителей, мягчителей.

Для получения высококачественных резиновых смесей может осуществляться ремилинг смесей (промежуточные стадии).

Завершающая стадия – введение компонентов вулканизирующей системы.

Многостадийное смешение – эффективный путь решения задачи улучшения прочностных свойств резин, повышения твердости и износостойкости за счет снижения дозировки жидких мягчителей и улучшения качества смешения. Многостадийный процесс изготовления протекторных смесей позволяет существенно повысить технические свойства резин и является одним из главных путей повышения качества и эксплуатационной выносливости шин.

#### 4.4. Смешение в машинах непрерывного действия

При непрерывном процессе смешения, в отличие от периодического, не происходит резких циклических изменений мощности и температуры. Кроме того, появляется возможность использовать отводимую из зон интенсивного теплообразования энергию для предварительного нагревания ингредиентов, поступающих в зону загрузки, что позволяет значительно повысить КПД оборудования, обеспечить стационарность температурного режима смешения и получение смесей с одинаковыми свойствами, а также дает возможность совмещать процессы смешения и формования резиновых смесей. В большинстве случаев резиносмесители непрерывного действия имеют такую же конструкцию, что и машины червячного типа с одним или несколькими роторами (червяками).

Интенсивная деформация и перемешивание материалов достигаются в двухчервячных смесителях непрерывного действия, в которых червяки расположены так, что витки нарезки и перемешивающие элементы одного червяка входят в соответствующие пространства нарезки другого червяка. Червяки с переменным шагом нарезки имеют зоны с обратной нарезкой, в которых тормозится движение смеси к разгрузочному отверстию и увеличивается деформация сдвига.

Практическое применение для непрерывного смешения имеют одночервячные смесители типа «Трансфермикс». В этих смесителях нарезка с переменным шагом имеется не только на червяке, но и на корпусе, причем в тех местах, где на корпусе смесителя наиболее глубокая резьба, а на червяке мелкая, и наоборот. В результате этого смесь переходит с витков резьбы ротора в резьбу корпуса и т. д. При переходе смеси с одной нарезки на другую в малом зазоре между витками обеспечиваются интенсивное перемешивание и гомогенизация смеси.

Существенной трудностью в организации непрерывного смешения является отсутствие надежной системы непрерывного дозирования ингредиентов. Кроме того, смесители непрерывного действия невыгодны на производствах, где используются резиновые смеси различного состава, так как их приходится часто перенастраивать. Они могут с успехом применяться для приема и доработки смесей из резиносмесителей периодического действия, а также для проведения второй стадии смешения.

#### 4.5. Охлаждение и очистка резиновых смесей

После смешения резиновые смеси необходимо охлаждать, так как во время хранения при повышенной температуре возможны их подвулканизация или слипание. Обычно при охлаждении листы резиновых смесей обрабатывают антиадгезивами. При наиболее простом способе охлаждения смесь, срезанную с вальцов в виде листов, загружают в ванну с водой, в которую добавляют антиадгезив. Затем заготовки извлекают из ванны, складывают в кипы и транспортируют на склад. Недостатками этого способа являются необходимость применения ручного труда и плохие санитарно-гигиенические условия. Более эффективен способ охлаждения листов резиновой смеси обрызгиванием их каолиновой суспензией

или раствором поверхностно-активных веществ с последующим обдувом воздухом – листы навешивают на крючковый транспортер, помещенный в специальной душевой установке. К недостаткам такого способа охлаждения относятся ручные загрузка и разгрузка крючкового транспортера.

Созданы установки фестонного типа, в которых непрерывная лента резиновой смеси, выходящая с вальцов или из листовальной головки червячной машины, охлаждается и укладывается на поддоны в подготовительных производствах. Особенности таких установок являются компактные размеры, эффективное охлаждение резиновой смеси, продольный рез резиновой ленты на полосы, выемка, поперечный рез в автоматическом режиме, укладка ленты на поддоны, низкое энергопотребление.

Возможен отбор резиновых смесей в охлаждающие камеры в виде непрерывной широкой ленты или в виде узких ленточек, спирально намотанных на катушки.

Резиновые смеси, предназначенные для изготовления тонкостенных изделий, очищают на червячных фильтр-машинах (стрейнерах) от различного рода включений и неразработанных агрегатов ингредиентов. Отношение длины нарезки червяка к его диаметру составляет 5,5 : 6,0; конструкция выпускной головки изменена по сравнению с головкой червячной машины.

Для очистки резиновых смесей используют металлические сетки, классифицирующиеся по диаметру ячейки. Сетки устанавливают между решетчатыми дисками в выходной части рабочей камеры. Диаметр отверстия диска 4–8 мм, площадь всех отверстий в диске не должна превышать 0,4–0,5 площади диска (шайбы), а диаметр диска должен быть равен 1,6–1,8 наружного диаметра червяка. Профильтрованную резиновую смесь срезают специальным ножом с механическим приводом.

#### **4.6. Контроль процесса смешения и качества резиновых смесей (экспресс-контроль)**

Качество резиновой смеси характеризуется равномерностью распределения компонентов в ее объеме. Равномерность распределения оценивают с помощью статистических методов по изменению

концентрации диспергируемого ингредиента в пробах образцов, взятых из различных частей смеси, а качество диспергирования – по содержанию и размерам агломератов плохо диспергированных компонентов, наблюдаемых в поле зрения оптического микроскопа. Такие способы определения очень трудоемки и проводятся в основном для специальных научных исследований.

В большинстве случаев качество смесей определяют не по равномерности распределения одного или нескольких компонентов, а по изменению показателей физических или механических свойств сырой смеси или ее вулканизатов при сравнении их с эталонами или средними статистическими результатами.

Достаточно быстро определить качество смеси можно испытанием образцов на реометре ODR 3000 или MDR 3000 при высокой температуре (180–200°C), вискозиметре Муни MV 3000, RPA. С помощью этих приборов можно установить вязкость смеси, продолжительность подвулканизации, скорость вулканизации и модуль сдвига, характеризующий свойства вулканизата. Полученные значения сравнивают с нормами, установленными для данной смеси. Вискозиметр RPA позволяет получать практически все необходимые данные о технологических свойствах резиновых смесей. При экспресс-контроле качества резиновых смесей в процессе производства плотность смеси определяют погружением образцов в водные (или спиртовые) растворы различной плотности.

## 5. ТИПЫ КАЛАНДРОВ И ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА НИХ ОПЕРАЦИИ

*Каландрованием* называется процесс формования, при котором разогретую резиновую смесь пропускают через зазор между горизонтальными валками, вращающимися навстречу друг другу, при этом образуется бесконечная лента определенной ширины и толщины.

При каландровании полимерный материал проходит через зазор только один раз. Поэтому для получения листа с гладкой поверхностью очень часто используют трех- или четырехвалковые каландры, имеющие соответственно два или три зазора. На каландрах можно получать листы с точностью по толщине до  $\pm 0,01$  мм. Ширина листа определяется рабочей длиной валка.

При каландровании проводятся различные технологические операции: формование резиновой смеси и получение гладких или профильных листов; дублирование листов; обкладка и промазка текстильных материалов резиновой смесью.

Под действием упругих сил деформируемого материала, проходящего через зазор, между валками каландра возникают распорные усилия, величина которых зависит от зазора между валками, запаса смеси между ними, вязкоупругих свойств смеси, скорости обработки и других факторов.

Наибольшие распорные усилия возникают между первым и вторым валками каландра, на которых находится наибольший запас смеси.

Рабочие скорости на каландре зависят от вида технологической операции и могут достигать 90 м/мин. Мощность электродвигателей каландра зависит в основном от числа валков, длины рабочей поверхности и скорости каландрования.

## 5.1. Типы каландров

В зависимости от выполняемых процессов каландры подразделяют на листовальные – для изготовления резиновых смесей в виде гладких листов; профильные – для выпуска резиновых смесей с более сложным профилем сечения или с нанесением на лист рисунка (подошвенный и др.); обкладочные – для наложения резиновой смеси тонким слоем на ткань при одинаковых окружных скоростях валков в выпускающем зазоре; промазочные – для втирания резиновой смеси в нити ткани и переплетения между ними, при этом валки имеют фрикцию  $1 : 1,4-1 : 2$ ; универсальные, снабженные механизмами для изменения угловой скорости валков, которые могут работать с фрикцией и без нее.

Определяющими параметрами каландров, применяемых в резиновой промышленности, являются число валков, диаметр и длина их рабочей части, а также расположение валков. Все каландры подразделяют по числу валков на двух-, трех-, четырех- и пяти-валковые и т. д. В обозначении каландров первое число соответствует количеству валков каландра, второе и третье – указывает диаметр и длину рабочей части валка (мм).

Для точного соблюдения заданного калибра (толщина каландруемого материала) валки должны иметь минимальный «прогиб», возникающий под действием распорных усилий в зазоре между валками. Прогиб валков вызывает изменение калибра по длине их рабочей поверхности; при этом в средней части каландруемый материал утолщается на  $0,1-0,2$  мм. При изменении распорных усилий изменяется и максимальная стрела прогиба. Прогиб валков при возникновении между ними распорных усилий устранить нельзя, но можно частично компенсировать *бомбиривкой* валков, т. е. приданием особой, бочкообразной формы их рабочим поверхностям (рис. 8, а). Если верхний и нижний валки сделать выпуклыми, то изменение калибра будет менее заметно. Для того чтобы упростить изготовление валков и позволить использовать их для различных процессов формования, применяют так называемую стандартную бомбиривку.

Верхний и нижний валки обрабатывают с обоих концов слегка в виде конуса, оставляя среднюю часть этих валков и средний приводной валок цилиндрическими; разность диаметров конусной

части валков 0,2–0,4 мм. Возможно и равномерное увеличение диаметра валков от краев к центру. При прогибе верхнего и нижнего валков под действием распорных усилий зазоры между валками в значительной степени выравниваются по длине образующей валка, при этом калибр каландруемого материала становится более равномерным по всей его ширине.

Необходимо отметить, что при компенсации прогиба валков путем их бомбиривки не учитывают изменение распорного усилия в процессе каландрования, что затрудняет получение листов, равномерных по толщине. Для получения каландрованных листов, более равномерных по толщине, применяют способ компенсации прогиба валков перекрещиванием их главных осей. Величина перекрещивания может изменяться в зависимости от распорного усилия.

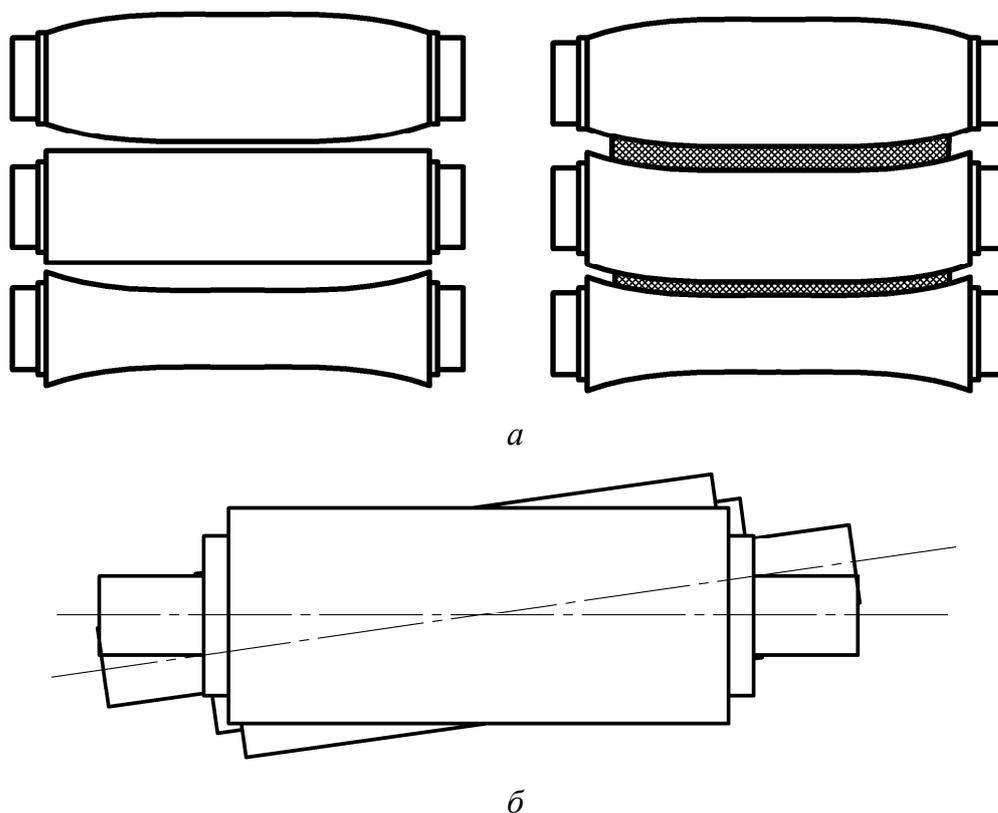


Рис. 8. Способы компенсации прогиба валков  
*а* – валки с бомбиривкой; *б* – перекрещивание валков (вид сверху)

Более точное регулирование толщины каландрованного листа по ширине достигается *компенсацией прогиба* валков путем их изгиба в направлении, обратном прогибу. Такой эффект возможен при дополнительной установке второго подшипника с каждой

стороны на шейке вала. Противодействующий прогибу валка изгибающий момент получается за счет усилия на подшипник, создаваемого гидравлическим цилиндром.

**Переkreщивание валков** – метод, при котором внешний калибрующий валок поворачивается в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через середину валка. Вследствие поворота зазор на краях валка оказывается больше, чем в середине (рис. 8, б).

Для каландров с большой длиной валков, работающих при высоких скоростях, с целью обеспечения высокой точности калибра полотна применяют совместно все три метода компенсации прогиба валков.

Калибр каландруемого материала изменяют при помощи механизма регулирования зазора. На каландрах современных конструкций регулирование зазора производят от электропривода; грубое регулирование зазора осуществляют механизмом с меньшим передаточным числом, изменяющим расстояние между валками со скоростью 10 мм/мин; более точное регулирование обеспечивается механизмом с большим передаточным числом со скоростью 0,5–1,0 мм/мин.

Толщину выпускаемого с каландра материала контролируют автоматическими регистрирующими приборами, которые устанавливают обычно на приемном транспортере или на валке каландра.

При каландровании очень важно поддерживать температурный режим валков и обрабатываемого материала. Температуру поверхности валков регулируют подачей внутрь валков охлаждающей воды или пара под давлением 0,3–0,4 МПа. В конструкциях каландров применяют валки, в которые вода или пар подается по каналам, расположенным концентрически (по окружности) вблизи от рабочих поверхностей. При таком устройстве валков появляется возможность более точно и быстро регулировать температуру их рабочей поверхности.

## 5.2. Вспомогательные приспособления каландров

Большую роль при работе на каландре играют различные вспомогательные устройства и приспособления (транспортеры для подачи резиновой смеси к каландру, приспособления для дублирования

слоев резины и их закатки, ножи для обрезания кромок и разрезания заготовок на полосы). От них часто зависит не только скорость процесса, но и качество изготавливаемого полуфабриката.

Для прорезинивания корда и тканей каландры агрегируют с сушильными барабанами, компенсаторами и ширительными устройствами, охлаждающими барабанами и закаточными приспособлениями. При прорезинивании безуточного корда применяют шпулярники, а при обработке синтетических волокон – пропиточные агрегаты; в зависимости от рабочей скорости каландра пропитка производится в одном агрегате с каландром или раздельно. Корд на основе синтетических волокон пропитывают в напряженном состоянии (под растягивающей нагрузкой).

Профильные каландры (протекторные, подошвенные и др.) снабжают съемными профильными валками или «скорлупами», ножами для обрезания боковых кромок, приемными роликовыми усадочными и весовыми транспортерами для контроля равномерности калибра выпускаемой продукции, охлаждающими ваннами.

При обрезаивании метталокорда каландр оснащается рентгеновскими установками для контроля толщины и разрежения корда.

Резиновые смеси и прорезиненные ткани после обработки на каландре закатывают в валики с прокладочной тканью или без прокладки.

Из каландра резиновая смесь выходит с температурой, близкой к температуре валков, поэтому перед закаткой ее охлаждают для предотвращения подвулканизации, а также деформации и слипания. Охлаждение необходимо проводить для тех резиновых смесей, которые содержат ускорители вулканизации, а также при высоких скоростях каландрования.

Закаточные приспособления устанавливают непосредственно на станине каландра, если резиновые смеси в дальнейшем дублируют, либо после вспомогательного транспортера, скорость которого можно регулировать в зависимости от свойств каландруемого материала: его усадки, когезионной прочности, клейкости и других факторов.

Как правило, каландрованные листы и прорезиненные ткани после выхода из каландра охлаждают на транспортере или пропускают через охлаждающие барабаны или ванны с антиадгезивами. В некоторых случаях, когда необходимо полностью снять все

напряжения, возникающие в материале (каландровый эффект), каландрованные резиновые смеси пропускают через нагретые барабаны, плиты или камеры-туннели, что ускоряет этот процесс. Для обеспечения равномерной усадки и устранения ориентационного эффекта каландрованные листы, предназначенные для изготовления мячей, баллонов, спринцовок и других изделий, дополнительно обогревают.

Каландрованную резиновую смесь и прорезиненные ткани закатывают на полые валики из жести, алюминия или дерева. В центре валика имеется квадратное отверстие, куда вставляется металлическая штанга, являющаяся осью валика. Так как при закатке листов резиновой смеси и тканей диаметр валика постепенно увеличивается, закаточные приспособления снабжают фрикционными – устройствами, позволяющими сохранить постоянную окружную скорость закатки.

Если необходимо, чтобы поверхность резиновых листов была совершенно гладкой (например, для галош, резиновых нитей, некоторых хирургических и технических изделий), каландрованную резиновую смесь закатывают на валки без ткани. Чтобы избежать слипания резиновых листов при накатке, по выходе из каландра их опудривают тальком, мелом, стеаратом цинка, реже крахмалом, а иногда покрывают раствором шеллака или мыла. Во избежание комкования мел и тальк для опудривания хорошо просушивают и просеивают. Во всех случаях, когда каландрованный лист предназначен для изготовления деталей, подлежащих склеиванию, для опудривания следует применять мел, так как он менее глубоко проникает в резиновую смесь и легче удаляется с ее поверхности; лучше применять стеарат цинка. Обычно достаточно опудрить одну сторону листа резиновой смеси. Для опудривания лист с каландра подают на отборочный транспортер, где на него через качающееся сито наносят опудривающий материал, излишек которого снимают рейкой, установленной под углом  $45^\circ$  к направлению движения транспортера и обитой мягкой тканью. Полное удаление избытка опудривающего материала производится круглой щеткой, очищающей мел в сторону, противоположную движению резины.

