

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра технологии нефтехимического синтеза
и переработки полимерных материалов**

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛАСТОМЕРОВ

*Методические указания
к практическим занятиям по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-48 01 02 «Химическая
технология органических веществ, материалов и изделий»
специализации 1-48 01 02 05 «Технология переработки
эластомеров»*

Минск 2013

УДК 678.074(073)
ББК 35.719я73
Т38

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета.

Составители:
Ж. С. Шашок, Е. П. Усс

Рецензент:
доктор технических наук, профессор,
заведующая кафедрой химической переработки древесины
учреждения образования «Белорусский государственный
технологический университет» *Н. В. Черная*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2013 год. Поз. 65.

Предназначены для студентов специальности 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров».

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2013

ВВЕДЕНИЕ

Производство и переработка эластомерных композиций позволяет получать резинотехнические изделия для самых различных условий работы. При производстве изделий для конкретных областей применения необходимо обладать знаниями основных закономерностей формирования наиболее важных эксплуатационных свойств резин, а также учитывать технологические особенности перерабатываемого материала. На всех стадиях переработки эластомеров (приготовления резиновых смесей, их формования, вулканизации и других) происходят глубокие и сложные физико-химические изменения перерабатываемых материалов, которые сильно зависят от технологических параметров процесса и от используемого оборудования. Умение выбирать и определять основные технологические параметры процессов изготовления и переработки резиновых смесей для получения изделий с требуемым комплексом свойств является одной из основных задач при подготовке специалистов в области переработки эластомеров.

В данном пособии подробно рассмотрены вопросы хранения и подготовки сырья к процессу изготовления резиновых смесей (расчеты норм запаса материалов на складах, необходимых площадей складского помещения для хранения каучуков, ингредиентов и готовой продукции), а также представлены режимы декристаллизации и прогрева в распарочных камерах каучуков, требующих специальной подготовки к процессу смешения. Приведены особенности и режимы изготовления резиновых смесей в закрытых резиносмесителях в одну, две и три стадии. Рассмотрено влияние технологических факторов на процесс вулканизации, описаны технические способы вулканизации резиновых изделий, даны понятия и особенности переработки эластомеров с учетом современных тенденций и достижений в области производства резинотехнических изделий. Представлены расчетные формулы определения производительности оборудования, применяемого на различных стадиях производства резинотехнических изделий. Все это позволит студентам освоить навыки разработки технологических параметров переработки эластомерных композиций, заключающиеся в освоении физико-химической сущности технологических процессов получения резиновых смесей, их переработки и вулканизации. Полученные знания позволят подготовиться к выполнению в дальнейшем курсовых проектов по дисциплинам «Технология производства резинотехнических изделий» и «Оборудование и основы проектирования предприятий резиновой промышленности».

1. ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

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 называют технологическим процессом.

Общая технологическая схема производства резиновых изделий из каучуков включает в себя следующие, 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;
- раскрой каландрованных и шприцованных резиновых заготовок и прорезиненных тканей на детали;
- изготовление резиновых клеев, прорезинивание (шпредиговоевание) тканей;
- сборку (конфекцию) из деталей сложных изделий;
- вулканизацию резиновых изделий.

2. ПРИЕМ, ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ КАУЧУКОВ И ИНГРЕДИЕНТОВ

Для хранения разных групп материалов обычно устанавливаются следующие склады: каучуков, химикатов, технического углерода, текстильных материалов, вязких и жидких материалов, готовой продукции. Расчет площади заводских складов для сырья, материалов и готовой продукции проводится согласно нижеприведенным формулам.

Размеры и оборудование складов рассчитываются с учетом норм запаса материала, принятых по данным завода.

Общий запас материала M (т) определяется по формуле:

$$M = P \cdot H, \quad (1)$$

где P – суточный расход материала, т; H – норма запаса материала, дн.

Расчет норм запаса материалов на складе необходимо привести в виде табл. 1.

Таблица 1

Расчет норм запаса материалов на складе

Наименование материалов	Суточный расход материала, т	Норма запаса материала, дн.	Общий запас материала, т
	P	H	M

Потребное количество стеллажей n (шт.) рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{M}{A}, \quad (2)$$

где A – загрузка стеллажа, т.

Потребное количество штабелей c (шт.) находится по формуле:

$$c = \frac{n}{b}, \quad (3)$$

где b – количество стеллажей в штабеле, шт.

Полезная площадь S (м²) для хранения каучуков и химикатов определяется по следующей формуле:

$$S = a \cdot c, \quad (4)$$

где a – площадь одного штабеля, м².

Расчет данных для площади хранения каучуков и химикатов необходимо свести в табл. 2.

Таблица 2

Расчет площади для хранения каучуков и химикатов

Наименование компонентов	Общий запас материала, т	Способ хранения	Загрузка стеллажа, т	Потребное количество стеллажей, шт.	Количество стеллажей в штабеле, шт.	Потребное количество штабелей, шт.	Площадь одного штабеля, м ²	Полезная площадь, м ²
	M		A	n	b	c	a	S

Примечания:

1. Для текстильных материалов предварительно рассчитывается количество рулонов по формуле (2), где M – общий запас ткани, м; A – количество ткани в рулоне, м.
2. Для вентилях и проволоки расчет ведется на количество ящиков (в ящике находится 100 шт. вентилях) и на количество бухт.
3. Для готовой продукции расчет ведется с учетом норм запаса.

Объем технического углерода V (м³) определяется по формуле:

$$V = \frac{M}{\rho_n}, \quad (5)$$

где M – общий запас технического углерода, т; ρ_n – насыпная масса, т/м³.

Рабочий объем бункера V_p (м³) для технического углерода рассчитывается по формуле:

$$V_p = K \cdot V_n, \quad (6)$$

где K – коэффициент заполнения бункера, $K = 0,6-0,7$; V_n – полный объем бункера, м³ (берется по каталогу).

Расчетное потребное количество бункеров n_p (шт.) для технического углерода определяется по формуле:

$$n_p = \frac{V}{V_p}. \quad (7)$$

Полезная площадь S (м²) для хранения наполнителей находится по следующей формуле:

$$S = a \cdot n, \quad (8)$$

где a – площадь одного бункера, м²; n – принятое количество бункеров, шт.

