

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

МАШИНЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
для студентов специальности 1-36 07 01
«Машины и аппараты химических производств
и предприятий строительных материалов»

В двух частях

Часть 2

**Оборудование для производства
полимерных и строительных материалов**

Составление
А.В. Митинова, О.Н. Жарковой

Новополоцк
ПГУ
2008

УДК 66.02(075.8)
ББК 35.11:35.514я73
М38

Рекомендовано к изданию методической комиссией
технологического факультета
в качестве учебно-методического комплекса
(выписка из протокола № 3 от 26.12.2007)

Рецензенты:

А. И. ВЕГЕРА, канд. техн. наук, вед. инженер-технолог ОАО «Нафтан»;
Е. М. ШЕСТОПАЛОВ, канд. техн. наук, доц. каф. химической техники

Машины и аппараты химических производств : учеб.-метод. комплекс.
М38 В 2-х ч. Ч. 2. Оборудование для производства полимерных и строительных
материалов / сост. А. В. Митинова, О. Н. Жарковой. – Новополоцк : ПГУ, 2008.
– 280 с.
ISBN 978-985-418-681-8.
ISBN 978-985-418-682-5 (ч. 2).

Материал изложен с учетом стандарта специальности и учебного плана.
Приведены рабочая программа курса, конспект лекций, методические указания
к практическим занятиям, выполнению лабораторных работ и курсового
проекта, примерные вопросы к зачету и экзамену, рекомендуемая литература.

Предназначен для студентов, магистрантов, аспирантов, преподавателей
специальности «Машины и аппараты химических производств и предприятий
строительных материалов». Может быть полезен студентам, обучающимся по
специальностям химико-технологического профиля.

УДК 66.02(075.8)
ББК 35.11:35.514я73

ISBN 978-985-418-681-8
ISBN 978-985-418-682-5 (ч. 2)

© УО «Полоцкий государственный университет», 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Содержание курса «Машины и аппараты химических производств»	
Часть 2	
«Оборудование для производства полимерных и строительных материалов»	6
Конспект лекций	
Тема 1	
Свойства и области применения полимеров	9
Тема 2	
Теоретические основы переработки полимеров	22
Тема 3	
Переработка полимеров прессованием	31
Тема 4	
Оборудование для вальцевания и каландрования	41
Тема 5	
Переработка полимеров экструзией	51
Тема 6	
Экструзионные линии	74
Тема 7	
Оборудование для изготовления объемных изделий	80
Тема 8	
Оборудование для переработки пластмасс литьем под давлением	93
Тема 9	
Оборудование для формования изделий из листовых термопластов	101
Тема 10	
Оборудование для изготовления резиновых технических изделий	111
Тема 11	
Измельчение в химической промышленности	125
Тема 12	
Оборудование для разделения по крупности твердых материалов	153
Тема 13	
Оборудование для хранения и использования сыпучих материалов	163
Тема 14	
Смесители для сыпучих материалов	167
Тема 15	
Смесители для пастообразных материалов	171
Методические указания к выполнению лабораторных работ	
Лабораторная работа № 1	
Оборудование для переработки полимеров прессованием	175
Лабораторная работа № 2	
Переработка термопластов литьем под давлением	178
Лабораторная работа № 3	
Получение изделий из пластмасс методом экструзии	183
Лабораторная работа № 4	
Получение изделий из пластмасс методом раздува	188
Лабораторная работа № 5	
Определение влияния реологических характеристик полимеров на их перерабатываемость	194

Лабораторная работа № 6	
Оборудование для получения резиновых технических изделий	198
Лабораторная работа № 7	
Исследование работы барабанного измельчителя	201
Лабораторная работа № 8	
Измельчители истирающе-раздавливающего действия	206
Лабораторная работа № 9	
Ситовый анализ	212
Лабораторная работа № 10	
Оборудование для разделения суспензий и эмульсий	215
Методические указания и задания к практическим занятиям	
Гидравлические прессы	218
Валковые машины	222
Червячные машины	231
Дробильно-размольные машины и грохоты	240
Смесители для пластических материалов	257
Методические указания к курсовому проекту	
Общие требования	265
Содержание курсового проекта	266
Рекомендации по содержанию пояснительной записки к курсовому проекту	267
Примеры тем для курсового проектирования	268
Примерные вопросы к зачету	274
Примерные вопросы к экзамену	275
Литература	276
Приложения	278