Опудривающий прибор заключен в кожух, соединенный с вытяжной вентиляцией. Для опудривания листов резины применяют также водные суспензии мела или стеарата цинка.

### 5.3. Питание каландров

Каландрование резиновой смеси возможно, когда она достаточно пластична и подогрета; для этого перед каландрованием ее обрабатывают на подогревательных вальцах. Во избежание поломки вальцов жесткие смеси предварительно пропускают без разогрева через рифленые вальцы и только затем подают на гладкие. Число подогревательных вальцов, агрегируемых с каландром, зависит от количества и свойств перерабатываемой смеси. С подогревательных вальцов резиновую смесь направляют на питательные вальцы и далее в виде ленты или небольших рулонов (при ручном питании) подают на каландр.

Для получения каландрованных заготовок, равномерных по толщине, необходимо, чтобы пластичность и температура поступающей на каландр резиновой смеси были постоянны, а подача равномерной. Наилучшим способом питания является автоматическая непрерывная загрузка каландра резиновой смесью. Для этого на конце переднего вальца питательных вальцов устанавливают нож, срезающий полосу резиновой смеси, которую затем транспортером подают в каландр. Ширина срезаемой ленты зависит от скорости каландра и толщины каландруемого материала. В рабочей зоне между валками, куда загружают резиновую смесь, устанавливают ограничительные передвижные стрелки из достаточно мягкого материала, не оставляющего следов на валке, довольно прочного, трудно истираемого, а также легко очищающегося от резиновой смеси (дерево, алюминий, сплав алюминия и кремния и др.). Чтобы избежать попадания резиновой смеси между валками и станиной каландра, ширина каландрованных листов должна быть на 6–10 см меньше длины валков. Кроме того, в процессе каландрования с краев листа срезают кромки шириной 4–10 см, толщина которых отличается от установленного калибра каландрованного листа. Для получения каландрованной резиновой смеси в виде узких полос устанавливают параллельно несколько ножей, устроенных аналогично ножам для обрезания кромок. Нарезанные полосы наматывают на валки, расположенные поочередно спереди и сзади каландра. Иногда ножи устанавливают таким образом, чтобы между полосами резиновой смеси вырезались узкие кромки шириной 10–12 мм, наматываемые на отводящие валки; нарезанные полосы закатывают на валках в ткань.

## 5.4. Листование и объемное профилирование резиновых смесей

В процессе листования разогретая резиновая смесь формуется в тонкие листы при прокатывании ее через валки каландра. Схемы расположения валков каландра при листовании представлены на рис. 9.

Листы каландрованного материала должны быть одинаковой толщины по всей площади листа, а в некоторых случаях обладать гладкой поверхностью (иногда до блеска). При определении допусков по толщине учитывают техническое назначение каландруемой смеси и исходят из экономических соображений.

Отклонение толщины каландрованного листа от величины зазора обусловлено эластическим восстановлением резиновой смеси, которое, в свою очередь, зависит от состава смеси, вязкости и природы полимера, температуры валков каландра и смеси, а также скорости каландрования. Снижению эластического восстановления в резиновых смесях способствует введение сшитых каучуков, содержащих достаточно плотный микрогель, или фактисов, а также наполнителей и пластификаторов. Очень важно правильно регулировать температуру валков каландра.

Адгезия к металлу резиновых смесей из натурального и изопренового каучуков увеличивается с повышением температуры, причем каландруемые смеси на их основе легче переходят на более нагретый валок. Для большинства других синтетических каучуков адгезия к металлу увеличивается при понижении температуры, и каландруемые смеси на их основе легче переходят на более холодный валок. Выбор температуры каландрования зависит от состава резиновой смеси и ее когезионных свойств. При высокой температуре прочность каландрованного листа может стать настолько малой, что его невозможно будет принять на транспортер. Температурный режим каландрования для резиновых смесей разных типов определяется опытным путем. Обычно каландрование производят в интервале температур 60–110°C.

Получение каландрованных листов с гладкой поверхностью и без воздушных включений (пузырей) возможно только для сравнительно небольших толщин резиновых смесей и при низких (до 10 м/мин) скоростях каландрования.

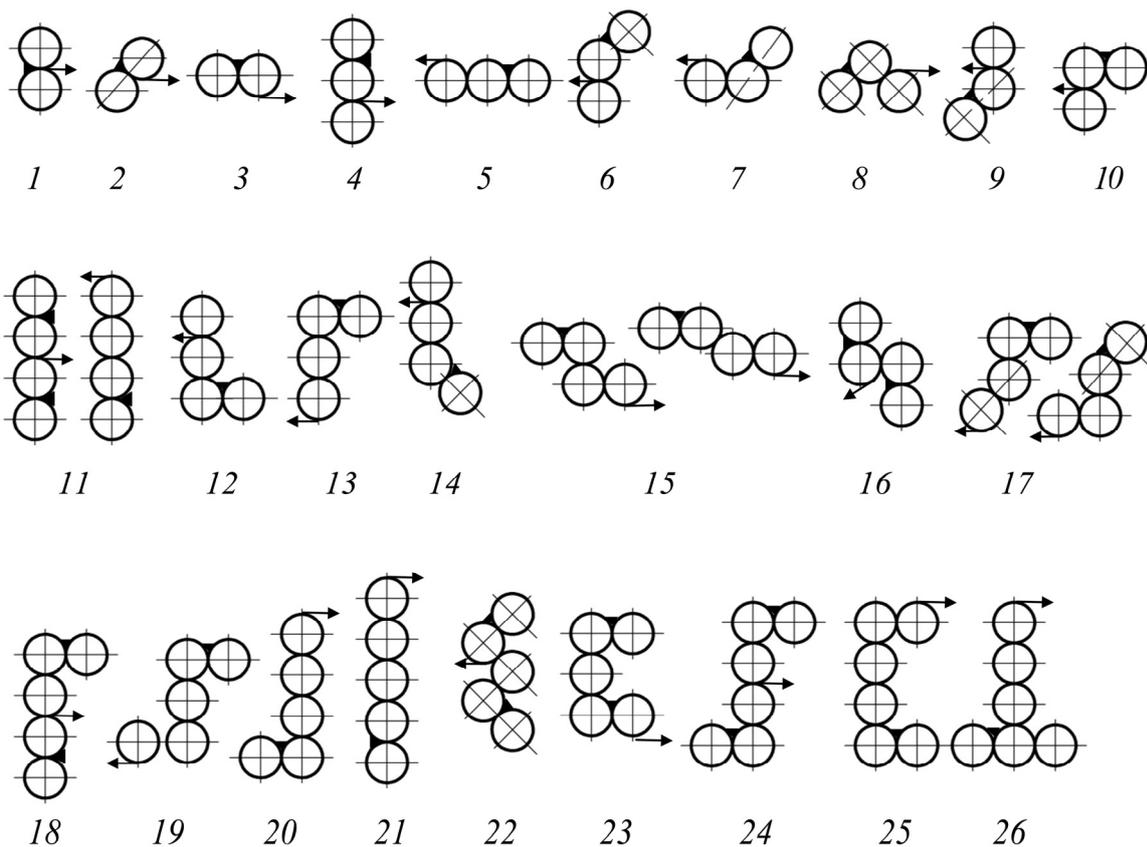


Рис. 9. Схемы расположения валков каландров при листовании:  
 1 – двухвалковые вертикальные; 2 – двухвалковые наклонные;  
 3 – двухвалковые горизонтальные; 4 – трехвалковые вертикальные;  
 5 – трехвалковые горизонтальные; 6 – трехвалковые наклонные;  
 7 – трехвалковые V-образные; 8 – трехвалковые А-образные;  
 9 – трехвалковые с угловым расположением валков;  
 10 – трехвалковые Г-образные; 11 – четырехвалковые вертикальные;  
 12 – четырехвалковые L-образные; 13 – четырехвалковые Г-образные;  
 14 – четырехвалковые наклонные; 15 – четырехвалковые Z-образные;  
 16 – четырехвалковые S-образные; 17 – четырехвалковые «верблюдообразные»;  
 18 – пятивалковые Г-образные; 19 – пятивалковые с наклонным  
 расположением валков; 20 – пятивалковые L-образные;  
 21 – пятивалковые вертикальные; 22 – пятивалковые W-образные;  
 23 – пятивалковые С-образные; 24 – шестивалковые Z-образные;  
 25 – шестивалковые С-образные; 26 – шестивалковые Т-образные

Даже при каландровании на самых точных каландрах доброкачественную резиновую смесь можно получить лишь при калибре листа не менее 0,15 мм и не более 1,2 мм. Эти пределы зависят от свойств резиновых смесей, в особенности от содержания в них каучука. С увеличением содержания каучука в смесях более резко

проявляются их упругие свойства, в результате затрудняется возможность получения гладких листов без включений воздуха.

Так, в зависимости от содержания каучука можно получить качественные каландрованные резиновые смеси толщиной 0,5–0,6 мм при содержании каучука 85–75%; 0,7–0,75 мм (60–55%); 1,0–1,2 мм (40–35%).

Увеличить скорость каландрования листов при повышении толщины можно применением клиновых устройств, устанавливаемых в зазоре каландра.

Особенности, характерные для листования, наблюдаются и при объемном профилировании резиновых смесей, которое проводится на профильных каландрах, имеющих один валок (последний) с профильным рисунком. Для профилирования обычно используют очень пластичные резиновые смеси с малой усадкой. Для получения каландрованных листов толщиной более 2 мм применяют дублирование двух и более тонких листов резиновой смеси.

## 5.5. Каландровый эффект

При каландровании резиновых смесей и многих каучукоподобных материалов наблюдается явление анизотропии; это явление известно под названием ориентационного или каландрового эффекта. Отличительным признаком резин, обладающих каландровым эффектом, является различие их механических свойств в направлении каландрования и в перпендикулярном к нему направлении (параллельно валкам). При этом прочность при растяжении листа резиновой смеси в первом направлении выше, чем во втором, относительное же удлинение, наоборот, меньше в направлении каландрования.

Каландровый эффект зависит от температуры каландрования, скорости и фрикции валков, а также от свойств резиновой смеси. С повышением температуры каландрования каландровый эффект уменьшается.

В процессе нагревания резиновой смеси при условии, что данная смесь обладает каландровым эффектом, наблюдается сжатие листа (усадка) в направлении каландрования, при этом ширина и толщина его увеличиваются. Так, круг, вырубленный из листа резиновой смеси, имеющей каландровый эффект, довольно быстро

превращается в эллипс, малая ось которого совпадает с направлением каландрования. Это объясняется наличием остаточных напряжений в направлении каландрования и снижением напряжений в поперечном направлении. При уменьшении толщины резиновой смеси каландровый эффект возрастает.

Появление каландрового эффекта в резиновых смесях обусловлено ориентацией молекулярных цепей полимера вдоль направления каландрования вследствие воздействия направленной деформации. Для каучуков с разветвленной структурой и небольшой молекулярной массой каландровый эффект незначителен. Для снятия каландрового эффекта смеси обычно нагревают. Однако для резиновых смесей, содержащих анизотропные наполнители, частицы которых имеют пластинчатое или игольчатое строение, каландровый эффект не может быть устранен нагреванием смеси. Такой вид каландрового эффекта называется зернистым эффектом; особо резко он проявляется в резиновых смесях, наполненных тальком, углекислой магнезией, природным баритом, каолином.

В то же время для получения особо жесткой резины, плохо растягивающейся в одном направлении, специально применяют анизотропные наполнители, например короткие измельченные волокна.

### 5.6. Обкладка тканей резиновыми смесями на каландрах

Для обкладки ткани резиновой смесью применяют каландры, валки которых вращаются с одинаковой скоростью. Обкладку тканей с одной стороны можно производить за один пропуск на трехвалковом каландре (рис. 10, *а*), с двух сторон – за один пропуск на четырехвалковом каландре (рис. 10, *г* и *д*) или за два пропусков – на трехвалковом (рис. 10, *б*).

Сначала через калибровочный зазор между валками пропускают бесформенную резиновую смесь. Далее полученный тонкий лист смеси определенной толщины направляют в прессующий зазор между валками, куда также подают ткань.

Качество дублирования двух разнородных материалов зависит от равномерности нанесения резиновой смеси на ткань и главным образом от прочности их сцепления, толщины резинового листа

и прессующего усилия. С увеличением прессующего усилия до определенного значения увеличивается глубина проникновения резиновой смеси в ткань. При оптимальном значении прессующих усилий происходит максимальное заполнение полотна смесью, после которого, несмотря на увеличение прессующих усилий, уменьшается прочность связи. Это объясняется снижением поступления резиновой смеси в полотно, так как с увеличением прессующих усилий уменьшается прессовочный зазор, а следовательно, и его пропускная способность. При этом не прошедшая через прессовочный зазор резиновая смесь собирается перед зазором, что приводит к разрушению ткани.

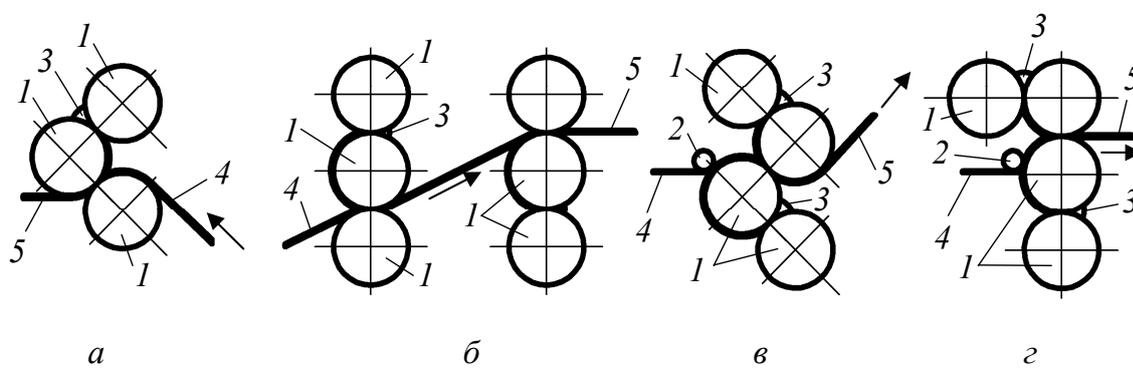


Рис. 10. Схемы расположения валков в различных каландрах при односторонней (а) и двухсторонней (б–г) обкладке тканей резиновой смесью;  
 1 – валки; 2 – натяжные ролики; 3 – резиновая смесь;  
 4 – корд; 5 – обрезиненное полотно

Качество обрезинивания зависит в основном от пластоэластических свойств смеси, температуры и скорости каландрования, влажности, структуры и химической природы волокон ткани. Для улучшения прочности связи с резиной ткани на основе искусственных и синтетических волокон предварительно обрабатывают адгезивами. Перед обкладкой ткань нагревают, при этом влажность ее не должна превышать 2%. Резиновая смесь должна иметь низкую вязкость для лучшего проникновения ее в ткань, хорошую адгезию к ткани и плохую – к материалу валков каландра. Качество обкладки зависит также от диаметра, бомбировки и обработки поверхности валков, фрикции и других факторов. Обкладку тканей, используемых в очень больших количествах (шинного корда), проводят на сложных каландровых линиях со скоростью до 90 м/мин.

Качество обкладки резины, как и листования, зависит от пластичности резиновой смеси и температурного режима. В процессе обкладки методом взвешивания непрерывно контролируют толщину полученных листов.

При накладке резиновой смеси на уточный шинный корд ширина ткани сокращается на 5–8% вследствие уплотнения нитей. Поэтому предельное отклонение массы, а следовательно, и толщины прорезиненных тканей от номинального значения должно быть не более 3%.

Точность калибра прорезиненной ткани зависит от температурного режима, однородности смеси по пластичности, равномерности питания каландра и, наконец, от однородности самой ткани.

При использовании четырехвалковых каландров взамен двух трехвалковых на линиях для обкладки тканей резиновой смесью снижаются капитальные затраты и эксплуатационные расходы в результате сокращения необходимых производственных площадей и числа обслуживающего персонала. Однако линии с двумя трехвалковыми каландрами более надежны в работе и позволяют получить обрезиненный корд высокого качества, благодаря тому, что толщину обкладки можно контролировать после каждого трехвалкового каландра. Точность обкладки на двух трехвалковых каландрах выше, чем на четырехвалковом, так как прессующие и распорные усилия, действующие на валки трехвалкового каландра, более равномерно распределяются по образующей валка. Прочность связи резины с тканью по ширине обрезиненного полотна равномерна и выше на двух трехвалковых каландрах, чем на одном четырехвалковом, поэтому применяются шестивалковые каландры.

### 5.7. Прорезинивание (промазка) тканей

Ткани прорезинивают (фрикционируют) обычно на трехвалковых каландрах с фрикцией до 1 : 1,5. При прорезинивании резиновую смесь наносят на ткань более тонким слоем, чем при обкладке, и она глубже проникает в структуру ткани за счет эффекта втирания резиновой смеси между волокнами и нитями ткани, обеспечиваемого фрикцией. Обычно расход резиновой смеси

при промазывании составляет 0,1–1,0 кг/м<sup>2</sup> ткани. Редкоуточные ткани (например, шинный корд) промазке не подвергаются.

Для промазывания применяют резиновые смеси, имеющие высокую адгезию к металлу и текстилю и низкие когезионную прочность и вязкость. Резиновая смесь прочно удерживается на среднем валке и полностью не переходит на ткань при контакте с ней в зазоре каландра. Обычно промазочные резиновые смеси содержат большое количество регенерата.

Важным фактором, влияющим на качество промазки, является запас резиновой смеси между верхним и средним валками; он должен быть минимальным. При увеличении запаса возможны неравномерное промазывание ткани и подвулканизация резиновой смеси. Каландр питают резиновой смесью, подаваемой транспортером или вручную.

При двухстороннем промазывании ткань дважды пропускают через каландр, промазывая сначала одну ее сторону, а затем другую.