Расчет бункерного склада наполнителей необходимо свести в табл. 3.

Таблица 3

Расчет бункерного склада наполнителей

Тип технического углерода	Общий запас технического углерода, т	Насыпная масса, т/м ³	Объем технического углерода, м ³	Объем бункера, м ³		Потребное количество бункеров, шт.		Площадь одного бункера, м ²	Полезная площадь, м ²
				полный	рабочий	расчетное	принятое		
	M	ρ_n	V	V_n	V_p	n_p	n	a	S

Примечание. 80% от общего количества технического углерода принято хранить в бункерах, а остальные 20% – в таре.

Объем мягчителей V (м³) определяется по формуле:

$$V = \frac{M}{j}, \quad (9)$$

где M – общий запас мягчителей, т; j – плотность, кг/м³.

Рабочий объем резервуара V_p (м³) для хранения вязких и жидких материалов рассчитывается по формуле:

$$V_p = K \cdot V_n, \quad (10)$$

где K – коэффициент заполнения резервуара; V_n – полный объем резервуара, м³.

Расчетное потребное количество резервуаров n_p (шт.) для вязких и жидких материалов определяется по формуле:

$$n_p = \frac{V}{V_p}. \quad (11)$$

Полезная площадь S (м²) для хранения мягчителей находится по следующей формуле:

$$S = a \cdot n, \quad (12)$$

где a – площадь одного резервуара, м²; n – принятое количество резервуаров, шт.

Расчет площадей для хранения вязких и жидких материалов необходимо свести в табл. 4.

Таблица 4

Расчет площадей для хранения вязких и жидких материалов

Наименование материалов	Общий запас мягчителей, т	Плотность, кг/м ³	Объем мягчителей, м ³	Объем резервуара, м ³		Потребное количество резервуаров, шт.		Площадь одного резервуара, м ²	Полезная площадь, м ²
				полный	рабочий	расчетное	принятое		
	M	j	V	V _п	V _р	n _р	n	a	S

Площадь складов с учетом проходов S₁ (м²) рассчитывается по формуле:

$$S_1 = 2 \cdot S, \quad (13)$$

где S – полезная площадь, м².

Расчетные данные площади склада готовой продукции сводятся в табл. 5.

Таблица 5

Расчет площади склада готовой продукции

Наименование изделий	Запас, дн.	Количество готовой продукции, шт.	Способ хранения	Площадь под единицу продукции, м ²	Потребная площадь, м ²

Для оборотного фонда принимается 10% от общей площади S₂ (м²):

$$S_2 = \frac{(S_1 + S) \cdot 10}{100}. \quad (14)$$

Сводные данные по расчету складских помещений необходимо привести в виде табл. 6.

Таблица 6

Сводная таблица складских помещений

Наименование складов	Полезная площадь, м ²	Площадь склада с учетом проходов, м ²	Для оборотного фонда принимается 10% от общей площади	Общая площадь, м ²	
				по расчету	по чертежу
	S	S ₁	S ₂		

Бункер для технического углерода (табл. 7) предназначен для создания в зоне резиносмесителя технологического запаса технического углерода и промежуточного хранения его 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.

Таблица 7

Технические характеристики бункеров для технического углерода

Наименование показателя	Значение показателя	
	БТУ-4,5	БТУ-8
Объем бункера полный, м ³	4,5	8,0
Давление сжатого воздуха в пневмосистеме, МПа	0,4	0,6
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч, не более	0,38	
Тип вибратора	пневматический	
Габаритные размеры, мм, не более		
– длина	1522	2068
– ширина	1522	1918
– высота	4207	4214
Масса, кг, не более	900	1240

Для промежуточного хранения порошкообразных ингредиентов и создания технологического запаса сыпучих химикатов применяются различные по конструкции и техническим характеристикам бункера (табл. 8 и 9).

Таблица 8

Технические характеристики бункера для серы

Наименование показателя	Значение показателя
Объем бункера полный, м ³	2,0
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч, не более	0,17
Тип вибратора	пневматический
Габаритные размеры, мм, не более	
– длина	1618
– ширина	1250
– высота	2290
Масса, кг, не более	380

Таблица 9

Технические характеристики бункера для сыпучих химикатов

Наименование показателя	Значение показателя
Объем бункера полный, м ³	2,0
Давление сжатого воздуха в пневмосистеме, МПа	0,4–0,6
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч, не более	0,17
Тип вибратора	пневматический
Габаритные размеры, мм, не более	
– длина	1280
– ширина	1070
– высота	3135
Масса, кг, не более	350

Жидкие материалы (масла, дибутилфталат и др.) 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 (табл. 10).

Таблица 10

Технические характеристики емкости с обогревом

Наименование показателя	Значение показателя
Полный объем, л	330±7
Рабочий объем, л	300±9
Рабочая температура внутри емкости, °С	80–90
Давление пара в рубашке, МПа	0,15–0,20
Температура пара, °С	115±5
Расход пара на обогрев, кг/ч, не более	81
Тип реле уровня	вибрационное
Частота вращения мешалки, об/мин, не более	50
Габаритные размеры, мм, не более	
– длина	1160
– ширина	1160
– высота	2010
Масса, кг, не более	620

3. ПОДГОТОВКА КАУЧУКОВ И ИНГРЕДИЕНТОВ К СМЕШЕНИЮ

Все каучуки и ингредиенты используются в производстве после получения заключения по результатам анализов об их соответствии требованиям (входной контроль сырья и материалов).

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 общего назначения подаются к резиносмесителю с температурой внутри брикета не ниже $+15^{\circ}\text{C}$ и не выше $+40^{\circ}\text{C}$.

Натуральный каучук (НК) и синтетический изопреновый каучук (СКИ-3) перед подачей в производство подвергаются декристаллизации в отапливаемом складе или распарочной камере по режимам, приведенным в табл. 11.