ВВЕДЕНИЕ

Целью курса «Машины и аппараты химических производств» является изучение наиболее широко применяемых в химической промышленности машин и аппаратов, их конструкций, принципов работы, методик расчета. Одно из важнейших направлений курса – формирование критического отношения к конструкциям, применяемым сегодня в промышленности, и конструкциям, описанным в специальной литературе. Будущие инженеры-механики должны знать не только традиционно выпускаемое оборудование, но и новую технику, проходящую в настоящее время лабораторные или промышленные испытания.

Задачей изучения курса является приобретение студентами знаний по конструкциям и устройствам оборудования и его узлов, принципам работы и назначению. В процессе обучения студенты получают знания по вопросам эффективности эксплуатации и условиям монтажа оборудования, энергосбережения, охраны труда и защиты окружающей среды.

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- типовое и специальное оборудование различных отраслей химической промышленности и методы его расчета;
- методы оптимизации выбора размеров конструкции с учетом оптимальных параметров технологического процесса;
- основные направления интенсификации и совершенствования работы оборудования.

Студент должен уметь:

- находить оптимальные конструктивные решения по усовершенствованию оборудования;
- составлять расчетные схемы для определения размеров, производительности оборудования и прочностных расчетов;
- выполнять технико-экономическое обоснование при выборе оборудования для осуществления заданного технологического процесса.

В предлагаемом учебно-методическом комплексе представлена вторая часть курса «Машины и аппараты химических производств» – «Оборудование для производства полимерных и строительных материалов». Пособие включает рабочую программу курса, конспект лекций, методические указания к практическим занятиям и лабораторным работам, методические указания к курсовому проекту, примерные вопросы к зачету и экзамену, список литературы.

Содержание курса
«МАШИНЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ»

Часть 2
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
ПОЛИМЕРНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Свойства и области применения полимеров

Основные физические свойства полимеров. Классификация полимеров по способам получения, поведению при нагревании, строению звеньев и основной цепи. Степень полимеризации. Молекулярно-массовое распределение. Надмолекулярная организация полимеров. Основные крупнотоннажные полимеры. Расширение области использования полимеров физико-химической модификацией.

Теоретические основы переработки полимеров

Основные методы переработки полимеров. Технологические свойства полимеров. Основы реологии полимеров. Течение полимера в каналах простой формы. Кривые течения полимеров. Аномалия вязкости и температурная зависимость вязкости.

Переработка полимеров прессованием

Прессование в технологии полимеров. Конструкция и классификация прессов. Привод гидравлических прессов. Пресс-формы. Обогрев пресс-форм. Технология прямого прессования.

Оборудование для вальцевания и каландрования

Вальцевание. Классификация вальцев. Технологические особенности вальцевания. Каландрование. Классификация каландров. Методы компенсации прогиба валков каландров. Расчет производительности валковых машин. Расчет угла захвата. Расчет соотношения диаметра валка с размерами частиц материала.

Переработка полимеров экструзией

Общая характеристика процесса экструзии. Классификация экструзионного оборудования. Основные конструктивные элементы одношнекового экструдера. Узлы экструдера. Привод. Загрузочные устройства. Цилиндры. Шнеки. Узел упорного подшипника. Материалы, используемые

для изготовления деталей экструдера. Экструзионные головки (прямоточные, угловые, пленочные, плоскощелевые). Двухшнековый экструдер. Анализ работы зон экструдера. Рабочая характеристика экструдера. Способы повышения производительности экструдера. Терморегуляция экструдера. Мощность, потребляемая экструдером.

Экструзионные линии

Экструзионные линии для гранулирования полимеров. Экструзионные установки для производства труб и профилей. Линия для производства пленок раздувом. Экструзионные линии для нанесения полимерных покрытий.

Оборудование для изготовления объемных изделий

Инжекционно-выдувное формование. Экструзионно-раздувное формование. Классификация машин для производства объемных изделий раздуванием. Компоновка и основные механизмы агрегатов. Формующий инструмент. Раздувные формы. Выдувные машины. Технология получения и раздувания экструзионной заготовки. Управление экструзионно-выдувными агрегатами. Техника безопасности при работе на экструзионно-выдувных агрегатах.