## 5.8. Пути повышения качества каландрованных заготовок. Виды брака

Дефекты при каландровании обусловлены нарушениями температурного режима каландра, неравномерными разогревом и подачей резиновой смеси, а также непостоянной ее пластичностью; нарушениями, связанными с несоблюдением скоростного режима, работой натяжительных и ширительных устройств.

Наиболее характерными видами брака при листовании являются: негладкая поверхность, воздушные включения (пузыри), рисунок в виде «елки» на поверхности резины. В тех случаях, когда резины предназначаются для изделий, вулканизуемых неформовым методом, вредным является каландровый эффект. В таких резинах после вулканизации сохраняется анизотропность, вследствие чего они имеют низкое сопротивление раздиру.

При нарушении температурного режима возможны следующие виды брака: вследствие недостаточного разогрева резиновой смеси или валков каландра – негладкая поверхность или рисунок в виде «елки»; в результате перегрева последнего валка – воздушные

включения, а предпоследнего валка – пузыри с отростками («слезки»). Число воздушных включений может возрасти, если обрезаемые при каландровании кромки будут возвращаться непосредственно на каландр. Поэтому желательно пропускать кромки сначала через подогревательные вальцы, а затем равномерными порциями добавлять к приготавливаемой резиновой смеси.

При несоблюдении режимов технологического процесса возникает переуплотнение кромок и разрежение по ширине.

Улучшить качество каландрованных заготовок, уменьшить число пузырей, увеличить толщину каландрованных листов без дублирования и повысить производительность процесса можно, применяя специальные клиновые устройства, устанавливаемые в зазоре валков и увеличивающие интенсивность механической обработки резиновой смеси.

При дублировании воздушные включения могут появиться на границе дублируемых материалов, что происходит в результате захвата воздуха каландром. Для предотвращения этого прибегают к горячему дублированию или к увеличению угла схождения листов.

Качество обрезиненного корда характеризуется степенью прессовки, т. е. степенью заполнения резиновой смесью пространства между нитями корда, степенью однородности обрезиненной кордной ткани по толщине, числу нитей, приходящихся на единицу ширины, и массе резиновой смеси на единицу площади ткани по ширине полотна, отсутствием дефектов.

## 5.9. Прокладочные ткани и другие материалы

Для предохранения невулканизованных каландрованных листов или полотен прорезиненных тканей от слипания применяют прокладочные ткани, в которые их закатывают по выходе с каландра.

Чтобы уменьшить прилипание смесей, отличающихся большой липкостью к ткани, и предотвратить появление на каландрованных листах отпечатка переплетения основы и утка, прокладочные ткани пропитывают различными составами. Благодаря такой обработке увеличиваются срок службы и прочность прокладок,

облегчается процесс закатки и раскатки тканей при каландровании, раскрое и сборке, что вполне окупает стоимость их дополнительной обработки. Прокладочные ткани для увеличения срока их службы следует периодически чистить щетками и пылесосами с целью удаления опудривающих материалов, следов серы, накапливающейся в ткани в результате ее миграции из резиновых смесей, а также других загрязнений. Кроме того, прокладочные ткани проглаживают.

В качестве прокладочного материала можно использовать различные полимерные пленки (например, полиэтиленовые). Они в меньшей степени загрязняются, чем ткани, и не оставляют отпечатков на поверхности каландрованных листов.

## 6. ШПРИЦЕВАНИЕ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Шприцеванием (экструзией) называется процесс формования заготовок определенного профиля путем продавливания разогретой резиновой смеси под давлением через профилирующее отверстие (мундштук).

Шприцевание осуществляют в червячных машинах – шприц-машинах холодного и горячего питания, в которых резиновая смесь с помощью вращающегося червяка выдавливается через профильное отверстие головки, и в шприц-прессах, в которых резиновая смесь продавливается плунжером через мундштук под давлением, возникающим в результате воздействия плунжера на находящийся в резервуаре материал. Шприц-прессы, в отличие от шприц-машин, относятся к аппаратам периодического действия. Они хотя и обеспечивают выход смеси из головки с постоянной скоростью, однако не позволяют создать непрерывный процесс.

При анализе теории переработки эластомеров и пластиков в червячных машинах принято использовать термин «экструзия». Для описания технологических операций в технологии резины применяют термин «шприцевание». Термин «профилирование» имеет более широкий смысл, так как охватывает шприцевание и дальнейшие, заключительные операции: усадку, охлаждение, обработку поверхности, резку заготовки по длине и другие операции, оказывающие влияние на окончательные размеры шприцованных полуфабрикатов.

На червячных машинах осуществляют следующие технологические операции:

- 1) пластикацию каучуков и придание удобной для транспортирования развески формы (грануляцию, листование);

- 2) разогрев резиновых смесей в линиях каландрования;
- 3) очистку резиновых смесей от посторонних включений – стрейнирование;
- 4) профилирование заготовок для последующей конфекционной сборки шин, обуви и других РТИ;
- 5) обрезинивание проволоки, текстильных шнуров и тканей;
- 6) очистку резиновых смесей от газов и летучих примесей с последующим профилированием и непрерывной вулканизацией без давления;
- 7) дозирование резиновой смеси для прессовой вулканизации в производстве РТИ.

Перечисленные технологические процессы осуществляются на специализированных червячных машинах, имеющих соответствующие конструктивные особенности. Однако червячные машины делятся на две основные группы: машины червячные теплового питания (МЧТ) и машины червячные холодного питания (МЧХ).

МЧТ требуют предварительного подогрева резиновой смеси до температуры не ниже 50°C (допускают прием смеси с температурой до 200°C), что усложняет производство, увеличивает расходы на приобретение и эксплуатацию подогревательных и питательных вальцов.

МЧХ могут перерабатывать смеси с температурой 20°C и выше, интенсивно дорабатывают смесь, поэтому постепенно вытесняют машины типа МЧТ. Конструктивно МЧХ подразделяются на несколько типов:

- машины с гладким цилиндром;
- экструдеры шрифтового типа;
- экструдеры типа «штифтконверт»;
- машины холодного питания с системами вакуумирования;
- экструдеры, реализующие принцип «трансфермикс».

Червячные машины должны обеспечивать:

- однородность резиновой смеси;
- возможность вакуумирования перерабатываемого материала;
- равномерность выхода заготовки из профилирующего инструмента;
- равномерность температурного поля;
- высокую производительность;
- возможность достижения максимально допустимой температуры профиля на выходе из машины.

Кроме того, конструкция машины должна обеспечивать быструю и удобную смену оснастки и профилирующего инструмента, хорошую очистку при переходе с одной резиновой смеси на другую, возможность регулирования скорости выхода профиля и предусматривать питание холодной резиновой смесью.

Перерабатываемость при экструзии на червячных машинах натуральных и синтетических эластомеров и смесей на их основе определяется свойствами резиновых смесей, конструктивными характеристиками оборудования и технологическими параметрами его работы. Шприцуемость обычно оценивается по двум показателям: производительности машины и качеству профиля, иногда приводятся данные об энергозатратах или температурных параметрах процесса.

Большое влияние на производительность экструдера имеют структурные характеристики смеси. С ростом степени диспергирования техуглерода в перерабатываемой смеси весовая производительность экструдера возрастает.

В промышленных условиях смесь с большей степенью диспергирования обладает лучшей шприцуемостью, однако если в лабораторных условиях увеличение степени диспергирования на 1% приводит к росту производительности на 5–10%, то в промышленных условиях – на 20%. Это может быть объяснено меньшим тепловыделением за один оборот червяка при профилировании смесей с большей степенью диспергирования, что позволяет увеличить скорость вращения червяка.

При переработке смесей на основе СКИ-3 на производительность экструдера большое влияние оказывают реологические параметры исходного каучука. Высоковязкие смеси, полученные на основе жестких каучуков, имеют меньшую производительность. Большое влияние на шприцуемость смесей на основе СКИ-3 оказывают параметры процесса смешения. Чем больше энергии затрачивается на приготовление резиновой смеси, чем меньше вязкость получаемых резиновых смесей, тем лучше показатели процесса экструзии этих смесей по производительности, энергоемкости процесса и по показателям эластического восстановления.

Достижение высокого уровня перерабатываемости резиновых смесей при экструзии возможно как за счет оптимизации технологических параметров процесса, так и за счет использования экструдеров с определенной конструкцией рабочих органов.

## 6.1. Шприцевание резиновых смесей на машинах теплового и холодного питания

За время пребывания в червячной машине материал претерпевает существенные изменения – разогревается, уплотняется и гомогенизируется, поэтому по длине червячные машины условно можно разделить на три зоны. В первой зоне материал из загрузочной воронки захватывается нарезкой червяка, перемещается вдоль цилиндра и уплотняется в результате сопротивления со стороны головки, а также вследствие уменьшения объема винтовой канавки червяка. Во второй зоне происходит перемешивание материала, сопровождающееся повышением температуры. В третьей зоне червяк действует как винтовой насос.

Схема одночервячного пресса с указанием рабочих зон приведена на рис. 11. Подаваемая через воронку 4 резиновая смесь захватывается шнеком 1, нагревается и несколько дорабатывается в зоне II и под значительным давлением (до 10,0 МПа), развиваемым в зоне III, выдавливается через головку, в которой крепится формообразующая деталь.

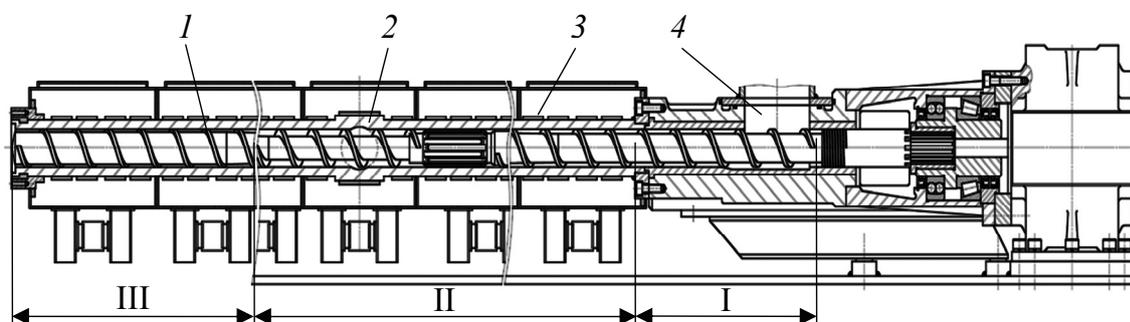


Рис. 11. Схема одночервячной шприц-машины:

1 – червяк (шнек); 2 – корпус; 3 – рубашка для циркуляции теплоносителя; 4 – загрузочная воронка.

I – зона загрузки; II – зона разогрева и пластикации;  
III – зона нагнетания

Решающие процессы обработки материала осуществляются в зоне пластикации. Смесь вовлекается в сложное движение за счет сцепления с рабочими поверхностями, формируя поток материала со свойствами аномально вязкой жидкости, и доводится до оптимальной

температуры, что в последующем облегчает процесс формования заготовки. Перечисленные рабочие зоны не имеют четких границ. Положение этих границ зависит от состояния загружаемого материала.

Основным параметром, характеризующим червячные машины, является диаметр червяка, от которого зависит их производительность. Для более полной характеристики машины используются такие данные, как отношение длины рабочей части червяка к его диаметру, частота вращения червяка (или пределы изменения частоты вращения), наличие вакуум-отсоса. От отношения длины червяка к диаметру  $L / D$  во многом зависит степень проработки материала в цилиндре машины. Червячные машины с коротким червяком (при отношении  $L / D < 8$ ) требуют питания разогретым материалом, так как за время движения по короткому червяку холодная смесь не успевает в достаточной степени разогреться и пластицироваться. Такие машины относятся к машинам теплого питания.

Для того чтобы червячная машина была способна довести до пластического состояния холодную смесь, необходима большая длина рабочей части червяка ( $L / D = 12-18$ ). Такие машины относятся к машинам холодного питания. При питании холодной смесью возможно попадание в цилиндр влаги и летучих веществ, которые находятся в резиновой смеси и отрицательно влияют на качество экструдированных изделий. Поэтому машины холодного питания оборудуют специальной системой вакуумного отсоса на одном или нескольких участках рабочей зоны. Вакуумный отсос при необходимости может применяться и на машинах теплого питания.

Условное обозначение одночервячных машин базируется на главном ее параметре – диаметре червяка и отношении его рабочей длины к диаметру.

Машина МЧХВ-160 – эта червячная машина холодного питания с вакуум-отсосом и диаметром червяка 160 мм.

Машина МЧТ-200 – червячная машина теплого питания с червяком диаметром 200 мм.

Предусматривается выпуск машин с червяком диаметром 32, 63, 90, 125, 160, 200, 250 и 380/450 и 530/660 мм.

Машины холодного питания вследствие особенностей их конструкции позволяют получать материалы лучшего качества, чем машины теплого питания, в основном из-за увеличения величины

суммарной деформации сдвига, а также вследствие обеспечения повышения жесткости обрабатываемой резиновой смеси, что, соответственно, приводит к увеличению напряжений сдвига, развиваемых в композиции. Кроме того, они не требуют установки дополнительного оборудования для разогрева смеси. Однако машины холодного питания дороже машин теплого питания. Они тяжелее, потребляют большую мощность и имеют на 15–20% меньшую производительность при равных диаметрах червяка.

В целях исключения колебания пластичности подаваемой в загрузочную воронку смеси из-за колебаний ее начальной температуры современные червячные машины запитываются холодными резиновыми смесями, имеющими постоянную температуру – температуру атмосферы цеха («холодное питание»). Смесь для равномерности ее загрузки в червячную машину из подготовительного цеха подают в виде ленты или полосы одинаковой толщины и ширины, накатанной на бобину. В первом случае перед червячной машиной лента может нарезаться на полосы необходимой ширины, в зависимости от потребления смеси машиной. Лента резиновой смеси режется, а также подается в питательную воронку червячного пресса питателями различных конструкций автоматически и равномерно.

В червячной машине холодного питания резиновая смесь в виде ленты подается непрерывно в загрузочное отверстие. Червяк, вращаясь, захватывает материал и перемещает его в сторону головки и профилирующего инструмента. При этом материал подвергается интенсивным деформациям, главным образом сдвигового характера, нагревается и размягчается. Для уменьшения тепловыделений, приводящих к подвулканизации резиновых смесей, улучшения их смешения в шприц-машинах холодного питания увеличивают глубину нарезки червяка, а на самом червяке наносят дополнительную нарезку.

Червячные машины холодного питания с вакуум-отсосом применяют для изготовления беспористых профильных изделий, вулканизуемых при атмосферном давлении, и дегазации резиновых смесей. В зоне вакуумирования таких машин нарезку червяка делают более глубокой для обеспечения заполнения зоны резиновой смесью не более чем на 50%. Уменьшение объема заполнения достигается также установкой на червяке специального разделительного кольца, ограничивающего поступление смеси из загрузочной

зоны. В зоне вакуумирования с помощью вакуум-насоса поддерживается остаточное давление порядка 23 кПа.

При шприцевании температура смеси, поступающей в червячную машину теплого питания, должна быть равна 60–90°C, температура корпуса цилиндра машины около загрузочной воронки – 30–35°C, а температура головки – 80–90°C. Перегрев корпуса и головки приводит к подвулканизации смеси и может вызвать поломку червячной машины. При недостаточном нагреве уменьшается производительность машины. Поэтому для поддержания необходимой температуры шприцевания в полости цилиндра и головки машины подается пар под давлением 0,3 МПа или вода под давлением 0,4 МПа. В полость червяка подается только охлаждающая вода.

Профилирование резиновых смесей происходит в формующей головке. Мундштук предназначен для придания резиновой смеси определенной формы, а дорн – для получения внутренней полости в заготовке. Заготовки после выхода из головки несколько изменяют свои размеры вследствие эластического восстановления резиновой смеси, что учитывают при конструировании профилирующих шайб.

На практике применяют головки разнообразных конструкций. При Т-образной или косой форме головки смесь поступает под углом к оси дорна, что позволяет наносить ее на специальные дорны при производстве рукавов, или в виде резиновой оболочки на провода при производстве кабелей.

## 6.2. Усадочные явления и ориентационный эффект при шприцевании

Независимо от типа червячных прессов после выхода из профилирующего канала происходит усадка резиновой смеси, которая при процессе шприцевания носит более сложный характер, чем при каландровании, и приводит к искажению формы профиля заготовки по сравнению с сечением профилирующего отверстия.

Это явление называется *деформацией сечения* шприцованных полуфабрикатов и связано с различиями в скоростях движения в разных точках сечения потока резиновой смеси в головке шприц-машины и в профилирующей детали: в центре потока

скорость выше, чем у стенок или в углах детали, где течение замедляется трением смеси о неподвижные поверхности. Создается разность скоростей движения соседних слоев, которая по законам реологии приводит к их взаимному скольжению. Интенсивность скольжения определяется градиентом скорости. Сравнение эпюр скоростей для двух типов сечений (рис. 12) показывает, что между соседними слоями смеси при шприцевании (экструзии) возникает внутреннее трение. Градиент скорости и внутреннее трение ориентируют макромолекулы и анизотропные частицы в том большей степени, чем выше скорость и, соответственно, ее градиент между слоями.