Таблица 11

Продолжительность декристаллизации натурального каучука и СКИ-3 в зависимости от температуры их хранения

Температура хранения каучуков, $^{\circ}\text{C}$	Продолжительность декристаллизации каучуков, ч	
	при $+25^{\circ}\text{C}$ (склад)	при $+80^{\circ}\text{C}$ (распарочная камера)
от -40 до -30	23–25	9,0–10,0
от -30 до -20	21–23	8,0–9,0
от -20 до -10	18–21	7,0–8,0
от -10 до -5	16–18	6,0–7,0
от -5 до 0	15–16	5,5–6,0
от 0 до $+5$	13–15	5,0–5,5

Хлорбутилкаучук перед пуском в производство подвергается прогреву в распарочной камере. Рекомендации по продолжительности прогрева каучука приведены в табл. 12.

Хлорбутилкаучук загружается в резиносмеситель без упаковочной полиэтиленовой пленки. Температура внутри брикета должна находиться в пределах $+(40-50)^{\circ}\text{C}$. Разогретый хлорбутилкаучук подлежит использованию в производстве не позднее 3 ч после разогрева.

Продолжительность прогрева хлорбутилкаучука в распарочной камере при температуре 70–80°C в зависимости от температуры поступающего на предприятие каучука

Температура поступающего каучука, °С	Продолжительность прогрева каучука, ч
от –20 до –10	10,0–12,0
от –10 до 0	8,5–10,0
от 0 до +10	6,0–8,5
от +10 до +20	5,5–6,0
от +20 до +40	2,0–5,5

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

Эластические свойства каучука, являющиеся весьма ценными 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.

Для ускорения процесса пластикации применяют вещества – акцепторы свободных радикалов, которые получили название ускорителей пластикации, или химических пластификаторов. Их действие в основном сводится к стабилизации полимерных радикалов, образующихся при механической или термоокислительной деструкции макромолекул каучука. В результате увеличивается эффект пластикации, так как предотвращаются рекомбинация радикалов и их взаимодействие с молекулами полимера.

В качестве ускорителей пластикации широкое применение получили некоторые ароматические меркаптаны и дисульфиды. Эффективным ускорителем пластикации является меркаптобензотиазол.

При использовании ускорителей пластикации 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 пластикации.

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

Для получения пластиката 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.

4. ПРИГОТОВЛЕНИЕ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ (СМЕШЕНИЕ)

Получение высококачественных резиновых смесей некоторых типов в одну, а иногда и в две стадии невозможно. Так, изготовление смесей для беговой части протектора, обрезаживания металлокордного брекера, бортовой ленты и других смесей повышенной жесткости и модулей на традиционном резинообрабатывающем оборудовании происходит с большими затруднениями. В частности, наблюдается срыв головок грануляторов малопластичной, высоковязкой маточной смесью после первой стадии. Устраняет отмеченные недостатки трехстадийный способ смешения, по которому на первой стадии вводят 70–90% технического углерода с диспергаторами, на второй стадии в гранулированную смесь вводят остатки технического углерода, активаторы, противостарители, мягчители, а на третьей стадии в гранулированную смесь добавляют вулканизирующую группу и антискорчинг.

Приготовление смесей 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 бункеры 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 требуется многостадийное ведение процесса. Этот путь увеличения стадийности требует дополнительных энерго- и трудовых затрат, 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.

Режимы одно-, двух- и трехстадийного смешения представлены в табл. 13–15 соответственно.

Таблица 13

Режим приготовления резиновых смесей в одну стадию

Операция	Продолжительность операции, с	Время от начала цикла, с	Время окончания операции, с
Загрузка каучуков и светлых ингредиентов	10	0	10
Закрывание крышки воронки, загрузка технического углерода	16	10	26
Загрузка первой порции мягчителей	8	26	34
Опускание верхнего затвора и смешение	46	34	80
Введение второй порции мягчителей	18	80	98
Смешение	62	98	160
Открывание верхнего затвора, введение серы и закрывание затвора	22	160	182
Смешение	28	182	210
Открывание верхнего и нижнего затворов	18	210	228
Закрывание нижнего затвора и открывание крышки загрузочной воронки	12	228	240

Таблица 14

Режим приготовления резиновых смесей в две стадии

Операция	Продолжительность операции, с	Время от начала цикла, с	Время окончания операции, с
<i>Режим приготовления резиновой смеси на первой стадии</i>			
Загрузка каучуков и светлых ингредиентов	10	0	10
Закрывание крышки воронки	6	10	16
Загрузка технического углерода	10	16	26
Загрузка мягчителей	12	26	38
Опускание верхнего затвора и подача давления	6	38	44
Смешение	49	44	93
Открывание нижнего затвора	18	93	111
Подъем верхнего затвора	12	111	123
Открывание крышки загрузочной воронки	6	123	129
<i>Режим приготовления резиновой смеси на второй стадии</i>			
Загрузка гранул маточных смесей первой стадии	8	0	8
Загрузка ускорителей	5	8	13
Опускание верхнего затвора и смешение	27	13	40
Открывание верхнего затвора и введение серы	14	40	54
Закрывание затвора и смешение	36	54	90
Открывание нижнего затвора	18	90	108
Подъем верхнего затвора и открывание крышки загрузочной воронки	12	108	120

Примечание. Смешение ингредиентов на первой и второй стадиях осуществляется в резиносмесителе РС 270/30. Температура смеси при выгрузке из резиносмесителя после первой стадии – $145\pm 6^{\circ}\text{C}$, после второй – $105\pm 6^{\circ}\text{C}$.

Таблица 15

Режим приготовления резиновых смесей в три стадии

Операция	Продолжи- тельность операции, с	Время от начала цикла, с	Время окончания операции, с
<i>Режим приготовления резиновой смеси на первой стадии</i>			
Загрузка каучуков и сыпучих ингредиентов	20	0	20
Опускание верхнего пресса	10	20	30
Смешение под давлением	20	30	50
Подъем верхнего пресса	10	50	60
Загрузка технического углерода, белой сажи	17	60	77
Опускание верхнего пресса	10	77	87
Смешение под давлением	83	87	170
Подъем верхнего пресса	10	170	180
Опускание верхнего пресса	10	180	190
Смешение под давлением	80	190	270
Открывание нижнего затвора ⁺²⁰ ₋₁₀	5	270	275
Закрывание нижнего затвора	5	305	310
Подъем верхнего пресса	10	310	320
<i>Режим приготовления резиновой смеси на второй стадии</i>			
Загрузка маточной смеси	25	0	25
Опускание верхнего пресса	10	25	35
Смешение под давлением	75	35	110
Подъем верхнего пресса	10	110	120
Опускание верхнего пресса	10	120	130
Смешение под давлением	70	130	200
Открывание нижнего затвора ⁺²⁰ ₋₁₀	5	200	205
Закрывание нижнего затвора	5	235	240
Подъем верхнего пресса	10	240	250
<i>Режим приготовления резиновой смеси на третьей стадии</i>			
Загрузка гранул маточной смеси	40	0	40
Загрузка серы, ускорителей	30	10	40
Опускание верхнего пресса	10	40	50
Смешение под давлением	85	50	135
Открывание нижнего затвора ⁺²⁰ ₋₁₀	5	135	140
Закрывание нижнего затвора	5	180	185
Подъем верхнего пресса	10	185	195

Примечание. Смешение ингредиентов на первой, второй и третьей стадиях осуществляется в резиносмесителе РС 270/30. Температура смеси при выгрузке из резиносмесителя после первой стадии – 145±6°C, после второй – 135±6°C, после третьей – 105±6°C.

Технические характеристики некоторых резиносмесителей приведены в табл. 16.

Таблица 16

Технические характеристики резиносмесителей

Наименование показателя	Модель резиносмесителя	
	РС 270/30	РС 270/40
Объем смесительной камеры, м ³		
– свободный	0,270	0,270
– рабочий	0,180	0,180
Частота вращения роторов, об/мин	25,1–30,0	33,5–40,0
Фрикция	1:1,18	1:1,19
Удельное давление на смесь, МПа	0,5–0,7	0,6–0,7
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	23	50
Производительность, кг/ч	2200	4000
Мощность электродвигателя, кВт	630	700
Габаритные размеры, мм		
– длина	7800	7800
– высота	5900	5900
– ширина	4400	4400
Масса, кг	60 000	60 000

Производительность G (кг/ч) резиносмесителя периодического действия находится по формуле:

$$G = \frac{60 \cdot V \cdot \rho \cdot K_3 \cdot \alpha}{t_{\text{ц}}}, \quad (15)$$

где V – свободный объем смесительной камеры, дм³; ρ – плотность смеси, кг/дм³; K_3 – коэффициент заполнения смесительной камеры, $K_3 = 0,6$; α – коэффициент использования машинного времени, $\alpha = 0,85–0,90$; $t_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла смешения, мин:

$$t_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3, \quad (16)$$

где t_1 – продолжительность загрузки ингредиентов, мин; t_2 – продолжительность смешения, мин; t_3 – продолжительность выгрузки смеси, мин.

5. ТИПЫ КАЛАНДРОВ И ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА НИХ ОПЕРАЦИИ

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

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

В зависимости от выполняемых процессов каландры бывают:

- 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 (рис. 1). Все каландры подразделяют по числу валков на двух-, трех-, четырех- и пяти-валковые. В обозначении каландров (табл. 17) первое число соответствует числу валков каландра, второе и третье указывают диаметр и длину рабочей части валка (мм).

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.

С подогревательных вальцов резиновую смесь направляют на питательные вальцы и далее в виде ленты или небольших рулонов (при ручном питании) подают на каландр.

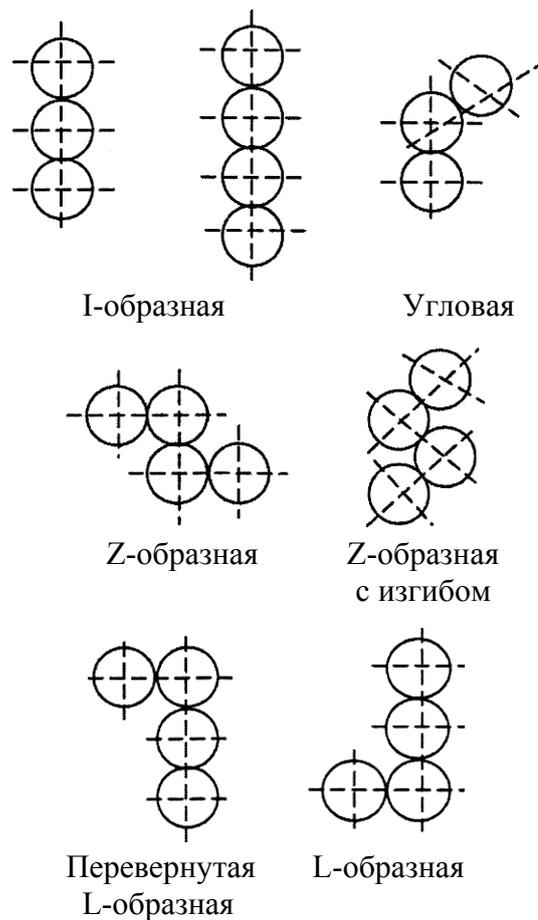


Рис. 1. Различные схемы расположения валков каландров

Таблица 17

Обозначения каландров

Основные типоразмеры каландров	Обозначение
<i>Трехвалковые</i>	
Вертикальные	3-160-320
	3-310-500
Треугольные	3-500-1250
	3-710-1800
<i>Четырехвалковые</i>	
L-образные	4-500-1250
	4-710-1800
Z-образные	4-950-2800
<i>Пятивалковые</i>	
W-образные	5-250-630

В процессе листования разогретая резиновая смесь формируется в тонкие листы при прокатывании ее через валки каландра.

Листы каландрованного материала должны быть одинаковой толщины по всей площади листа, а в некоторых случаях обладать гладкой поверхностью (иногда до блеска). 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. 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.

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.

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. 2, *а-е*), с двух сторон – за один пропуск на четырехвалковом каландре (рис. 2, *ж-л*) или за два пропуска – на трехвалковом.