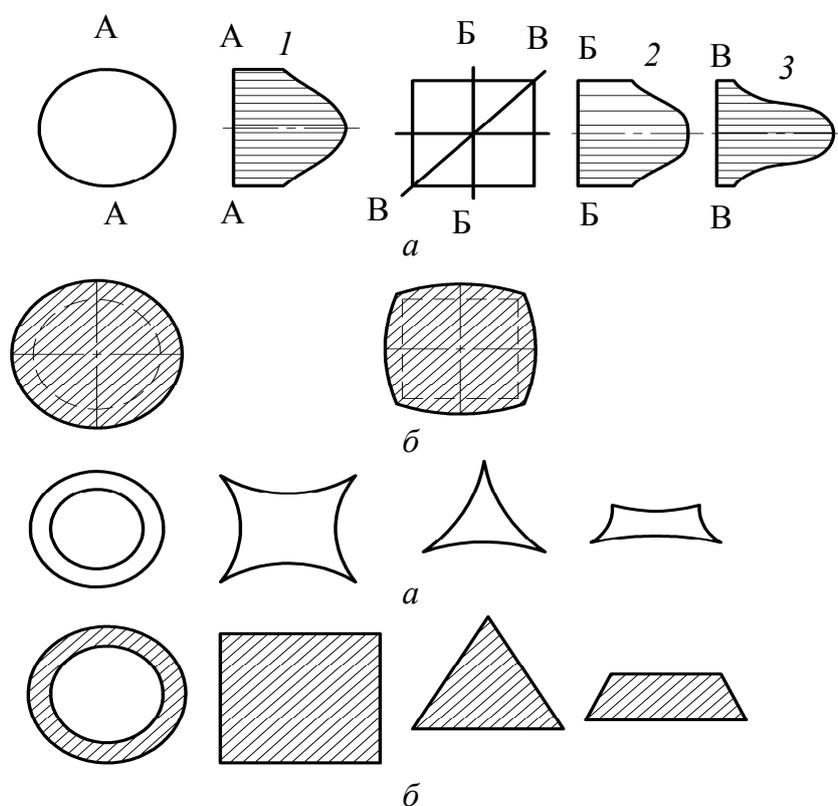


Рис. 12. Сечения профилирующих отверстий (а), заготовок (б) и эпюры скоростей (1–3) при шприцевании

Для круглого сечения в любом направлении по радиусу градиент скорости меняется плавно от стенки до центра круга (рис. 12), в связи с чем степень ориентации макромолекул от центра до стенок меняется монотонно, а потому степень усадки, «разбухания» круглой заготовки во всех направлениях одинакова и заготовка не меняет своей формы, увеличиваясь по диаметру. У профилирующего

отверстия прямоугольной формы степень ориентации макромолекул неодинакова по сечению: максимальна ближе к центру, меньше у плоских стенок и минимальна в углах отверстия. Следует также учитывать в этом случае и чисто объемные факторы шприцевания – в точках с меньшей скоростью движения потока выдавливается меньшее количество смеси.

Оба фактора обуславливают большее разбухание профиля в зонах большей скорости и ее градиента, и, как следствие, изменяются размеры, заготовка имеет не квадратное сечение, а сечение с выпуклыми (рис. 12) сторонами с одновременным ростом его общей площади. Для получения заготовки прямоугольной формы необходимо уменьшить объемную скорость выдавливания резиновой смеси в зонах высоких скоростей и их градиентов, например, сделать вогнутые боковые отверстия (рис. 12, *a*).

Относительная деформация сечения может достигать 20–150%, поэтому на практике осуществляют подбор сечения отверстия формообразующей детали. Уменьшить деформацию сечения можно теми приемами, которые применяются для снижения усадки: ведением процесса при повышенных температурах и пониженных скоростях. Кроме того, применяют специфические приемы уменьшения деформации сечения и обеспечения стабильности размеров профилируемого изделия: усадка снижается и стабилизируется при использовании частично структурированных каучуков, введении модификаторов, применении удлиненных головок и формообразующих деталей. Для снижения усадки и повышения производительности при шприцевании воздействуют на формообразующую деталь инфразвуковой (5–20 Гц) или ультразвуковой (около  $10^4$  Гц) частотой.

Выходящая из профилирующего отверстия головки машины резиновая смесь (экструдат) изменяет свою форму вследствие проявления высокоэластичности: экструдат увеличивается в сечении (разбухает) и уменьшается в длину (дает усадку по длине).

Определяющая усадку эластическая деформация зависит от скорости протекания релаксационных процессов. Усадка зависит также от особенностей проведения самого процесса шприцевания: времени нахождения смеси в профилирующем отверстии, его геометрии и температуры. С увеличением объемной производительности машины усадка возрастает, а с увеличением  $L / D$  червяка – экспоненциально уменьшается.

Резиновые смеси, предназначенные для шприцевания, должны обладать определенными реологическими, адгезионными, фрикционными и вулканизационными свойствами, необходимыми для получения заготовок хорошего качества. Основной комплекс свойств резин определяет состав каучуковой фазы, поэтому в соответствии со склонностью к усадке при шприцевании каучуки и смеси на их основе можно расположить в следующий ряд:

СКД > НК > БСК > СКИ > БК.

Смеси на основе НК и БСК имеют при шприцевании бóльшую усадку, чем при использовании только одного НК. Для смесей на основе БСК и комбинаций с ними характерно большее, чем для смеси на НК, теплообразование при шприцевании.

Для уменьшения усадки профилируемой заготовки рекомендуется повысить температуру резиновой смеси или уменьшить скорость шприцевания. Скорость шприцевания в зависимости от профиля заготовки и требований к ее качеству колеблется от 3 до 30 м/мин.

Смеси, обладающие небольшой способностью к эластической деформации, можно шприцевать с повышенной скоростью. Однако с увеличением скорости шприцевания возрастает теплообразование и, следовательно, появляется опасность подвулканизации резиновых смесей.

На основании полученных в лабораторных условиях технологических характеристик можно прогнозировать особенности поведения резиновых смесей в процессе шприцевания.

Для смесей на основе БСК это требование связано с их повышенной способностью к теплообразованию при механической обработке. Диссипативные (механические) потери на теплообразование обусловлены релаксацией быстрых деформаций, физически их можно охарактеризовать значением времени релаксации. У смесей на основе БСК оно особенно велико и составляет около 0,3 с. Величина усадки определяется максимальным значением времени релаксации: чем оно больше, тем значительнее усадка. Этим объясняется отмеченная выше закономерность проявления усадочных явлений в зависимости от типа каучука.

Современные червячные машины комплектуют системами точного регулирования давления, температуры и частоты вращения червяка. Так, колебание усадки профиля существенно зависит от флуктуации давления на входе в профилирующее отверстие.

Поэтому если датчик давления оснастить регистрирующим прибором, то по амплитуде колебания, отмечаемого им, можно контролировать качество экструдата.

В ряде случаев в процессе шприцевания возникают аномальные технологические явления, приводящие к ухудшению качества заготовок и появлению брака. Например, при высоких скоростях шприцевания наблюдается ухудшение состояния поверхности экструдата. Это обусловлено как эффектами эластической турбулентности, так и преждевременной подвулканизацией резиновой смеси вследствие нарушения оптимального температурного режима переработки.

При слишком низкой температуре цилиндра или мундштука заготовка приобретает волнистую поверхность, а при слишком высокой – на ней появляются царапины и надрывы. Наличие царапин и зазубрин на внутренней поверхности насадки также ухудшает внешний вид шприцуемой заготовки.

Вследствие низкой когезионной прочности резиновых смесей возможно нарушение целостности экструдата («откусывание профиля»), а также провисание или растекание заготовок при переработке некаркасных (низковязких и нетермопластичных) смесей.

### **6.3. Контроль и регулирование процесса шприцевания. Виды брака при шприцевании и их предупреждение**

Основной задачей процесса шприцевания является выпуск заготовок резиновых смесей строго определенного профиля. При шприцевании в профилирующих отверстиях головки развиваются высокие скорости и напряжения сдвига. Выходящая из профилирующего отверстия заготовка изменяет свою форму: увеличивается в сечении и сокращается в длину, т. е. дает усадку по длине. При очень высоких скоростях шприцевания появляется опасность возникновения эластической турбулентности, резко искажающей профиль изделия.

Для уменьшения усадки профилируемой заготовки необходимо повысить температуру резиновой смеси, увеличить длину профилирующего отверстия и снизить скорость шприцевания. Изменяя технологические параметры процесса (температуру и скорость шприцевания), можно регулировать усадку заготовок.

Скорость шприцевания уменьшается при введении в резиновую смесь компонентов, повышающих ее адгезию к металлу (битумов и смол). Для шприцевания высоковязких смесей используют приводы большой мощности, при этом возможно повышение теплообразования, а следовательно, и подвулканизация резиновых смесей, что ограничивает применение высоких скоростей в этих случаях.

Для получения шприцуемых изделий с гладкой поверхностью необходимо поддерживать определенную температуру в зонах червячной машины и правильно выбрать мундштук. Главными причинами получения заготовок с шероховатой поверхностью являются:

- пониженная температура цилиндра или мундштука (заготовка имеет волнистую поверхность);

- слишком высокая температура цилиндра или мундштука (на поверхности шприцуемого изделия образуются царапины и надрывы).

Гладкость поверхности резиновой заготовки во многом зависит от формы внутренней полости мундштука; выступы и острые углы значительно затрудняют прохождение резиновых смесей. Для предотвращения волнистости выходное отверстие мундштука должно плавно суживаться.

В шприцованных заготовках наблюдается ориентационный (каландровый) эффект, который увеличивается с повышением скорости шприцевания и уменьшением толщины заготовки.

В шприц-машинах горячего питания температуру регулируют в трех зонах: питания (в загрузочной части корпуса), сжатия (передней и средней частях корпуса) и нагнетания (в головке). В машинах холодного питания регулирование температуры осуществляется в пяти (шести) зонах: питания, сжатия, пластикации, вакуумирования и нагнетания. Температура в головке (в зоне нагнетания) поддерживается автоматически в пределах 80–90°C с точностью до  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Контроль и регулирование температуры производятся с помощью терморпар. Приборы теплового контроля и автоматики размещены на специальном щите управления процессом.

На некоторых машинах у входного отверстия устанавливают питательные валки, расположенные параллельно оси червяка, что позволяет обеспечить равномерное питание машин при постоянном зазоре между валками и наличии запаса резиновой смеси.

При установке питательных валиков производительность машины при одной и той же скорости червяка повышается приблизительно на 15% по сравнению с производительностью при питании вручную.

Существенное влияние на процесс шприцевания оказывает температура резиновой смеси, подаваемой в шприц-машину. Для червячных машин теплого питания она находится в пределах 40–80°C. При изменении температуры питающей смеси нарушается режим шприцевания, что приводит к получению заготовок неправильного профиля. В червячных машинах холодного питания резиновые смеси подают при температуре 18–23°C, это значительно облегчает регулирование температурного режима.

Качество шприцованных заготовок контролируют непрерывным их взвешиванием на весовом транспортере или измерением размеров. Колебания массы заготовок определенной длины не должны превышать 2–3%.

Межоперационный контроль качества профильных заготовок проводят обычно визуально. Особое внимание обращают на соответствие формы размеров профиля заданным, состояние его поверхности, наличие или отсутствие пористости, «задиоров», локальных очагов подвулканизации и других дефектов.

Применяют также инструментальные методы контроля. Так, для дистанционного измерения диаметров шприцованных заготовок используют специальные лазерные приставки, устанавливаемые на головке шприц-машины.

#### 6.4. Поточные линии для выпуска шприцованных заготовок

Благодаря простоте управления и надежности в работе червячные машины можно комплектовать в агрегаты и создавать механизированные и автоматизированные поточные линии.

Поточные линии для массового выпуска шприцованных заготовок определенного профиля (протекторных, камерных и др.) состоят из разогревательных и питательных валцов, червячных машин, отборочных и весовых транспортеров, устройств для охлаждения непрерывного шприцованного профиля и разрезания его на заготовки определенных длины или массы. Широкое применение

получили непрерывные поточные линии для шприцевания и вулканизации длинномерных профильных изделий (различных уплотнителей, кабелей, рукавов и др.).

Исходя из возрастающих требований, предъявляемых к изделиям, и новых требований, возникающих при осуществлении поточных технологических линий шприцевания и вулканизации, конструкции червячных прессов и методы их работы претерпели значительные изменения. Изделия с повышенной точностью предлагается изготавливать методом непрерывной экструзии в удлиненных фильерах. В состав комплексной линии входят червячный пресс с удлиненной фильерой, вулканизатор с жидким теплоносителем, отмывочно-охладительное и отборочное устройства. Для специальных целей линия оснащается также червячным прессом высокого давления, однако фильера выполняется более короткой, так как процесс ведут в две стадии: подвулканизацию – в фильере и довулканизацию – в отдельном аппарате.

## 7. ФОРМОВАНИЕ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Изделия сложной конфигурации, тела вращения, армированные детали изготавливают методом периодического формования повышенным давлением в металлических пресс-формах. Различают холодное формование, когда подогретую резиновую смесь запрессовывают в холодную пресс-форму или холодную смесь прессуют в горячей форме, и горячее формование, при котором нагретую смесь отформовывают в горячей пресс-форме. Поскольку формование является этапом вулканизации изделия, то в первом случае формы направляют в вулканизационные котлы или прессы, а во втором и третьем – формование сочетают с последующей вулканизацией в прессе. В процессе холодного формования изделие при вулканизации постоянно нагревается от температуры цеха до температуры вулканизации. При этом наружная часть изделия перегревается, а потому и перевулканизовывается, в сравнении с центром, что снижает однородность свойств, качество толстостенных массивных РТИ. Горячее формование с предварительным нагревом смеси практически устраняет этот недостаток, поскольку в ходе смыкания пресс-формы (или инжектирования смеси в форму) резиновая смесь нагревается до начала эффективной вулканизации и процесс протекает с близкой и высокой интенсивностью на поверхности и в центре изделия. Поэтому горячее формование наиболее производительное и широко распространено; особенно оно рекомендуется в производстве массивных изделий.

С учетом толщины, массивности формовые изделия классифицируются на тонкостенные, толстостенные и полые. С учетом неравномерности вулканизации и однородности поля давления в объеме при формовании к толстостенным относят изделия с объемом  $V \geq 125-150 \text{ см}^3$ .

С учетом рецептурных особенностей различают монолитные (с плотностью около единицы), пористые (с плотностью ниже единицы) резиновые и эбонитовые (с плотностью много выше единицы) изделия.

Отличают также неармированные и армированные резинометаллические или резинотекстильные резиновые технические изделия, применяемые для уплотнения и амортизации в различных машинах. Такие изделия могут классифицироваться по их конструктивным особенностям, которые определяют конструкцию пресс-форм, а также однотипности способа съема вулканизованных изделий на следующие группы.

1. Неармированные – производятся в двухплитных пресс-формах с ручным или автоматическим съемом при помощи вращающихся валиков или роликов.

2. Неармированные и армированные – изготавливаются в двухплитной форме с ручной закладкой арматуры и съемом изделия.

3. Неармированные – производятся в трехплитной форме с автоматическим съемом путем выталкивания из средней плиты.

4. Армированные – выпускаются в трехплитной форме с ручной укладкой арматуры и автоматическим съемом, выталкиванием из средней плиты.

5. Армированные и неармированные со сложной полостью – производятся в двухплитных формах с сердечником или вкладышем, с ручной укладкой вкладышей и арматуры в гнезда формы, ручным или механизированным съемом изделий.

Конструктивные особенности резиновых изделий и пресс-форм определяют специфику процессов периодического формования. Стремятся к организации технологии с минимумом затрат ручного труда, количества отходов производства, затрат на пресс-формы, затрат на подготовительные операции. Следует учитывать, что заключительной операцией формования является вулканизация, а это требует учета расхода энергии, стоимости вулканизационного оборудования, расходов на обработку поверхности РТИ. Все перечисленные факторы принимаются во внимание при выборе метода формования резиновых смесей под давлением. Основой классификации формовой технологии служат способы загрузки пресс-форм резиновой смесью, в соответствии с которыми различают прессовый и литьевой методы периодического формования.

## 7.1. Формование резиновых смесей методом прессования заготовок в пресс-формах

Наиболее широкое применение вследствие технологической, аппаратурной простоты и универсальности имеет прессовое (компрессионное) формование, заключающееся в сжатии в полости пресс-формы заготовки из резиновой смеси (рис. 13).

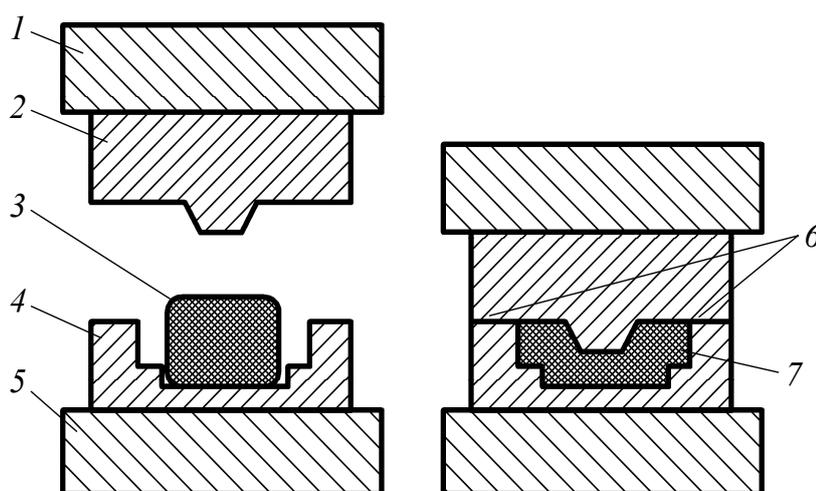


Рис. 13. Схема прессового формования РТИ:  
1, 5 – плиты пресса; 2, 4 – полуформы пресс-формы;  
3 – заготовка резиновой смеси; 6 – выпрессовки;  
7 – изделие

Прессующим давлением смесь распределяется по объему полости, а ее избыток вытесняется через разъемы между частями пресс-формы или специальные каналы. Отходы смеси в виде выпрессовки в среднем составляют 3–5%, но могут достигать и 50–60% при изготовлении мелких изделий и учитываются при изготовлении заготовок смеси для прессовой вулканизации. Снижение массы заготовки может вызывать недопрессовку изделия, а излишнее количество смеси удорожает производство и может привести к искажению размеров изделия – в основном увеличить его толщину. Качественное прессование обеспечивается применением заготовок с конфигурацией, возможно более близкой к конфигурации полости пресс-формы. В некоторых случаях, например при многогнездных формах для мелких деталей, используют заготовки упрощенных очертаний, что может повысить среднюю величину

отходов до 10%. Заготовки получают рассмотренными выше непрерывными методами профилирования резиновых смесей каландрованием, шприцеванием.

Параметры компрессионного формования определяются чаще всего опытным путем, хотя на базе обширных экспериментальных исследований, многолетней практической работы заводов созданы необходимые рекомендации для ведения процессов в оптимальных условиях. В частности, прессовое формование рекомендуется для жестких резиновых смесей, имеющих вязкость при 100°C более 60–100 усл. ед. Муни и время подвулканизации при 120°C не менее 10 мин. Более мягкие и устойчивые к подвулканизации смеси могут перерабатываться как литьевым, так и формовым прессованием.

Жесткость резиновых смесей учитывается при расчетах необходимого прессового давления: для мягких (с вязкостью при 100°C менее 60 усл. ед. Муни) смесей давление в полости формы на смесь должно составлять 2–5 МПа, а для жестких – 7–10 МПа.