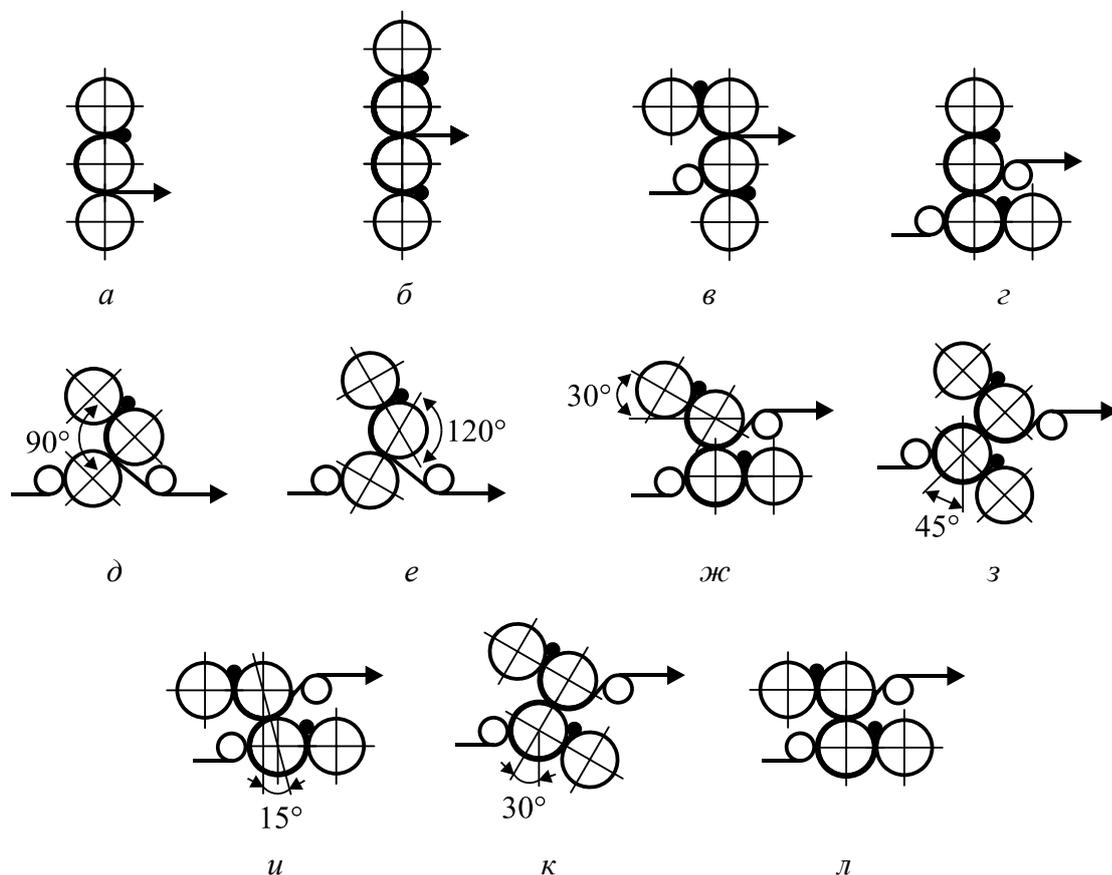


Рис. 2. Схемы расположения валков в различных каландрах при листовании резиновых смесей (*а*), дублировании (*б*), обкладке тканей резиновой смесью (*в-г*), односторонней (*д-е*) и двухсторонней (*ж-л*) промазке ткани и корда

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.

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/м² 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.

Производительность G (кг/ч) каландра при промазке и обкладке определяется по формуле:

$$G = 60 \cdot v \cdot \alpha, \quad (17)$$

где v – окружная скорость выпускающего валка, м/мин; α – коэффициент использования машинного времени, $\alpha = 0,9$.

При листовании производительность G (кг/ч) каландра рассчитывается по формуле:

$$G = 60 \cdot v \cdot b \cdot h \cdot \rho \cdot \alpha \cdot K, \quad (18)$$

где v – окружная скорость выпускающего валка, м/мин; b – ширина каландрованного полотна, м; h – толщина каландрованного полотна, м; ρ – плотность материала, кг/м³; α – коэффициент использования машинного времени, $\alpha = 0,9$; K – коэффициент опережения, $K = 1,05–1,10$.

Окружная скорость v (м/мин) поверхности выпускающего валка находится по формуле:

$$v = \pi \cdot D \cdot n, \quad (19)$$

где D – диаметр выпускающего валка, м; n – частота вращения выпускающего валка, мин⁻¹.

При расчете потребного количества каландровых линий необходимо учитывать скорость работы линии, которая принимается с учетом реальной скорости, принятой на заводе.

Производительность каландровой линии Q (м/ч) рассчитывается по следующей формуле:

$$Q = 3600 \cdot v \cdot q, \quad (20)$$

где v – скорость работы линии, м/с; q – масса 1 м заготовки (по спецификации), кг.

Потребное количество машино-часов в год N (маш.-ч.) определяется по формуле:

$$N = \frac{P}{Q}, \quad (21)$$

где P – годовой выпуск корда-суровья, ткани, м.

Расчетное количество каландровых линий n_p определяется по формуле:

$$n_p = \frac{N}{T_{эф}}, \quad (22)$$

где $T_{эф}$ – годовой эффективный фонд времени работы линии, ч.

Коэффициент использования оборудования K рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{n_p}{n_y}, \quad (23)$$

где n_y – принятое к установке оборудование.

Расчетные данные потребного количества каландровых линий сводятся в табл. 18.

Таблица 18

Расчет площади склада готовой продукции

Наименование материала	Годовой выпуск корда-суровья, ткани, м	Скорость работы линии, м/с	Производительность линии, м/ч	Потребное количество машино-часов в год, маш.-ч.	Годовой эффективный фонд времени работы линии, ч	Расчетное количество линий	Принятое к установке оборудование	Коэффициент использования оборудования
	P	v	Q	N	$T_{эф}$	n_p	n_y	K

6. ШПРИЦЕВАНИЕ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Шприцеванием (экструзией) называется процесс формирования 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 шприцевании резиновых заготовок с помощью двух червячных машин в одну головку можно получить сложные профильные заготовки из резиновых смесей различного состава.

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) обрезаживание 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, в соответствии с которыми, согласно стандартам, все одночервячные машины для переработки резиновых смесей подразделяются на три типа.

МЧТ – «машины червячные теплого» питания. 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 валцов.