Основным оборудованием, с помощью которого осуществляется прессовое формование, являются гидравлические вулканизационные прессы. Они относятся к машинам периодического действия. Такие прессы предназначены для создания между плитами больших давлений, необходимых для получения качественных изделий. Усилие на плиты создается в гидроцилиндре прессы рабочей жидкостью, поступающей под высоким давлением, и передается плитам через плунжер. Прессы классифицируются следующим образом:

- по назначению – для формования и вулканизации резиновых изделий в промышленности РТИ (прессы общего назначения): вулканизации транспортерных лент и плоских приводных ремней (многоцилиндровые); вулканизации клиновых ремней (челюстные); литьевого формования (литьевые); производства специальных изделий (например, диафрагм);

- расположению силового цилиндра – машины нижнего или верхнего давления, т. е. с нижним и верхним расположением цилиндра;

- типу силового контура – колонные и рамные;

- количеству силовых цилиндров – одно- и многоцилиндровые;

- количеству этажей – одно- и многоэтажные;

- типу обогрева плит – с паровым, электрическим (индукционным и омическим), жидкостным (перегретая вода, масло и водные эмульсии) обогревом;

– типу привода – с индивидуальным гидроприводом или с питанием от центральных насосно-аккумуляторных станций;

– наличию или отсутствию автоматического управления и вспомогательных устройств.

К основным параметрам прессов относятся: величина усилия, которое может создать силовой цилиндр; размер плит в плане и число этажей пресса.

Размер плит в плане определяет величину пресс-формы, а следовательно, и максимальный размер изделия в плане, которое можно изготавливать на данной машине. От числа этажей зависит производительность пресса. Устройство одноэтажного вулканизационного пресса показано на рис. 14.

Силовой контур машины, воспринимающий усилия, развиваемые в гидравлическом цилиндре, состоит из двух траверс (верхней 1 и нижней 8), которые соединены между собой колоннами 2. Обычно пресс имеет четыре колонны. Колонны крепятся к траверсам с помощью гаек. К траверсам крепятся также плиты 6 и 7. Плиты обогреваются паром или с помощью электронагревателей.

В цилиндре 5 помещен плунжер 4, который уплотняется с помощью сальниковой набивки или манжетного уплотнения. Между плитами 6 и 7 устанавливают пресс-формы с заготовками деталей (дозированными порциями резиновой смеси) и подают жидкость высокого давления в гидравлический цилиндр 5. Под действием усилия, развиваемого жидкостью в цилиндре, плунжер 4 начинает подниматься, перемещая вместе с собой плиту 7 с установленной на ней пресс-формой, до тех пор, пока верхняя часть пресс-формы не упрется в плиту 6. Пресс-форма оказывается зажатой между двумя плитами. Под действием усилия плунжера части пресс-формы сближаются, заставляя находящуюся в форме резиновую смесь течь и занимать свободную полость внутри пресс-формы, – происходит формование изделия, в таком положении (под давлением) пресс-форма остается до тех пор, пока резиновая смесь не свулканизуется. После завершения вулканизации полость рабочего цилиндра пресса соединяется с линией слива. Жидкость освобождает пространство под плунжером, и последний опускается под действием собственного веса. Вместе с ним на плите 7 опускается пресс-форма. Ее сдвигают с плиты и раскрывают, затем из пресс-формы извлекают изделие, закладывают в форму новую порцию смеси, и цикл повторяется.

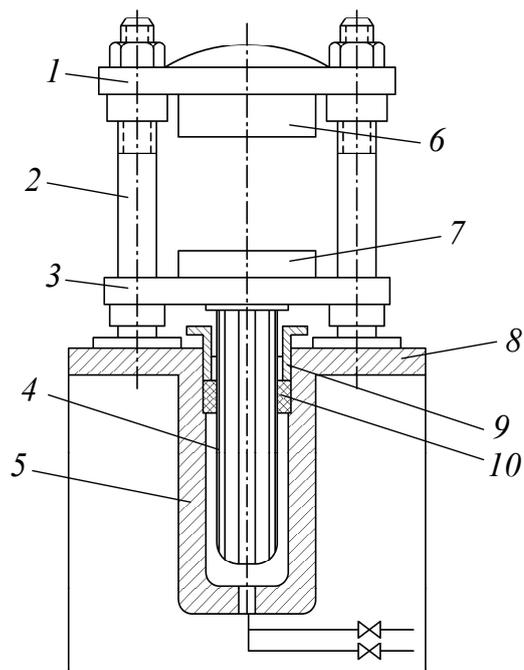


Рис. 14. Устройство колонного пресса:

- 1 – верхняя траверса; 2 – колонна; 3 – подвижная плита;  
 4 – плунжер; 5 – гидравлический цилиндр;  
 6, 7 – нагревательные плиты; 8 – нижняя траверса;  
 9 – втулка; 10 – сальниковая набивка

Время вулканизации изделия зависит от скорости его прогрева и кинетических закономерностей процесса вулканизации. Так как вулканизация начинается прежде, чем резиновая смесь нагревается до температуры плит, то рассчитать оптимальное время процесса не представляется возможным. Однако его можно оценить приближенно, если принять время вулканизации равным времени прогрева середины заготовки до заданной температуры.

Эффективное усилие, необходимое для качественного формирования изделий, рассчитывается для одного этажа и не зависит от числа этажей пресса. Определение давления затруднено из-за сложности конфигурации внутренней полости гнезда пресс-формы и необходимости учета закономерностей течения смеси при прессовании. Поэтому для определения необходимого давления в пресс-форме обычно пользуются практическими данными. Опытным путем установлено, что для формирования изделий на основе мягких резиновых смесей давление в полости смыкания полуформ составляет 2–5 МПа, а при использовании жестких смесей оно достигает 7–10 МПа и более.

## 7.2. Формование резиновых смесей методом литья под давлением

Метод литьевого формования наиболее перспективен, так как обеспечивает по сравнению с прессовым формованием следующие преимущества:

1) повышается на 35–50% производительность труда вследствие сокращения времени перезарядки пресс-форм (особенно многогнездовых), уменьшения цикла вулканизации, снижения трудозатрат на обработку изделий;

2) улучшаются равномерность прогрева и качество вулканизационных изделий;

3) отпадает необходимость приготовления точных по массе и габаритам заготовок;

4) сокращаются на 25–30% потери смеси в выпрессовках;

5) появляется возможность полной механизации и автоматизации процесса;

6) сокращается парк пресс-форм и в 2–3 раза увеличивается срок их службы.

Сущность метода состоит в создании в объеме резиновой смеси, находящейся в инжекционном цилиндре, давления шнеком или плунжером, с помощью которого смесь через инжекционное сопло и литьевые каналы заполняет гнезда пресс-форм и формуется.

Независимо от принципа работы современные машины для литья под давлением имеют следующие узлы и механизмы:

1) литьевой механизм;

2) устройство смыкания (запирания) формы при литье и вулканизации и раскрытия формы после вулканизации;

3) систему обогрева и охлаждения;

4) привод литьевой машины и систему управления.

Литьевые машины можно классифицировать следующим образом:

– по принципу действия инжекционного механизма – плунжерные, трансферные, шнековые, шнек-плунжерные, с предварительной пластикацией (разогревом) и без нее;

– расположению инжекционной и прессовой частей – вертикальные, горизонтальные и угловые;

– виду привода инжекционных и прессовых частей – механические, гидравлические, гидромеханические;

– числу механизмов замыкания пресс-форм – одно- и много-позиционные;

– виду обогрева цилиндров пластикации и сопел – с жидкостным (водяным, водоэмульсионным, масляным), электрическим (омическим и индукционным) и комбинированным нагревом-охлаждением;

– конструкции загрузочного устройства – питание лентой или гранулами резиновой смеси;

– назначению – лабораторные (оснащаются средствами контроля и регулирования параметров литья), специализированные (для выпуска одного, двух типов изделий с ограниченным объемом впрыска) и универсальные (с регулируемым объемом впрыска, высоким давлением литья, усилием замыкания форм, повышенной мощностью привода шнека, с быстрой переналадкой на выпуск изделия другого типа);

– максимальному объему впрыска, максимальному усилию замыкания форм и максимальному давлению литья.

Основными параметрами, определяющими работу литьевых агрегатов, являются:

1. **Максимальное давление литья** – определяется принципом действия инжекционного механизма: достигает 300 МПа для плунжерных и трансферных, 200 МПа для шнек-плунжерных и 30–40 МПа для шнековых. От максимального давления зависят скорость впрыска, возможность переработки смесей повышенной жесткости и качество изделий.

2. **Особенности разогрева и максимально допустимая температура смеси в литьевом механизме при работе** – определяют интенсивность и равномерность прогрева смеси в пресс-форме.

3. **Объем впрыскиваемой в форму за один рабочий цикл смеси** – определяется по произведению площади плунжера (шнека) и его максимально возможного хода при впрыске и характеризует объемную производительность машины.

4. **Усилие смыкания литьевых форм** – определяется давлением смеси в форме и площадью сечения изготавливаемого изделия в плоскости разъема.

Последние два параметра являются основой для проведения расчета конструкции и указываются после названия литьевых

машин. Например, «Машина литьевая 400/250» – первое число означает максимальный объем впрыска в сантиметрах кубических ( $\text{см}^3$ ), а второе – максимальное усилие сжатия в 250 тс (2500 кН). В международных обозначениях типоразмеров литьевого оборудования чаще всего применяют объем впрыска в сантиметрах кубических при удельном давлении литья в 100 МПа.

Следует учитывать, что производство резиновых изделий методом периодического литья под давлением требует более сложного и дорогостоящего оборудования, чем прессовая вулканизация. Более трудоемок ремонт и обслуживание литьевых машин. Однако отмеченные выше достоинства литьевого способа делают его применение перспективным.

Принято рассматривать технологические и аппаратные особенности периодического литьевого формования резиновых смесей по конструкциям инжекционных механизмов, определяющих особенности оборудования, технологии и возможности переработки смесей:

1) плунжерные и трансферные машины (компрессионно-литьевой метод), чаще всего применяемые для переработки жестких резиновых смесей с вязкостью при  $100^\circ\text{C}$  120–140 усл. ед. Муни;

2) шнековые, применяемые в основном для мягких резиновых смесей с вязкостью ниже 60 усл. ед. Муни;

3) шнек-плунжерные, более универсальные и используемые для литья смесей с вязкостью до 100–120 усл. ед. Муни.

### 7.3. Плунжерное и трансферное формование

Плунжерное литье применялось еще в 1930–1940 гг. для холодного заполнения пресс-форм резиноемких и сложных по конфигурации изделий с последующей их вулканизацией в прессах или автоклавах. В настоящее время большее распространение получило совмещение плунжерного формования с вулканизацией. При этом используют плунжерные литьевые машины в агрегате с вулканизационным прессом (рис. 15) или объединяют плунжерную литьевую камеру с гнездом вулканизационной пресс-формы при трансферном формовании.

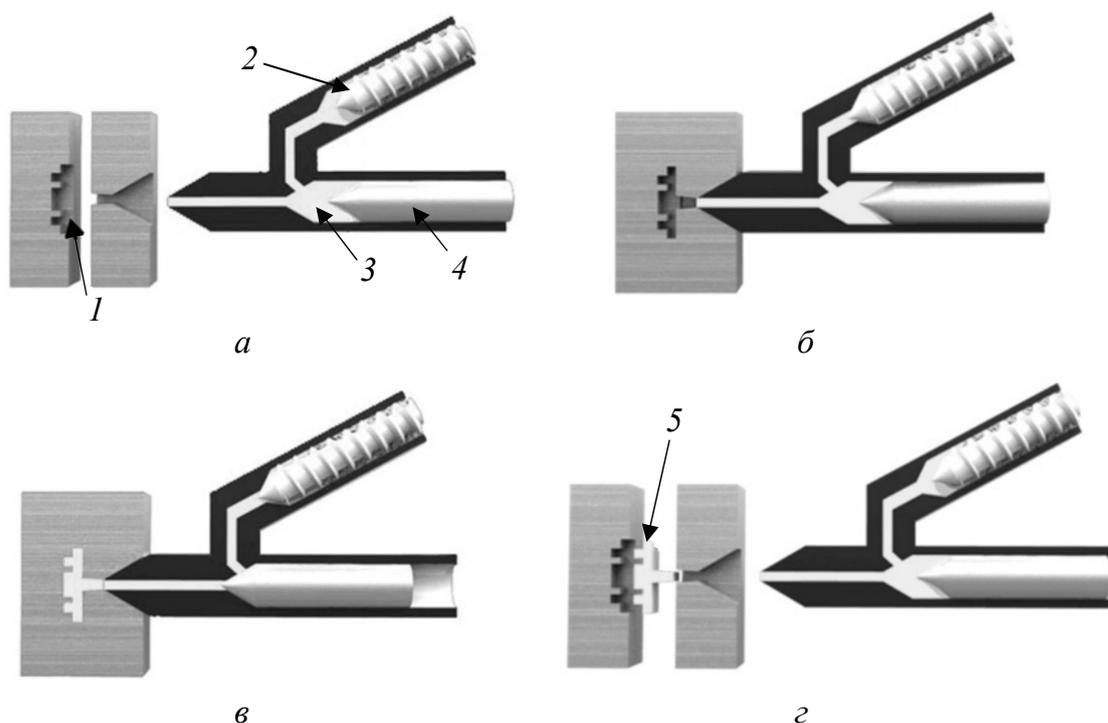


Рис. 15. Схема работы плунжерной литьевой машины:

*а* – форма раскрыта, наполнение материального цилиндра;  
*б* – смыкание формы, начало работы цилиндра; *в* – впрыск резиновой смеси, заполнение полости формы; *г* – изъятие изделия, набор новой дозы;  
 1 – формообразующая полость; 2 – червячная машина для разогрева материала; 3 – разогретый материал; 4 – плунжер; 5 – готовое изделие

### 7.3.1. Плунжерное формование

При работе плунжерной литьевой машины резиновую смесь разогревают до 60–70°C с помощью МЧХ 2 или на вальцах и загружают в литьевую камеру. Давление плунжера через шток передается на пуансон 4, которым смесь вытесняется через литниковое отверстие в полость разъемной формы 1. По заполнении пресс-формы идет вулканизация смеси, а литьевая машина отодвигается от пресса для заполнения других форм.

Недостатками таких агрегатов являются периодичность загрузки литьевой камеры, неравномерный, близкий к холодному формованию прогрев резиновой смеси по объему камеры и ограниченность объема впрыска.

Эти недостатки устраняются сочетанием плунжерного литьевого устройства со шнековым питателем. В нем осуществляется периодическая подпитка литьевого узла и прогрев смеси от обогреваемых стенок и вращения шнека.

### 7.3.2. Трансферное формование

Разновидностью плунжерного формования является трансферное. Схема трансферной формы дана на рис. 16.

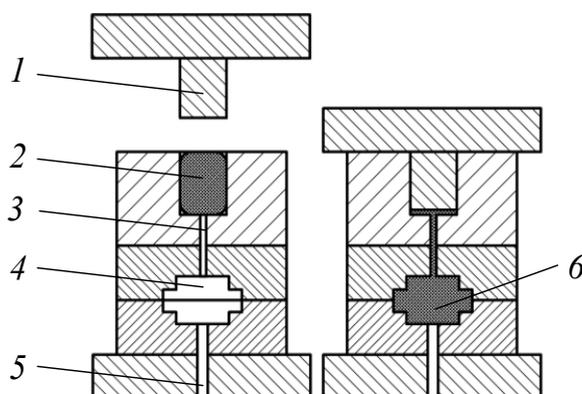


Рис. 16. Схема трансферной формы:  
1 – плунжер; 2 – резиновая смесь; 3 – литник;  
4 – формообразующее гнездо; 5 – толкатель;  
6 – заполненное материалом гнездо (готовое изделие)

Плунжер, закрепленный на одной (обычно верхней) плите вулканизационного пресса, продавливает нагретую до 60–70°C заготовку резиновой смеси из напорной (литниковой) камеры через литники в гнезде пресс-формы, укрепленной на нижней плите пресса. Положительным здесь является наличие разветвленной литниковой системы с короткими каналами, располагающейся в зоне смыкания плунжера и литников.

Это обеспечивает передачу прессующего давления в гнезда формы без потерь, постоянство давления от начала до конца вулканизации и способствует получению монолитных высококачественных изделий. Трансферный метод целесообразно применять в производстве мелких формовых изделий с использованием многогнездной крупногабаритной пресс-формы, в которой при обычном формовании невозможно произвести заполнение гнезд из-за сильно развитой литниковой системы.

Этот метод применим при массовом выпуске однотипных деталей сложной конфигурации, когда окупается высокая стоимость пресс-форм. К недостаткам метода следует отнести ухудшение условий обогрева верхней части пресс-форм и сравнительно большое для литьевого формования количество отходов резиновой смеси, задерживающейся в полости литьевой камеры.

## 7.4. Шнековое и шнек-плунжерное формование

К основной трудности литьевого формования относится необходимость разогрева и выдержки резиновой смеси в течение некоторого времени. Оптимальной с точки зрения литьевых и вулканизационных свойств является температура смеси, близкая к температуре вулканизации изделия, но склонность резиновых смесей к подвулканизации при повышенных температурах ограничивает до 70–100°C верхние пределы нагрева резиновой смеси перед вулканизацией. Рецептурные и технологические разработки не обеспечивают резиновым смесям требуемых подвулканизационных свойств, поэтому общеприменимые в литьевом формовании смеси со временем подвулканизации по Муни при 120°C, равном 10–30 мин, требуют для улучшения текучести и равномерности степени вулканизации по объему предварительного подогрева (пластикация) в литьевой машине непосредственно в ходе набора смеси или во время ее впрыска. Для плунжерного формования эта операция сложна в конструктивном исполнении. Для шнекового и шнек-плунжерного литья нагрев смеси осуществляется во время транспортировки ее шнеком в точку впрыска. Для этого шнеки делают удлиненными, соотношение их длины к диаметру 8–20 и более, а также применяют специфические узлы типа «Торпедо» для нагрева смеси при впрыске.