МЧХ – «машины червячные холодного» питания. Могут перерабатывать резиновые смеси с температурой 20°C и более, интенсивно дорабатывают смесь, поэтому постепенно вытесняют машины типа МЧТ.

МЧХВ – «машины червячные холодные с вакуум-отсосом». В дополнение к конструкции МЧХ имеют зону и узлы вакуумирования для удаления газов и летучих примесей, выделяющихся при нагреве смеси в процессе шприцевания.

Червячные машины должны обеспечивать:

- гомогенность 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.

За время пребывания в червячной машине материал претерпевает существенные изменения – разогревается, уплотняется и гомогенизируется, поэтому по длине червячные машины условно делят 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. 3.

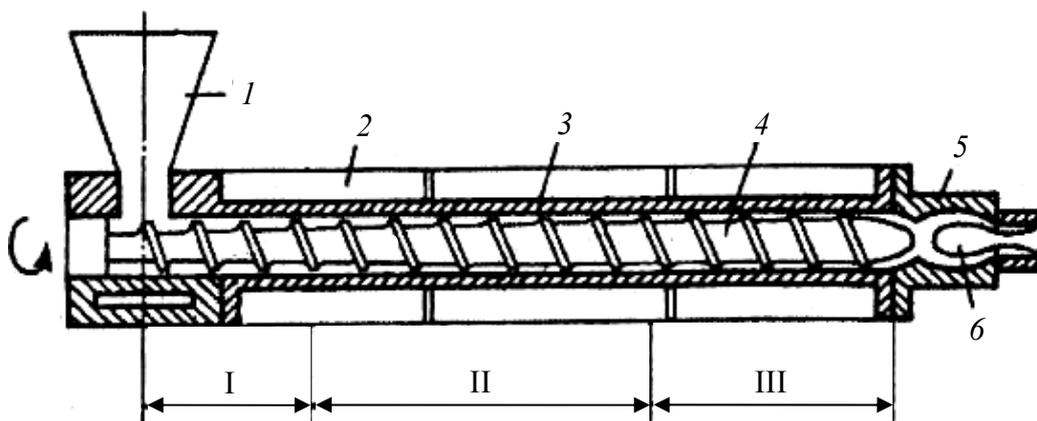


Рис. 3. Схема одночервячной шприц-машины:

- 1* – загрузочная воронка;
- 2* – рубашка для циркуляции теплоносителя;
- 3* – корпус; *4* – червяк (шнек); *5* – головка (мундштук);
- 6* – формообразующая деталь;
- I – зона загрузки; II – зона разогрева и пластикации;
- III – зона нагнетания

Подаваемая через воронку *1* резиновая смесь захватывается шнеком *4*, нагревается и несколько дорабатывается в зоне II и под значительным давлением (до 10,0 МПа), развиваемым в зоне III, выдавливается через головку *5*, в которой крепится формообразующая деталь *6*. 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.

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 пластичного 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, 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 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. При использовании таких червячных машин появляется возможность отказаться от подогревательных вальцов, упростить обслуживание червячных машин, автоматизировать процесс их питания, обеспечить получение заготовок высокого

качества и постоянных размеров, улучшить условия разогревания и обеспечить постоянство теплового режима шприцевания.

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 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.

В случае применения червячных машин теплого питания в загрузочную воронку машины подается разогретая резиновая смесь по транспортеру с питательных вальцов. Смесь захватывается вращающимся червяком, уплотняется и проталкивается к головке, из которой выходит непрерывная лента определенного профиля, заданного профилирующей планкой с учетом усадки заготовки.

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 формирующей 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.

Производительность G (кг/ч) одночервячной машины определяется по формуле:

$$G = 60 \cdot n \cdot V \cdot i \cdot \beta \cdot \lambda \cdot \rho, \quad (24)$$

где n – частота вращения червяка, мин^{-1} ; V – межвитковый объем червяка, м^3 ; i – число заходов червяка; β – коэффициент заполнения свободного объема витка, $\beta = 0,20\text{--}0,35$; λ – коэффициент подачи, $\lambda = 0,4\text{--}0,5$; ρ – плотность смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для ориентировочных расчетов производительности G (кг/ч) червячной машины может быть использована эмпирическая формула:

$$G = 0,68 \cdot d^{2,5}, \quad (25)$$

где d – диаметр червяка, см.

Производительность G (кг/ч) может быть определена по известной скорости шприцевания профиля:

$$G = 60 \cdot v \cdot q \cdot n, \quad (26)$$

где v – скорость шприцевания, м/мин; q – масса 1 м профиля, кг/м; n – число параллельных «ручьев» в головке.

Величина q (кг/м) рассчитывается по формуле:

$$q = S \cdot \rho, \quad (27)$$

где S – площадь поперечного сечения шприцуемого профиля, м^2 ; ρ – плотность резиновой смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$.

7. ФОРМОВАНИЕ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Изделия сложной конфигурации, тела вращения, армированные детали изготавливают периодическим формованием 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 холодном формовании 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 резиновая смесь догревается 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.

Основной классификации формовой технологии служат способы загрузки пресс-форм резиновой смесью, в соответствии с которыми различают прессовой 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. 4).

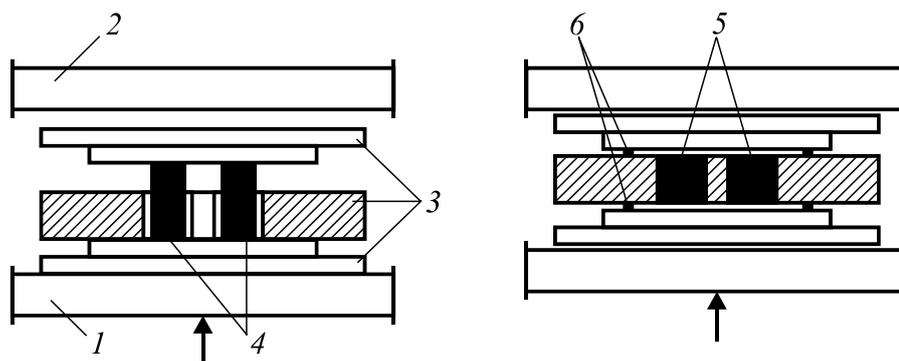


Рис. 4. Схема прессового формования РТИ:

- 1, 2 – плиты пресса; 3 – пресс-форма;
 4 – заготовка резиновой смеси;
 5 – изделие; 6 – выпрессовки

Основным оборудованием, с помощью которого осуществляется прессовое формование, являются гидравлические вулканизационные прессы. Такие прессы предназначены для создания больших давлений между плитами, необходимых для получения качественных изделий. Они относятся к машинам периодического действия. 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): для вулканизации транспортерных лент и плоских приводных ремней (многоцилиндровые); для вулканизации клиновых ремней (челюстные прессы); для литьевого формования (литьевые прессы); для производства специальных изделий (например, диафрагм);
- по расположению силового цилиндра – машины нижнего или верхнего давления, т. е. с нижним и верхним расположением цилиндра;
- по типу силового контура – колонные и рамные;
- по количеству силовых цилиндров – одно- и многоцилиндровые;
- по количеству этажей – одно- и многоэтажные;
- по типу обогрева плит – с паровым или электрическим обогревом;
- по типу привода – с индивидуальным гидроприводом или с питанием от центральных насосно-аккумуляторных станций;
- по наличию или отсутствию автоматического управления и вспомогательных устройств.

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

Производительность G (шт/ч) вулканизационного пресса определяется по формуле:

$$G = \frac{60 \cdot m \cdot n \cdot i \cdot \alpha}{t_{\text{ц}}}, \quad (28)$$

где m – число этажей пресса, шт.; n – число пресс-форм на одном этаже, шт.; i – число гнезд в пресс-форме, шт.; α – коэффициент использования машинного времени, $\alpha = 0,8-0,9$; $t_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла работы пресса, мин.

Продолжительность цикла работы пресса $t_{\text{ц}}$ (мин) рассчитывается по следующей формуле:

$$t_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5, \quad (29)$$

где t_1 – время, необходимое на загрузку заготовок, сборку пресс-форм и установку их на этажи пресса, мин; t_2 – продолжительность смыкания плит, мин; t_3 – продолжительность вулканизации, мин; t_4 – продолжительность размыкания плит (раскрытие пресса), мин; t_5 – время, необходимое для снятия пресс-форм, их разборки и извлечения изделий, мин.

Продолжительность смыкания плит t_2 (мин) может быть рассчитано по формуле:

$$t_2 = \frac{s}{v}, \quad (30)$$

где s – длина холостого хода плунжера, м; v – скорость смыкания плит, м/мин, определяемая по формуле:

$$v = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot q}{\pi \cdot D^2}, \quad (31)$$

где q – производительность насоса низкого давления, $\text{дм}^3/\text{мин}$; D – диаметр плунжера, м.

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 (особенно многогнездовых) пресс-форм, 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) шнеком или плунжером давления, которым 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 классифицируются следующим образом:

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

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

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

– по числу механизмов замыкания пресс-форм – одно- и многопозиционные;

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

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

– по 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);

– по 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 зависит скорость впрыска, возможность переработки смесей повышенной жесткости и качество изделий.

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

3. Объем впрыскиваемой в форму за один рабочий цикл смеси – определяется по произведению площади плунжера (шнека) на его максимально возможный ход 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 см³), а второе – максимальное усилие сжатия в 250 тс (2500 кН). В международных обозначениях типоразмеров литьевого оборудования чаще всего применяют объем впрыска в кубических сантиметрах 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.

Производительность G (шт/ч) однопозиционной литьевой машины находится по формуле:

$$G = \frac{60 \cdot i \cdot \alpha}{t_{\text{ц}}}, \quad (32)$$

где i – число гнезд в пресс-форме; α – коэффициент использования машинного времени; $t_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла, мин.

Для многопозиционной литьевой машины:

$$G = \frac{60 \cdot i \cdot \alpha}{t_{\text{ц}}} \cdot n, \quad (33)$$

где n – число узлов смыкания многопозиционной машины.

Продолжительность цикла $t_{\text{ц}}$ (мин) для одно- и многопозиционной литьевых машин определяется по формуле:

$$t_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7, \quad (34)$$

где t_1 – время накопления в узле пластикации и впрыска максимального объема смеси, мин; t_2 – продолжительность подвода узла инъекции к форме, мин; t_3 – продолжительность впрыска (заполнение формы), мин; t_4 – продолжительность выдержки смеси под давлением, мин; t_5 – время вулканизации, мин; t_6 – продолжительность раскрытия формы и извлечения изделия, мин; t_7 – время смыкания (закрытия формы), мин.

В настоящее время большее распространение получило совмещение плунжерного формования с вулканизацией. При этом используют плунжерные литьевые машины в агрегате с вулканизационным прессом или объединяют плунжерную литьевую камеру с гнездом вулканизационной пресс-формы при трансферном формовании.

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

Недостатком таких агрегатов является 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.

Разновидностью плунжерного формования является трансферное. 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.

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.

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 верхние пределы нагрева резиновой смеси (70–100°C) 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 (пластикации) 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, с отношением их длины к диаметру 8–20 и более, а также применяют специфические узлы типа «Торпедо» для нагрева смеси при впрыске.

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 инъекционным 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, увеличивается 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.

Широкое распространение в практике получили шнек-плунжерные (интрузионные) 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 $(1-4)D$.

8. 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, теплостойкость, электрическое сопротивление, снижается способность вулканизатов набухать в органических растворителях и т. д.

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.

8.1. Периодическая вулканизация

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. Расположение котла обычно горизонтальное. 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.

Производительность G (кг/ч) вулканизационного котла определяется по формуле:

$$G = \frac{60 \cdot n \cdot g}{t}, \quad (35)$$

где n – число заготовок, одновременно загружаемых в котел; g – масса одной заготовки (детали), кг; t – продолжительность цикла вулканизации, мин.

Продолжительность t (мин) цикла вулканизации находится по формуле:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5, \quad (36)$$

где t_1 – продолжительность ввода в котел вагонеток и закрытия крышки, мин; t_2 – продолжительность подъема температуры, мин; t_3 – продолжительность вулканизации, мин; t_4 – продолжительность снятия давления, мин; t_5 – продолжительность открытия крышки и вывода вагонеток, мин.