### 7.4.1. Шнековое формование

Основным достоинством шнекового формования является теоретически неограниченный объем впрыскиваемой в форму смеси. Однако подобный процесс заполнения формы шнековым питателем, носящий название интрузии, возможен при изготовлении изделий с максимальным соотношением длины пути течения (или длины изделия) к толщине канала (или толщине изделия) 70 : 1, а при других методах указанное соотношение может достигать 200 : 1. Это определяется низким давлением литья, создаваемым шнековым инжекционным механизмом, – до 40 МПа. Кроме того, процесс литьевого формования является периодическим, что снижает производительность шнековых литьевых машин, а при заполнении формы смесью резко уменьшается скорость течения материала, увеличиваются обратный поток резиновой смеси и ее

перегрев, возрастает опасность подвулканизации. Данные недостатки определили малое распространение шнековых машин в производстве – в основном для переработки маловязких смесей в изделия простой конфигурации. Увеличения давления литья до 150 МПа и снижения обратного потока добиваются применением шнекового механизма с зубчатыми шестернями, находящимися в зацеплении с витками шнека и запирающими, отделяющими зону впрыска от зоны питания шнека.

#### 7.4.2. Шнек-плунжерное (интрузионное) формование

Широкое распространение на практике получили шнек-плунжерные литьевые машины. При впрыске накопленная и разогретая резиновая смесь поступательным движением шнека, который в этой операции служит плунжером, подается в форму.

За время вулканизации червяк вращается, пластицирует (нагревает) новую порцию смеси, которая накапливается в цилиндре, и перемещает шнек в исходное состояние. После вулканизации форму раскрывают, изделие извлекают и повторяют рабочий цикл. Рабочий ход шнека определяется его диаметром и не должен превышать  $(1-4)D$ .

Анализ и практика работы шнеков показали, что для переработки мягких смесей целесообразно использовать однозаходные шнеки с отношением длины к диаметру  $L / D - 10-16$  и небольшой глубиной нарезки  $(0,1D)$ . Высоковязкие, склонные к подвулканизации смеси рекомендуются обрабатывать с помощью укороченных  $(L / D = 8-10)$  шнеков с глубиной комбинированной нарезки  $0,25D$  и степенью сжатия  $1,1-1,3$ . Нецелесообразно применение двухзаходных шнеков в литьевых питателях с диаметром шнека до 90 мм. Минимальные потери давления и хороший разогрев смеси при впрыске наблюдаются при угле конусной части шнека в узле впрыска в пределах от 30 до 70°.

## 8. ВУЛКАНИЗАЦИЯ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

### 8.1. Основные факторы процесса вулканизации (температура, время, давление, среда)

При выборе режима вулканизации следует учитывать влияние основных технологических факторов на этот процесс, т. е. свойств среды, температуры и давления.

#### 8.1.1. Среда вулканизации

Резиновые изделия вулканизуют в металлических формах или непосредственно в среде теплоносителя. При выборе теплоносителей необходимо знать не только их теплофизические свойства, но и их влияние на свойства резиновых изделий при контакте с ними.

Так, при вулканизации в среде горячего воздуха кислород вызывает окисление резин, что значительно ухудшает их свойства. При вулканизации в среде насыщенного водяного пара, вследствие конденсации паров на поверхности изделия, изменяются условия теплоотдачи, а следовательно, происходит неравномерная вулканизация изделия.

При выборе вулканизационной среды также учитывают вид изделия, состав резиновой смеси, применяемое оборудование, особенности ведения процесса и другие факторы.

#### 8.1.2. Температура

Большинство изделий вулканизуют при температуре 140–170°C, а в некоторых случаях – при 190–200°C.

При использовании высоких температур появляется возможность сократить продолжительность вулканизации изделий и, следовательно, повысить производительность оборудования. Однако для толстостенных изделий при повышении температуры следует учитывать возможность перевулканизации изделий на поверхности, а также неравномерность их вулканизации по толщине.

При интенсификации процессов вулканизации следует помнить, что иногда при повышении температуры ухудшаются свойства (качество) резин. Так, для резин на основе натурального и изопренового каучуков при температурах вулканизации выше 140°C характерно резкое ухудшение механических свойств. При увеличении температуры вулканизации резиноканевых изделий наблюдается ухудшение качества прорезиненной ткани, а также снижение прочности ее связи с резиной.

### 8.1.3. Давление

Вулканизацию резиновых технических изделий можно проводить под избыточным давлением и без него. Большинство резиновых изделий вулканизируют под давлением. При этом улучшаются внешний вид и физико-механические свойства вулканизатов, а главным образом, исключается их пористость, которая является причиной преждевременного разрушения изделий во время эксплуатации.

При нагревании в резиновой смеси возникает внутреннее давление, обусловленное испарением влаги и выделением газообразных веществ, образующихся при распаде ускорителей (особенно ультраускорителей) или при взаимодействии кислот с углекислыми солями с образованием летучих веществ (углекислоты из мела или углекислой магнезии в присутствии стеариновой и других кислот), а также десорбцией абсорбированного и механически поглощенного воздуха. Для получения высококачественных изделий резиновые смеси необходимо вулканизовать под давлением, превышающим внутреннее давление в резиновой смеси.

Для того чтобы предотвратить появление пористости, в резиновые смеси вводят водо- и газопоглощающие вещества (гипс и оксид кальция), которые поглощают содержащуюся в смеси влагу, образуя достаточно стойкие химические соединения. Существенное уменьшение порообразования наблюдается при предварительном вакуумировании резиновых смесей в процессе формования

в червячных машинах с вакуум-отсосом. Вакуумированные резиновые смеси можно вулканизовать без давления.

Правильный выбор режима применяемых давлений особенно важен для вулканизации многослойных изделий. Например, в случае преждевременного снижения давления в варочных камерах во время вулканизации автопокрышек возможен брак вследствие образования губчатой резины и расслоения каркаса.

При вулканизации резиновых тканевых изделий давление оказывает большое влияние на глубину проникновения резиновой смеси в ткань; с увеличением глубины проникновения выносливость изделий к многократным изгибам повышается. Глубина проникновения резиновой смеси в ткань зависит от ее способности растекаться при нагревании, что, в свою очередь, определяется свойствами исходного каучука и компонентов, входящих в состав смеси.

## 8.2. Технические способы вулканизации резиновых изделий

Вулканизация является заключительным процессом при производстве разнообразных резиновых изделий. В процессе вулканизации уменьшается пластичность резиновых смесей и постепенно увеличивается эластичность вулканизатов, улучшаются их физико-механические свойства, сильно возрастают прочность при растяжении, относительное удлинение, морозостойкость, теплоустойчивость, электрическое сопротивление, снижается способность вулканизатов набухать в органических растворителях и т. д. В состав резиновых смесей входят вулканизирующие агенты, действие которых проявляется при повышенных температурах. Для того чтобы вулканизировать сырые резиновые смеси, необходимо повысить их температуру до определенного значения и выдержать изделие при этой температуре в течение времени, достаточного для получения вулканизата с оптимальными техническими свойствами. Продолжительность нагревания при определенной температуре до оптимальной степени структурирования зависит от состава резиновой смеси. Быстрый прогрев заготовки до определенной постоянной температуры возможен только при ее очень малой толщине (до 1,5 мм). При вулканизации толстостенных изделий

процесс проходит при непрерывном возрастании температуры во внутренних слоях, так как их прогрев, ввиду малой теплопроводности резиновой смеси, протекает медленно. Скорость изменения температуры внутри заготовки резиновой смеси в условиях нестационарного теплового процесса зависит от теплофизических характеристик, формы и размера вулканизуемой заготовки, условий теплообмена и вида теплоносителя. На скорость изменения температуры может оказать влияние тепловой эффект вулканизации, обусловленный природой и содержанием вулканизирующего агента. При небольшом содержании серы (до 3 мас. ч.) он незначителен. Повышение температуры в материале при подведении к нему определенного количества тепла обратно пропорционально его объемной теплопроводности, и температуропроводность каучуков на несколько порядков меньше теплопроводности металлов, что существенно затрудняет прогрев резиновых смесей при вулканизации. С изменением температуры теплофизические характеристики каучуков изменяются незначительно. При введении ингредиентов в каучук теплофизические свойства резиновых смесей изменяются в зависимости от объемного содержания вводимого компонента. Теплопроводность сильно возрастает при введении технического углерода (особенно образующего цепочечные структуры), влияние оказывает не только его количество.

Таблица 1

**Теплопроводность резин на основе СКИ-3,  
содержащих 60 мас. ч. технического углерода различных марок**

Марка технического углерода	П-504	П-324	П-234	К-354
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,286	0,295	0,303	0,254

Основными видами вулканизационного оборудования общего назначения являются:

- 1) вулканизационные котлы;
- 2) вулканизационные прессы;
- 3) автоклав-прессы.

К специальным видам вулканизационного оборудования относятся:

- индивидуальные вулканизаторы для покрышек, камер;
- форматоры-вулканизаторы покрышек;

- автоклав-прессы для вулканизации покрышек;
- вулканизационные прессы для транспортерных лент и плоских приводных ремней:
- вулканизационные прессы для клиновых ремней;
- камерные вулканизаторы для прорезиненных тканей;
- барабанные вулканизаторы для плоских приводных ремней, транспортерных лент и резиновых листов;
- камерные вулканизационные агрегаты для производства изделий (мячи, игрушки и т. п.);
- карусельные пресс-автоматы для формовых изделий;
- непрерывные вулканизаторы неформовых изделий.

### 8.3. Характеристика теплоносителей

Наиболее часто вулканизацию формованных (или сборных) заготовок проводят в среде теплоносителя с постоянной температурой. В этих условиях скорость нагревания заготовок будет зависеть от коэффициента теплоотдачи ( $\text{Вт/м}^2\cdot\text{с}$ ) и разности температур между греющей средой (теплоносителем) и вулканизуемой заготовкой. Теплоотдача зависит от условий теплообмена и физических параметров теплоносителей. Наиболее широко в качестве теплоносителей в резиновой промышленности используют насыщенный водяной пар, горячий воздух, перегретую воду под давлением, расплавы солей, твердые материалы, находящиеся в псевдоожигенном состоянии, и некоторые другие теплоносители.

Насыщенный водяной пар является одним из наиболее эффективных. Недостатком данного теплоносителя является невозможность существенного повышения температуры без повышения давления.

Отдача тепла горячим воздухом и перегретой водой происходит за счет снижения температуры теплоносителя. Чтобы сохранить их постоянными, необходимо создать эффективную принудительную циркуляцию перегретой воды и горячего воздуха путем установки специальных насосов для перегретой воды и вентиляторов для горячего воздуха. Перегретый пар в процессе теплообмена подобен горячему воздуху, если не охлаждается до температуры насыщения. Коэффициенты теплоотдачи различных теплоносителей в зависимости от условий теплообмена могут

быть определены экспериментально или вычислены из соответствующих критериальных зависимостей. Вследствие небольших значений коэффициента теплоотдачи (табл. 2) и количества переносимого тепла горячий воздух является малоэффективным теплоносителем.

Таблица 2

**Коэффициенты теплоотдачи некоторых теплоносителей**

Наименование теплоносителя	Коэффициент теплоотдачи, Вт/м <sup>2</sup> ·К
Насыщенный пар	1 200–17 700
Перегретая вода	293–560
Горячий воздух	0,12–48
Псевдооживленные горячим воздухом твердые частицы размером 0,05–0,9 мм	270–765

В настоящее время актуальным является вопрос перехода от вулканизационной среды «пар и перегретая вода» к среде «пар и газообразный азот» при вулканизации шин. Принципиально возможен обогрев вулканизационной диафрагмы путем подачи парозотной смеси «в тупик» и путем непрерывной циркуляции смеси через диафрагму.

При подаче парозотной смеси «в тупик» парциальное давление, а следовательно, и температура пара в процессе вулканизации шины будут падать. Поэтому для поддержания параметров обогрева постоянными в диафрагму необходимо подавать дополнительные порции пара.

В этом случае режим вулканизации (обогрева диафрагмы) целесообразно строить следующим образом: после операции формирования невулканизированной шины в диафрагму последовательно подают пар, температура насыщения которого равна или несколько превышает заданную прописью режима вулканизации температура обогрева, затем – газообразный азот. Газообразный азот, давление которого превышает давление пара, подают в диафрагму до тех пор, пока давление в ней не достигнет заданного режимом вулканизации давления прессования. В дальнейшем в диафрагму подают дополнительные порции пара для обеспечения постоянства температуры обогрева и поддерживают неизменным давление парозотной смеси. В этом случае регулирующий клапан, установленный на линии подачи газообразного азота, осуществляет

регулирование по заданной величине давления в диафрагме, а регулирующий клапан на линии подачи перегретого пара – по температуре в диафрагме.

Преимуществом такого способа обогрева диафрагмы являются относительно невысокие затраты на приготовление и транспортировку теплоносителя. Вместе с тем скопление и переохлаждение конденсата в нижней части диафрагмы при подаче парозотной смеси «в тупик» приведет к снижению качества шин вследствие их неравномерной степени вулканизации и увеличению продолжительности режима вулканизации.

Циркуляция парозотной смеси позволяет избежать указанных недостатков. При этом в диафрагму насыщенный пар и газообразный азот могут подаваться как отдельно, так и в виде парозотной смеси, приготовленной заранее вне вулканизационного пресса.

Использование в качестве самостоятельного теплоносителя азота некоторыми специалистами оценивается как проблематичное ввиду низких значений его теплоемкости и коэффициента теплоотдачи.

## 8.4. Методы вулканизации

### 8.4.1. Периодическая вулканизация

**8.4.1.1. Вулканизация в вулканизационных котлах.** Большое количество РТИ, некоторые виды полуфабрикатов для автопокрышек и специфические изделия (типа чехлов) вулканизуют в котлах.

Вулканизационные котлы различают по размерам (диаметру и длине), расположению главной оси (горизонтальные и вертикальные), конструкции стенок (одностенные и двухстенные), типу затвора крышки (с болтовым и байонетным, т. е. быстродействующим затвором) и способу обогрева (с паровой рубашкой, змеевиком, нагревательными секциями – электрообогревом или с принудительной циркуляцией теплоносителя).

Котел представляет собой цилиндрический стальной аппарат (рис. 17). Расположение котла обычно горизонтальное.

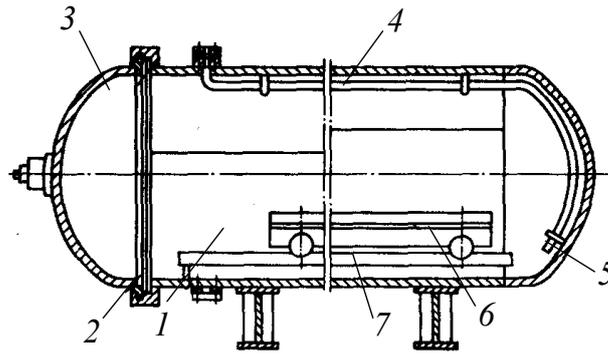


Рис. 17. Схема устройства вулканизационного котла:  
 1 – корпус; 2 – байонетный затвор; 3 – крышка;  
 4 – труба; 5 – днище; 6 – тележка; 7 – рельсы

Корпус 1 котла изготавливается из листовой стали (Ст3) и соединяется с днищем 5 выпуклой формы при помощи сварки. Крышка 3 котла смонтирована на кронштейне и соединяется с корпусом посредством байонетного затвора 2, который состоит из двух колец, расположенных на крышке и корпусе. Герметичность достигается с помощью резиновой прокладки, размещенной между кольцами.

Теплоноситель подается через распределительную трубу 4. Резиновые изделия, подлежащие вулканизации, укладываются на тележку 6, которая закатывается в котел по рельсам 7.

Котлы снабжены арматурой (вентильями для ввода и вывода пара, воды и воздуха, предохранительными и обратными клапанами), контрольно-измерительными приборами (манометрами, термометрами, расходомерами), автоматическими регуляторами давления, температуры и продолжительности процесса по времени (командоаппараты), а также различными вспомогательными устройствами (рельсами, опорами и другими). Вулканизационные котлы выпускают на внутреннее давление 0,6 и 1,25 МПа с внутренним диаметром от 800 до 3600 мм и длиной до 22 м.

Процесс вулканизации в котлах является периодическим и в тепловом отношении нестационарным. Он включает несколько последовательных операций:

- загрузку аппарата и закрытие крышки;
- повышение давления пара (сухого или насыщенного) и температуры в котле (монотонное или ступенчатое);
- выдержку резиновых изделий при постоянной температуре;

- снижение давления в котле;
- открытие крышки и разгрузку аппарата.

В некоторых случаях изделия охлаждают в котлах (до выгрузки).

Вулканизационные котлы могут быть снабжены паровой рубашкой. При наличии паровой рубашки водяной пар поступает в нее, а в котел подается воздух, т. е. вулканизация осуществляется в воздушной среде. В котлах без паровой рубашки водяной пар поступает непосредственно в котел, т. е. вулканизация осуществляется в паровой среде.

В начальный период вулканизации конденсация паров может происходить на поверхности сравнительно холодных невулканизированных изделий. При этом влага проникает внутрь резины, способствуя образованию в изделии пор, вздутий и расслоений. Для уменьшения конденсации напуск пара производят постепенно. Воздух удаляют через патрубок, расположенный в нижней части котла, так как плотность воздуха больше плотности пара и при напуске пара сверху воздух двигается вниз. Для устранения возможности появления зон застоя воздуха котел продувают паром.

Уменьшить конденсацию пара также можно при использовании вулканизационных котлов с паровой рубашкой. Конденсат содержит сернистые соединения, поэтому его экономически нецелесообразно применять вторично. В некоторых случаях внутри одностенного котла устанавливают нагревательные змеевики, что значительно снижает образование конденсата.

Управление процессом вулканизации, т. е. с момента закрытия крышки и до окончания цикла, осуществляется с помощью прибора КИП. Температура поддерживается на заданном уровне терморегуляторами.

При вулканизации в паровой среде водяной пар поступает в верхнюю часть котла, воздух выводится из нижней его части. Температура вулканизации составляет 130–150°C. Пуск пара происходит в течение 15 мин, выпуск – в течение 10 мин. Открытым способом вулканизируют изделия сложной конфигурации, собранные на колодках, формах и т. п. и не изменяющие свою форму в начальный период нагревания.

Если изделие деформируется в период прогрева под действием собственного веса, то его вулканизируют на противнях в тальке. Кроме того, тальк предохраняет изделие от попадания конденсата.