Вулканизация в прессах. Для изготовления резиновых изделий сложной конфигурации с высокой плотностью и большой точностью широко используют формовой способ вулканизации 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. Для улучшения текучести смесей их подогревают; резиновые смеси запрессовывают, 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).

Вулканизационные прессы в зависимости от назначения разделяются на прессы для формования и вулканизации резиновых изделий в пресс-формах и 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.

Вулканизационные прессы в зависимости от конструктивного оформления могут быть колонного, рамного и челюстного типов. Кроме того, различают прессы одноэтажного и многоэтажного типов.

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

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.

Вулканизация в автоклавах. Автоклав-прессы применяются для вулканизации покрышек, камер, обрешиненных 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 12,0–12,5 МПа, в период подпрессовки поддерживается давление воды, равное 2,0–2,5 МПа. После подпрессовки форм в варочную камеру подается перегретая вода, которая служит прессующим и тепловым агентом (давление воды – 2,0–2,5 МПа). После процесса вулканизации перегретая вода выводится, а внутрь варочной камеры подается вода для охлаждения (также под давлением 2,0–2,5 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.

Вулканизация в индивидуальных вулканизаторах. Недостатки, характерные при вулканизации в автоклав-прессах, устранены в индивидуальных вулканизаторах – кривошипно-шатунных прессах. Их привод 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 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.

Вулканизация в форматерах-вулканизаторах. Форматоры-вулканизаторы предназначены 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 форматера-вулканизатора от индивидуального вулканизатора заключается в применении закрепленной в форматере 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.

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.

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.

8.2. 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 механиз-

ции и автоматизации этого процесса и повышения производительности труда.

В промышленности применяются 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) установку для вулканизации изделий токами высокой частоты.

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

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. Вулканизация осуществляется в среде горячего воздуха (150–220°C), нагреваемого в калорифере.

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 и 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. Также возможна установка инфракрасных излучателей.

Производительность G (м/ч) вулканизатора барабанного типа можно определить следующим образом:

$$G = 60 \cdot \pi \cdot D \cdot n_6 \cdot \alpha \cdot x_1, \quad (37)$$

где D – диаметр барабана, м; n_6 – частота вращения барабана, мин^{-1} , зависящая от времени вулканизации; α – коэффициент использования ширины барабана; x_1 – коэффициент использования машинного времени, $x_1 = 0,95$.

Коэффициент использования ширины барабана рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{B_1}{B}, \quad (38)$$

где B_1 – ширина вулканизуемого изделия, м; B – ширина барабана, м.

Вулканизация в вулканизаторах шахтного типа. Вулканизаторы 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 – 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.

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 выдвижные нижние полуформы.

Производительность G (шт/ч) карусельного аппарата определяется по формуле:

$$G = 60 \cdot n_k \cdot \alpha \cdot m \cdot g, \quad (39)$$

где n_k – частота вращения карусели, мин^{-1} ; α – коэффициент использования машинного времени, $\alpha = 0,95$; m – число гнезд в кассете, шт; g – число кассет, шт.

Производительность G (шт/ч) карусельного аппарата, выраженная через продолжительность технологического цикла, рассчитывается по формуле:

$$G = \frac{60 \cdot \alpha \cdot m \cdot g}{\tau_1}, \quad (40)$$

где τ_1 – длительность пребывания каждого изделия в форме, ч, которая определяется по формуле:

$$\tau_1 = \frac{1}{n_k}. \quad (41)$$

Вулканизация изделий в расплаве солей. При изготовлении длиннореманных резиновых изделий (например, уплотнителей) с целью предотвращения порообразования в резинах применяют 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% KNO_3 + 7% NaNO_3 + 40% NaNO_2). Температура плавления такой смеси равна $142,5^\circ\text{C}$, теплостойкость – 450°C , плотность – 1926 кг/м^3 . К недостаткам вулканизации в расплаве солей следует отнести некоторую деформацию заготовок.

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°C при давлении до 2,0 кПа. Для предотвращения налипания частиц на изделие заготовку после шприцевания обрабатывают антиадгезивом (суспензия талька).

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.

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 получено данное изделие. 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.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Корнев, А. Е. Технология эластомерных материалов / А. Е. Корнев, А. М. Буканов, О. Н. Шевердяев. – М.: ЭКСИМ, 2000. – 287 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.

Дополнительная

1. Переработка каучуков и резиновых смесей / Е. Г. Вострокнутов [и др.]. – М.: НИИШП, 2005. – 369 с.
2. Справочник резинщика: материалы резинового производства / ред. кол. П. И. Захарченко [и др.]. – М.: Химия, 1971. – 607 с.
3. Федюкин, Д. Л. Технические и технологические свойства резин / Д. Л. Федюкин, Ф. А. Махлис. – М.: Химия, 1985. – 240 с.
4. Корнев, А. Е. Технология эластомерных материалов / А. Е. Корнев, А. М. Буканов, О. Н. Шевердяев. – М.: НППА «Истек», 2009. – 500 с.
5. Большой справочник резинщика: в 2 ч. / под ред. С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. – М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. – Ч. 1. – 744 с.
6. Большой справочник резинщика: в 2 ч. / под ред. С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. – М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. – Ч. 2. – 648 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Общая технологическая схема производства резиновых изделий	4
2. Прием, хранение и транспортирование каучуков и ингредиентов.....	5
3. Подготовка каучуков и ингредиентов к смешению	11
4. Приготовление резиновых смесей (смешение).....	14
5. Типы каландров и выполняемые на них операции.....	19
6. Шприцевание резиновых смесей	25
7. Формование резиновых смесей	31
7.1. Формование резиновых смесей методом прессования заготовок в пресс-формах	31
7.2. Формование резиновых смесей методом литья под давлением	33
8. Технические способы вулканизации резиновых изделий.....	39
8.1. Периодическая вулканизация	39
8.2. Непрерывная вулканизация	44
Литература	49

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛАСТОМЕРОВ

Методические указания

Составители: **Шашок** Жанна Станиславовна
Усс Елена Петровна

Редактор *П. В. Васильцова*
Компьютерная верстка *П. В. Васильцова*
Корректор *П. В. Васильцова*

Подписано в печать 26.02.2013. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 3,1.
Тираж 50. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.