Для предотвращения соприкосновения изделия с вулканизационной средой, а также сохранения формы его покрывают тканью, тонкой резиновой пластиной, металлами (рукава, трубки и др.).

При вулканизации в воздушной среде изделия могут находиться при повышенном давлении и низкой температуре или, наоборот, при низком давлении и высокой температуре, поскольку температура воздуха не связана с его давлением. Для большинства каучуков применяется температура 130°C. Использование горячего воздуха ограничено, так как кислород воздуха при высокой температуре активно взаимодействует с каучуком, при этом ухудшаются механические свойства вулканизатов. Таким методом вулканизируют цветные резиновые изделия с ворсовой тканью. Процесс вулканизации длителен, так как воздух обладает плохими теплофизическими свойствами. Используются активные ускорители (тиурам, полисульфиды, свинцовые и цинковые соли дитиокарбаминовых кислот и т. д.).

Паровоздушная вулканизация применяется для лакирования изделий. С целью предотвращения потускнения лака, которое происходит при действии пара на лаковую пленку, изделия первоначально вулканизируют в воздушной среде при 100–125°C и давлении 0,25 МПа в течение 30–35 мин. Затем в аппарат подают водяной пар до достижения давления 0,3 МПа. Вулканизация завершается в паровоздушной среде в течение 15–20 мин при интенсивной циркуляции среды. Наиболее широко этот способ вулканизации применяется для лакированной обуви и цветных тонкостенных изделий.

**8.4.1.2. Вулканизация в прессах.** При этом способе вулканизации одновременно сочетают два процесса – формование методом компрессионного прессования (запрессовки) резиновой смеси в специальные пресс-формы и последующую вулканизацию под давлением. В некоторых случаях эти процессы можно проводить раздельно.

Заполнение пресс-формы резиновой смесью происходит под давлением благодаря вязкотекучим свойствам смеси. Смеси для улучшения их текучести подогревают; резиновые смеси апрессовывают, как правило, в нагретую форму. При этом следует учитывать, что в процессе прессования подвулканизация резиновой смеси не должна происходить до момента полного растекания смеси (до заполнения формы).

Конструкции пресс-форм отличаются большим разнообразием. Для вулканизации изделий в прессах под давлением применяют формы одноместные, а для мелких изделий многоместные. Размеры форм определяют по максимальному использованию поверхности их нагрева, а для удобства обращения с ними – по массе. При выборе материала для изготовления форм необходимо учитывать требования, предъявляемые к ним по прочности, износоустойчивости, невысокой стоимости, химической стойкости, простоте обработки при наличии высокой точности, хорошей теплопроводности и другим. Таким требованиям лучше всего удовлетворяют стали различных марок. В особо ответственных случаях применяют легированные стали.

При конструировании форм необходимо учитывать характер формуемого материала, тепловые коэффициенты расширения и усадки, допускаемое давление, коэффициенты трения, возникающие при растекании смеси в форме, легкость извлечения изделий из формы.

Для изделий, не требующих больших усилий прессования, можно применять некоторые легкоплавкие металлы (алюминий, сплавы сурьмы и др.).

Вулканизационные прессы в зависимости от назначения разделяются на прессы для формования и вулканизации резиновых изделий в пресс-формах; прессы для вулканизации приводных ремней и транспортерных лент.

Вулканизационные прессы в зависимости от размеров и способа обогрева рабочих плит, давления прессования и вида привода подразделяют на гидравлические, гидромеханические и рычажно-механические с обогревом плит паром, перегретой водой под давлением или электрическим током.

По конструктивному оформлению различают прессы колонного, рамного и челюстного типов. Кроме того, прессы бывают одноэтажного и многоэтажного типов.

Наибольшее распространение для вулканизации резиновых изделий в пресс-формах получили прессы с гидравлическим приводом.

Пресс-формы с резиновыми заготовками размещаются между плитами; в цилиндр подается рабочая жидкость, и плунжер со столом начинает двигаться вверх. При этом происходит формование изделий и плотное замыкание форм между плитами. Усилие прессования – до 20 МПа, усилие холостого хода – до 5 МПа.

В механизированных и автоматизированных прессах в качестве гидравлической жидкости применяют масло, подаваемое в цилиндр масляными насосами.

В промышленности резинотехнических изделий работают прессы рамного типа. В отличие от пресса колонного типа, соединение станины и гидроцилиндра с верхней поперечиной осуществляется не с помощью колонны, а посредством двух рам, изготовленных из листовой стали. В остальном прессы подобны.

Формовой способ вулканизации в пресс-формах, размещаемых в плитах, используют при изготовлении изделий сложной конструкции с высокой плотностью и точностью. При этом сочетаются два процесса: формование методом компрессионного прессования резиновой смеси в пресс-формы и вулканизация под давлением.

Резиновая смесь поступает в форму под давлением. Как правило, и смесь, и форма предварительно нагреваются. По конструкции формы подразделяются на одно- и многоместные. Температура плит поддерживается постоянной на заданном уровне автоматически с помощью терморегуляторов. Заготовки изделий выполняются так, чтобы при размещении в пресс-форме они не препятствовали вытеснению воздуха из полости формы при прессовании. С целью плотного заполнения формы масса заготовки на 3–8% больше массы получаемого изделия. В конструкциях пресс-формы предусматриваются специальные канавки и пазы для вытеснения избытка резиновой смеси после заполнения полости формы. Обогрев плит пресса осуществляется насыщенным водяным паром, перегретой водой и электрическим током.

Прессы применяются для вулканизации клиновых ремней и транспортерных лент. Клиновые ремни имеют замкнутую конструкцию, поэтому для их вулканизации используют специальные челюстные прессы (рис. 18).

Группа ремней 2 натянута между двумя шкивами 1 и 7, один из которых (1) неподвижен, а второй (7) может перемещаться, обеспечивая натяжение ремней или их ослабление в момент перезарядки пресса. Пресс состоит из рамы 5, неподвижной плиты 6, подвижной нижней плиты 9, промежуточной плиты 3 и гидравлического цилиндра 11 с плунжером 10. Шкивы 1 и 7 закреплены консольно. На них легко надевать ремни 2. Шкивы имеют канавки, соответствующие профилю ремня, аналогичные продольные канавки имеет и промежуточная плита 3.

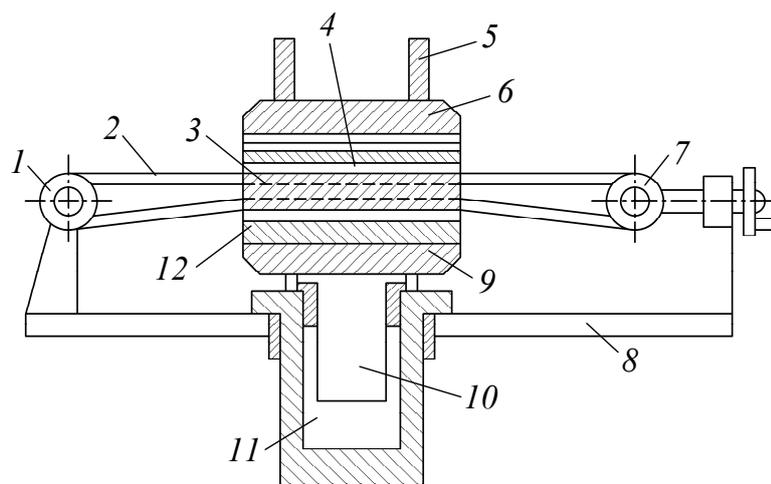


Рис. 18. Схема гидравлического пресса для вулканизации клиновых ремней:

- 1 – шкив; 2 – ремни; 3 – промежуточная плита;
- 4 – верхняя нагревательная плита; 5 – рама пресса;
- 6 – верхняя неподвижная плита; 7 – натяжной шкив;
- 8 – натяжное устройство; 9 – подвижная нижняя плита;
- 10 – плунжер; 11 – гидравлический цилиндр;
- 12 – нижняя нагревательная плита

Вулканизация осуществляется периодически по участкам ремней. Размер плит 400×600 или 400×1200 мм. При вулканизации на таких челюстных прессах обеспечивается высокое рабочее давление прессования, но ухудшаются эксплуатационные свойства ремней вследствие перевулканизации отдельных участков, подвергнутых повторной вулканизации.

Для вулканизации транспортерных лент конечной длины применяются рамные и колонные гидравлические прессы.

Лента из рулона протягивается между двумя вулканизационными плитами и опрессовывается с помощью гидравлических прессов, вулканизуется и закатывается в рулон. Для предотвращения вытяжки транспортерной ленты в процессе эксплуатации перед вулканизацией заготовку подвергают растяжению от 4,0 до 8,0% первоначальной длины. Для этой цели участок ленты зажимается в гидравлических устройствах и вытягивается с их помощью. Длина плит пресса составляет 10 м, полезная ширина – от 0,9 до 2,9 м. Прессовое усилие равно 40–75 МН.

**8.4.1.3. Вулканизация в автоклав-прессах.** Применяется для вулканизации покрышек, камер, обрезиненных катков и других изделий. В конструкции автоклав-пресса содержатся элементы,

присущие вулканизационным котлам и гидравлическим прессам. Наибольшее распространение получили автоклав-прессы со съемной крышкой и неподвижной паровой камерой. Вулканизационная часть автоклав-пресса состоит из корпуса (цилиндрическая паровая камера), соединенного с верхней кольцевой траверсой. Корпус изготавливается из листовой стали толщиной 8–12 мм, днище литое. Паровая камера закрывается крышкой, которая крепится к кольцевой траверсе байонетным кольцом. При повороте байонетного кольца крышка выходит из закрепления.

Формы с изделиями устанавливаются на стол автоклав-пресса, который закрывается крышкой, и в цилиндр подается вода. В момент подпрессовки и в течение всего цикла вулканизации вода поступает в гидроцилиндр под давлением 12–12,5 МПа, в период подпрессовки поддерживается давление воды, равное 2–2,5 МПа. После подпрессовки форм в варочную камеру подается перегретая вода, которая служит прессующим и тепловым агентом (давление воды – 2–2,5 МПа). После процесса вулканизации перегретая вода выводится, а внутрь варочной камеры подается вода для охлаждения (также под давлением 2–2,5 МПа).

Недостатки автоклав-прессов: применение тяжелого физического труда, связанного с перезарядкой пресс-форм и автоклава; необходимость в двухэтажных зданиях и больших заглублениях фундаментов пресса; в случае нарушения режима вулканизации в брак пойдет большее количество изделий.

**8.4.1.4. Вулканизация в индивидуальных вулканизаторах.** Недостатки, характерные для вулканизации в автоклав-прессах, устранены в индивидуальных вулканизаторах – кривошипно-шатунных прессах. Привод их может быть гидравлический, рычажно-гидравлический, рычажно-пневматический и рычажно-механический. Наибольшее распространение получили рычажно-механические прессы с электроприводом. По конструкции различают вулканизаторы двух типов:

1) с формами, установленными в паровой камере (автоклавного типа);

2) с формами, снабженными паровыми рубашками.

Число форм – 1 или 2. Чаще всего применяются индивидуальные вулканизаторы автоклавного типа, т. е. с паровой камерой. Для вулканизации камер используются формы с паровой рубашкой, а автоклавные вулканизаторы парового пространства не имеют.

Определяющий размер вулканизатора – расстояние между большими запирающими рычагами, где устанавливается паровая камера или форма. Исходя из этого, вулканизаторы принято обозначать: 36", 45", 55", 65" и 85".

Индивидуальные вулканизаторы имеют ряд недостатков:

- низкий коэффициент использования некоторых узлов и механизмов;
- большие занимаемые площади;
- значительная металлоемкость.

Эти недостатки устранены в современных линиях вулканизации автокамер (ЛВА) с автоматизированными узлами загрузки заготовок, открывания и закрывания пресс-форм, подачи теплоносителей, выгрузки вулканизированных камер.

Производительность индивидуальных вулканизаторов зависит от продолжительности вулканизации, числа пресс-форм и времени их перезарядки.

**8.4.1.5. Вулканизация в форматорах-вулканизаторах.** Применяется для формования сырых собранных покрышек и их вулканизации. При этом вместо варочной камеры используется специальная убирающаяся или неубирающаяся диафрагма, входящая в состав конструкции вулканизатора.

Форматор-вулканизатор представляет собой полуавтоматический вулканизационный кривошипно-шатунный пресс. Он имеет жесткую сварную станину, на которой смонтированы все механизмы: паровая камера, состоящая из двух половин; механизм замыкания полуформ и паровых полукамер, состоящий из траверсы, рычагов, шестерен-кривошипов, вала; механизм загрузки, состоящий из патронов-загрузчиков; механизм разгрузки, состоящий из гидропривода и системы рычагов.

Основное отличие форматора-вулканизатора от индивидуального вулканизатора заключается в применении закрепленной в форматоре эластичной резиновой диафрагмы, внутрь которой подаются теплоносители и которая оформляет внутреннюю поверхность изделия – автопокрышки.

Форматоры-вулканизаторы классифицируются по числу пресс-форм, усилию на одну пресс-форму, внутреннему диаметру паровой камеры, в которой размещена пресс-форма, расстоянию между установочными плоскостями для пресс-форм.

Современные форматоры-вулканизаторы снабжаются устройствами для определения усилия смыкания пресс-форм и отключения привода при достижении максимального усилия, приборами и средствами автоматики для поддержания требуемого температурного режима в паровых камерах.

Обязательным является наличие быстродействующей системы аварийной остановки движущихся механизмов форматора-вулканизатора и переключения на обратный ход. Все форматоры должны быть снабжены системой блокировки, исключающей возможность раскрытия пресс-форм при наличии давления в паровых камерах и диафрагме.

По принципу расположения и работы диафрагмы форматоры-вулканизаторы делят на два типа. Форматоры типа «Автоформ» имеют убирающуюся вовнутрь в нерабочем состоянии диафрагму, а у форматоров-вулканизаторов типа «Бег-о-Матик» диафрагма находится снаружи (как в рабочем, так и в нерабочем состояниях).

При работе в режиме формования внутрь диафрагмы подается формирующий пар, который выворачивает диафрагму в форматоре «Автоформ», а затем растягивает ее, одновременно формируя автопокрышку. Далее проходит процесс вулканизации при подаче внутрь диафрагмы перегретой воды, а в полость пресс-формы – пара. По завершении вулканизации и охлаждения покрышки внутри диафрагмы создается вакуум, которым она убирается из покрышки и в форматоре типа «Бег-о-Матик» сжимается, а в форматоре типа «Автоформ» убирается внутрь. Готовое изделие снимается.

Преимуществом форматоров с убирающейся диафрагмой является простая конструкция приводных механизмов, так как движение механических узлов происходит по прямым траекториям. Однако загрузка и выгрузка покрышки в этом случае требуют сложных устройств, а значительные деформации изгиба приводят к резкому износу убирающихся диафрагм. Все перечисленные недостатки устраняются в форматорах-вулканизаторах с убирающейся диафрагмой.

Применение форматоров-вулканизаторов позволило избавиться от многих трудоемких операций. Форматор-вулканизатор заменил три вида оборудования: форматор, вулканизатор и станок для выемки варочных камер.

Вулканизацию покрышек проводят при температуре форм 130–174°C. Параметры процесса вулканизации устанавливаются

по результатам расчетов и измерений для наиболее медленно вулканизирующегося участка покрышки. Обычно на каждом предприятии устанавливаются свои режимы вулканизации. Это объясняется различием в вулканизационной аппаратуре, параметрах теплоносителей, рецептуре смесей, размерах покрышек и диафрагм. Процесс вулканизации покрышек в форматерах-вулканизаторах характеризуется довольно высокой степенью механизации и автоматизации. Однако сложные и металлоемкие механизмы, выполняющие загрузочно-разгрузочные операции, в течение одного цикла вулканизации действуют 1–2 мин. Остальное время (45–120 мин для грузовых покрышек) они простаивают.

**При формовой вулканизации** изделия имеют на поверхности заусеницы и выпрессовки, которые появляются в местах разъема пресс-форм и в других специальных местах. Обрезка выпрессовок осуществляется на машинах или иногда вручную.

К недостаткам периодической формовой вулканизации относятся: высокая трудоемкость процесса; необходимость применения заготовок, масса которых превышает массу готового изделия; неравномерность вулканизации толстостенных изделий; необходимость дополнительной отделки изделий.

#### 8.4.2. Непрерывная вулканизация

Некоторые недостатки периодической вулканизации устранены при организации непрерывного процесса. Непрерывная вулканизация применяется при массовом выпуске одинаковых или близких по размеру изделий. При этом появляется возможность механизации и автоматизации этого процесса и повышения производительности труда.

В промышленности работают следующие виды вулканизаторов:

- 1) камерного (туннельного) типа для вулканизации полых изделий, прорезиненных тканей, трубок и других профильных изделий;
- 2) барабанного типа для вулканизации транспортерных лент, приводных ремней, резиновых полос и клиновых ремней;
- 3) шахтного типа для вулканизации галош;
- 4) карусельного типа для вулканизации формовых изделий;
- 5) установки для вулканизации неформовых изделий в расплаве солей и в псевдоожигенном слое частиц;
- 6) агрегаты для вулканизации изделий и прорезиненных тканей инфракрасными лучами;
- 7) установка для вулканизации изделий токами высокой частоты.

**8.4.2.1. Вулканизация в вулканизаторах камерного (туннельного) типа.** Метод камерной вулканизации применяется для изготовления полых резиновых изделий (мячи, игрушки и т. п.).

Вулканизатор (рис. 19) состоит из камеры распределения воздуха 1, поворотной станции 2, калорифера 3, вентилятора 4 с приводом, системы воздухопроводов возвратного воздуха 5, системы туннелей 10 и 11, приводной станции 7, тяговой цепи 8.

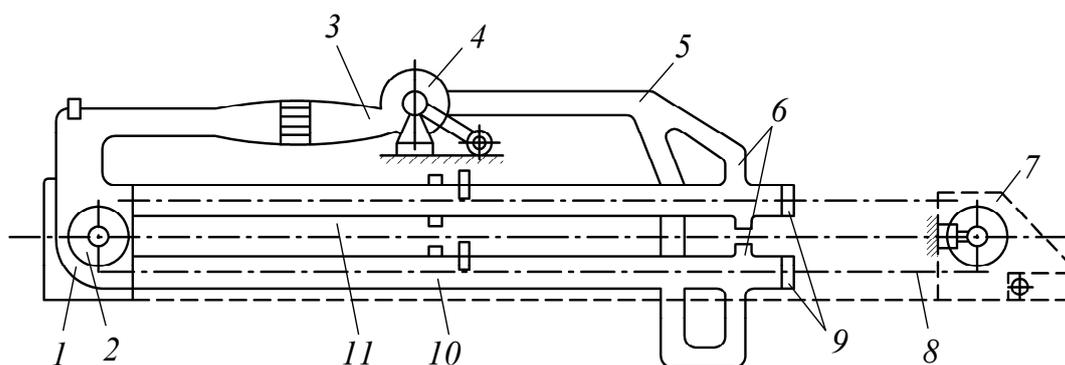


Рис. 19. Схема туннельного вулканизатора непрерывного действия:  
 1 – камера распределения воздуха; 2, 7 – поворотная и приводная станции соответственно; 3 – калорифер; 4 – вентилятор;  
 5 – воздухопровод; 6 – кольцевые камеры гашения скорости и возврата воздуха; 8 – тяговая цепь с формами; 9 – лепестковые диафрагмы;  
 10, 11 – нижняя и верхняя часть трубчатого туннеля

Вулканизация происходит в пресс-формах, которые закрепляются на тяговой цепи и имеют запирающие устройства замкового типа. В этом случае перезарядка осуществляется на участке около приводной станции. Пресс-формы могут быть съемными с тяговых органов. Тогда после вулканизации форма снимается и подается на перезарядку.

Внутри камеры циркулирует горячий воздух (150–220°C), нагреваемый в калорифере 3 и нагнетаемый вентилятором 4.

Входы и выходы из туннелей закрыты лепестковыми диафрагмами 9, которые препятствуют подосу воздуха снаружи и не мешают проходу пресс-форм и тягового устройства.

**8.4.2.2. Вулканизация в вулканизаторах барабанного типа.** Для вулканизации плоских изделий, например транспортерных лент, приводных ремней, резиновых матов, листов резины, нашли применение вулканизаторы барабанного типа.

Главными органами барабанного вулканизатора являются обогреваемый барабан, прессующие барабаны, натяжной барабан.

Гибкая лента огибает все барабаны. Изделие для вулканизации подается в зазор между поверхностью барабана и поверхностью ленты. При движении за счет контакта с барабаном изделие нагревается и вулканизуется. Подпрессовка изделия осуществляется при натяжении ленты барабаном и за счет изменения расстояния между осями барабанов. Возможна установка инфракрасных излучателей.

#### **8.4.2.3. Вулканизация в вулканизаторах шахтного типа.**

Используются для вулканизации штампованных галош и представляют собой камеру, внутри которой установлен транспортер-элеватор с люльками для рамок с галошами. Камера разделена на четыре секции. Первая и вторая секции служат для нагревания и вулканизации изделий, третья секция – для охлаждения, четвертая – для возврата. Цепь транспортера проходит зигзагообразно по всем четырем шахтам. Теплоносителем является воздух. Продолжительность пребывания изделий в аппарате составляет 55 мин, время вулканизации – 30 мин.

**8.4.2.4. Вулканизация в карусельных вулканизаторах.** Вулканизация однородных формовых изделий с одинаковой продолжительностью вулканизации осуществляется в вулканизаторах карусельного типа. Основной частью такого вулканизатора является карусельное устройство с расположенными на нем вулканизационными формами.

В качестве теплоносителей для обогрева форм применяют пар, перегретую воду под давлением и электрический ток.

Невулканизованные заготовки подают в форму с помощью специальных кассет. Для удобства перезарядки форм используют поворотные верхние полуформы или выдвигаемые нижние полуформы.

**8.4.2.5. Вулканизация изделий в расплаве солей.** При изготовлении длиннорезинных резиновых изделий (например, уплотнителей) применяют, с целью предотвращения порообразования в резинах, червячные машины с вакуум-отсосом, устанавливаемые перед вулканизаторами.

В состав агрегата кроме червячной машины и вулканизатора входят отмывочно-охлаждающее устройство, протягивающее устройство и отборочный транспортер.

В качестве теплоносителя используют расплав солей. Наиболее эффективным оказался сплав нитратов натрия и калия и нитрита натрия (53%  $\text{KNO}_3$  + 7,0%  $\text{NaNO}_3$  + 40%  $\text{NaNO}_2$ ). Температура плавления такой смеси равна 142,5°C, теплостойкость – 450°C, плотность – 1926 кг/м<sup>3</sup>.

Нагрев солей в ванне осуществляется электронагревателями. Производительность агрегата – 10–15 м/мин при температуре теплоносителя 180–250°С. К недостаткам такой вулканизации следует отнести некоторую деформацию заготовок.

**8.4.2.6. Вулканизация изделий в псевдооживленном слое частиц.** С целью предотвращения деформации шприцованных профилей разработан способ их вулканизации в установках, в которых в качестве теплоносителя используются псевдооживленные потоком нагретого воздуха частицы, например кварцевый песок (0,2–0,3 мм), стеклянные шарики (0,15–0,25). В таком слое создаются благоприятные условия передачи теплоты от среды к вулканизируемому изделию. Коэффициент теплопередачи в 50–100 раз выше по сравнению с коэффициентом теплопередачи в воздушном потоке без применения твердых частиц. Температура воздуха поддерживается до 250–300°С при давлении до 2,0 кПа. Для предотвращения налипания частиц на изделие заготовку после шприцевания обрабатывают антиадгезивом (суспензия талька).

**8.4.2.7. Вулканизация изделий с использованием в качестве теплоносителя инфракрасных лучей.** Обогрев инфракрасными лучами применяется при вулканизации прорезиненной ткани.

При этом способе размещение излучателей над поверхностью ткани позволяет получить равномерное тепловое поле с температурой в зоне вулканизации 180–210°С при использовании около 80% лучевой энергии. В зависимости от типа ткани время вулканизации составляет 10–30 с. Скорость движения ткани – 7,5–30 м/мин.

**8.4.2.8. Вулканизация изделий в поле токов высокой частоты (ТВЧ).** Применяется для вулканизации крупногабаритных изделий, которые вследствие плохой теплопроводности резины прогреваются неравномерно. При использовании ТВЧ теплообразование в материале зависит от мощности источника энергии и частоты изменения электрического поля. Нагревание изделия происходит по всему объему и зависит от теплофизических характеристик материалов, из которых оно получено.

На скорость нагревания изделий в поле ТВЧ влияют такие факторы, как полярность каучука, наличие и количество технического углерода и других полярных компонентов. С увеличением полярности каучуков и полярных компонентов скорость прогрева возрастает.

## 8.5. Виды брака при вулканизации и их предупреждения

В процессе вулканизации по различным причинам могут возникнуть некоторые виды брака изделий (табл. 3).

Таблица 3

**Основные дефекты свулканизованных деталей и меры по их устранению**

Вид и описание дефекта	Причина дефекта	Методы устранения дефектов
Недопрессовка. Местное нарушение заданных геометрических размеров	Несоответствие заготовок по массе или размерам	Заменить заготовку
Недопрессовка. Местное нарушение заданных геометрических размеров Перевулканизация. Наличие по краям изделия деформированного облоя	Неправильная закладка заготовок в гнезда пресс-форм	Закладывать заготовки по гнезду пресс-формы
	Частичная подвулканизация заготовок	Заменить заготовку
	Увеличен режим вулканизации. Хранение горячих изделий в больших емкостях	Соблюдать режим вулканизации и правила хранения
Недовулканизованное изделие. Отклонение размеров изделий от заданных	Неравномерная вулканизация	Устранение неоднородности теплового поля формы
Недовулканизованное изделие. Отклонение размеров изделий от заданных Включения в РТИ. Наличие инородных включений на поверхности или в объеме	Недостаточная степень вулканизации	Увеличение режима вулканизации
	Наличие остатков резины на поверхности формы после съема изделия	Тщательно произвести очистку формы при перезарядке
Включения в РТИ. Наличие инородных включений на поверхности или в объеме	Загрязнение заготовок при хранении или от тары	Соблюдать чистоту на рабочем месте
Губчатость (пористость), губчатость по бортику. Наличие отдельных пор или их скопление	Нарушение режима вулканизации	Строго соблюдать режим вулканизации
Губчатость (пористость), губчатость по бортику. Наличие отдельных пор или их скопление Трещины, расслоение. Появление трещин на поверхности изделия, при растяжении которых наблюдается расслоение	Недостаточное давление смыкания плит	Проверка давления смыкания формы
	Неправильная укладка заготовок в гнезда пресс-форм	Аккуратно и правильно закладывать заготовки в гнезда пресс-форм

Вид и описание дефекта	Причина дефекта	Методы устранения дефектов
Трещины, расслоение. Появление трещин на поверхности изделия, при растяжении которых наблюдается расслоение. Пузыри. Появление пустот внутри изделия	Подвулканизованная заготовка	Заготовку заменить
	Подвулканизация заготовок в пресс-форме при перезарядке	Сократить время перезарядки
	Сокращение режима вулканизации	Строго соблюдать режим вулканизации
Пузыри. Появление пустот внутри изделия	Неправильные размеры заготовок	Уточнение размера заготовок
	Отсутствие подпрессовки или быстрая подпрессовка	Установить пресс на соответствующий режим подпрессовки
	Закупорка воздуха в гнездах пресс-формы	Прочищать отверстия для отвода воздуха

## 8.6. Вулканизация толстостенных изделий

Вулканизация толстостенных изделий протекает при переменной температуре, при этом чем больше их толщина, тем больше продолжительность нагревания. Степень вулканизации резины при переменной температуре обычно оценивают по эквивалентному времени вулканизации ( $\tau_{\text{экв}}$ ) – условной продолжительности вулканизации при постоянной температуре  $\tau_{\text{экв}}$ , которое необходимо затратить, чтобы получить резины с такими же свойствами в условиях переменных температур реального процесса вулканизации. Эквивалентное время вулканизации можно рассчитать, если известен температурный коэффициент вулканизации и изменение температуры в течение всего процесса  $\tau$ , включающего нагревание резиновых смесей и охлаждение вулканизаторов.

Эквивалентное время вулканизации рассчитывают методами графического интегрирования. Режим вулканизации толстостенных изделий выбирают таким, чтобы эквивалентное время вулканизации различных частей вулканизуемого изделия совпадало со временем оптимума вулканизации резиновой смеси при постоянной температуре.

Обычно продолжительность вулканизации толстостенных изделий определяют с помощью специальных номограмм или

реометров с программным изменением температуры в соответствии с ее изменением в реальной точке вулканизуемого изделия.

При вулканизации температуры на поверхности и в центре толстостенных изделий неодинаковы. Если продолжительность процесса будет определяться условиями, необходимыми для обеспечения заданной степени структурирования в центре изделия, то поверхностные слои, особенно при эффективной теплопередаче, окажутся сильно перевулканизованными. Перевулканизация изделий с поверхности тем больше, чем выше температура вулканизации и чем больше толщина изделия, так как скорость прогревания изделий незначительно увеличивается с повышением температуры теплоносителя, а скорость вулканизации увеличивается очень быстро. Толстостенные изделия для уменьшения неоднородности их свойств не следует вулканизовать при очень высокой температуре. При определении продолжительности вулканизации таких изделий необходимо учитывать, что структурирование, особенно в их центре, продолжается некоторое время и после окончания нагревания за счет поглощенного тепла. Поэтому не следует в процессе нагревания добиваться полной вулканизации заготовки по всей толщине. Для уменьшения неоднородности прогревания следует проводить ступенчатый нагрев или предварительно подогреть резиновую смесь. Для изготовления многослойных изделий, полученных сборкой из различных деталей, применяют резиновые смеси с различной кинетикой вулканизации. Резиновые смеси, предназначенные для изготовления внутренних деталей, должны обладать большой скоростью вулканизации. При определении вулканизационных характеристик этих смесей учитывают особенности прогревания изделия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Корнев, А. Е. Технология эластомерных материалов / А. Е. Корнев, А. М. Буканов, О. Н. Шевердяев. – М.: НППА «Исток», 2009. – 500 с.
2. Осошник, И. А. Производство резиновых технических изделий / И. А. Осошник, Ю. Ф. Шутилин, О. В. Карманова. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2007. – 972 с.
3. Шейн, В. О. Основные процессы резинового производства / В. О. Шейн, Ю. Ф. Шутилин, А. П. Гриб. – Л.: Химия, 1988. – 160 с.
4. Свойства резиновых смесей и резин: оценка, регулирование, стабилизация / В. И. Овчаров [и др.]. – М.: САНТ-ТМ, 2001. – 400 с.
5. Шутилин, Ю. Ф. Справочное пособие по свойствам и применению эластомеров / Ю. Ф. Шутилин. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2003. – 871 с.
6. Переработка каучуков и резиновых смесей / Е. Г. Вострокнутов [и др.]. – М.: НИИШП, 2005. – 369 с.
7. Кошелев, Ф. Ф. Общая технология резины / Ф. Ф. Кошелев. – М.: Химия, 1978. – 528 с.
8. Мартин, Дж. М. Производство и применение резинотехнических изделий / Дж. М. Мартин, У. К. Смит; под ред. С. Ч. Бхати, В. Н. Красовского. – СПб.: Профессия, 2006. – 480 с.
9. Технология резиновых изделий / Ю. А. Аверко-Антонович [и др.]. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.
10. Современное состояние мирового производства неформовых и формовых РТИ. Аналитическая обзорная информация. – М.: НИИЭМИ, 2005. – 233 с.
11. Бекин, Н. Г. Оборудование для изготовления пневматических шин / Н. Г. Бекин, Б. М. Петров. – Л.: Химия, 1982. – 264 с.
12. Gumárska technológia I / Š. Prekop [et al.]. – Žilina: Žilinski univerzita, 1998. – 282 p.
13. Справочник резинщика: материалы резинового производства / под ред. И. А. Скуба. – М.: Химия, 1971. – 607 с.
14. Федюкин, Д. Л. Технические и технологические свойства резин / Д. Л. Федюкин, Ф. А. Махлис. – М.: Химия, 1985. – 240 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
1. Общая технологическая схема производства резиновых изделий .....	4
2. Прием, хранение и транспортирование каучуков и ингредиентов .....	8
2.1. Условия хранения каучуков .....	9
2.2. Хранение порошкообразных ингредиентов .....	10
2.2.1. Бестарное хранение порошкообразных ингредиентов .....	10
2.2.2. Тарное хранение порошкообразных ингредиентов	13
2.3. Прием и хранение жидких продуктов .....	15
2.4. Транспортирование материалов со складов в производство .....	15
2.4.1. Транспортирование сыпучих материалов .....	16
2.4.2. Транспортирование штучных материалов .....	19
2.4.3. Транспортирование жидких и легкоплавких материалов. ....	20
3. Подготовка каучуков и ингредиентов к смешению .....	21
3.1. Растваривание и резка каучуков .....	21
3.2. Декристаллизация каучуков, способы и режимы декристаллизации .....	22
3.3. Пластикация каучуков .....	24
3.3.1. Термопластикация каучуков .....	27
3.3.2. Пластикация каучука в червячных машинах .....	27
3.3.3. Пластикация каучука в закрытых резиносмесителях .....	28
3.3.4. Пластикация каучука на вальцах .....	29
3.4. Развеска и дозирование материалов .....	30

4. Изготовление резиновых смесей .....	35
4.1. Сущность процесса смешения .....	35
4.2. Приготовление резиновых смесей на вальцах .....	38
4.3. Приготовление резиновых смесей в закрытых резиносмесителях периодического действия .....	42
4.4. Одно-, двух- и трехстадийное смешение. ....	48
4.4. Смешение в машинах непрерывного действия .....	50
4.5. Охлаждение и очистка резиновых смесей .....	51
4.6. Контроль процесса смешения и качества резиновых смесей (экспресс-контроль) .....	52
5. Типы каландров и выполняемые на них операции .....	54
5.1. Типы каландров .....	55
5.2. Вспомогательные приспособления каландров .....	57
5.3. Питание каландров .....	60
5.4. Листование и объемное профилирование резиновых смесей .....	61
5.5. Каландровый эффект .....	63
5.6. Обкладка тканей резиновыми смесями на каландрах	64
5.7. Прорезинивание (промазка) тканей .....	66
5.8. Пути повышения качества каландрованных заготовок. Виды брака .....	67
5.9. Прокладочные ткани и другие материалы .....	68
6. Шприцевание резиновых смесей .....	70
6.1. Шприцевание резиновых смесей на машинах теплого и холодного питания .....	73
6.2. Усадочные явления и ориентационный эффект при шприцевании .....	76
6.3. Контроль и регулирование процесса шприцевания. Виды брака при шприцевании и их предупреждение .....	80
6.4. Поточные линии для выпуска шприцованных заготовок .....	82
7. Формование резиновых смесей .....	84
7.1. Формование резиновых смесей методом прессования заготовок в пресс-формах .....	86
7.2. Формование резиновых смесей методом литья под давлением .....	90
7.3. Плунжерное и трансферное формование .....	92
7.3.1. Плунжерное формование .....	93
7.3.2. Трансферное формование .....	94

7.4. Шнековое и шнек-плунжерное формование.....	95
7.4.1. Шнековое формование .....	96
7.4.2. Шнек-плунжерное (интрузионное) формование	
8. Вулканизация резиновых изделий .....	97
8.1. Основные факторы процесса вулканизации (температура, время, давление, среда) .....	97
8.1.1. Среда вулканизации .....	97
8.1.2. Температура.....	97
8.1.3. Давление.....	98
8.2. Технические способы вулканизации резиновых изделий .....	99
8.3. Характеристика теплоносителей.....	101
8.4. Методы вулканизации.....	103
8.4.1. Периодическая вулканизация .....	103
8.4.2. Непрерывная вулканизация.....	113
8.5. Виды брака при вулканизации и их предупреждения	117
8.6. Вулканизация толстостенных изделий.....	118
Литература.....	120

Учебное издание

**Шашок** Жанна Станиславовна  
**Вишневский** Константин Викторович

## ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Учебно-методическое пособие

Редактор *Р. М. Рябая*  
Компьютерная верстка *Е. В. Ильченко*  
Корректор *Р. М. Рябая*

Подписано в печать 28.05.2018. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.  
Усл. печ. л. 7,2. Уч.-изд. л. 7,4.  
Тираж 50 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/227 от 20.03.2014.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.