Оборудование для переработки пластмасс литьем под давлением

Общая характеристика процесса литья термопластов под давлением. Узлы термопластавтомата. Литьевые формы.

Оборудование для формования изделий из листовых термопластов

Основные методы формования из листовых термопластов. Классификация формующего оборудования. Конструкция машин для термоформования. Оборудование для нагрева листовых заготовок. Основные узлы и агрегаты. Многопозиционные вакуум-формовочные машины.

Оборудование для изготовления резиновых технических изделий

Общая характеристика резины. Рецептатура резиновых смесей. Оборудование для получения резиновых смесей. Формообразование в технологии резины. Вулканизация.

Измельчение в химической промышленности

Способы измельчения. Теоретические основы измельчения. Классификация измельчителей. Измельчители раскалывающе-раздавливающего

действия. Щековые, конусные и валковые дробилки. Расчет угла захвата и производительности дробилок. Измельчители ударного действия. Роторные и молотковые дробилки. Дезинтеграторы и дисмембраторы. Измельчители истирающе-раздавливающего действия. Жернова. Бегуны. Машины для тонкого и сверхтонкого измельчения. Барабанные мельницы. Ролико-маятниковые мельницы. Струйные мельницы.

Оборудование для разделения по крупности твердых материалов

Разделение просеиванием через сита и решетки. Ситовый анализ. Конструкции сит.

Плоские грохоты. Колосниковый грохот. Валковый грохот. Ситовые грохоты. Качающиеся грохоты. Вибрационные и гирационные грохоты. Барабанные грохоты.

Оборудование для хранения и использования сыпучих материалов

Цепные, пластинчатые, ленточные, барабанные, тарельчатые, шнековые питатели. Дозаторы.

Смесители для сыпучих материалов

Центробежные, конусные, шнековые смесители. Планетарно-шнековый смеситель. Пневматические, ленточные смесители.

Смесители для пастообразных материалов

Смесители с Z-образными лопастями. Планетарно-лопастные смесители. Смесители непрерывного действия для пастообразных материалов.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Тема 1

СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ

В последнее время применение неметаллических материалов в химической технике и общем машиностроении постоянно расширяется и происходит это, в основном, за счет пластических масс – материалов на основе полимеров. Такой успех в конкурентной борьбе за право использования для изготовления деталей машин и элементов конструкций полимеры получили по нескольким основным причинам. Так, высокая технологичность и легкость модификации синтетических полимеров позволяют целенаправленно создавать материалы с заданным комплексом свойств, обеспечивая при этом снижение веса конструкций и машин, если используются вместо металлов. Наиболее наглядным примером может служить тенденция увеличения количества пластмассовых деталей в конструкциях современных автомобилей, что обеспечивает снижение массы и расхода топлива. Кроме этого, некоторые полимеры обладают просто уникальными свойствами. Например, существуют полимеры оптически прозрачные для ультрафиолетового излучения. Модификация полимеров может придать им такое интересное и полезное свойство как «эффект памяти».

Весь комплекс положительных свойств полимеров дает новые возможности в целом развитию индустриального общества. Роль полимеров в жизнедеятельности человека очевидна настолько, что по уровню потребления полимеров на душу населения можно судить об уровне жизни в той или иной стране. Так, в конце XX века среднедушевое потребление полимеров в США и ФРГ составило около 100 кг, в России – порядка 30 кг, а в Пакистане – менее 1 кг. В таком же порядке можно ранжировать и экономики перечисленных стран.

Для более полного изучения возможных областей применения полимеров необходимо познакомиться с основными свойствами, принципами получения и классификацией полимеров.

Полимеры – это высокомолекулярные соединения, в молекулах которых одинаковые звенья повторяются многократно (от греческих слов «поли» – много и «мерос» – часть). Звенья молекул полимера сходны по своему составу и строению с низкомолекулярными веществами, из которых синтезируется полимер (мономерами), но в молекуле полимеров мо-

жет быть от нескольких десятков до сотен тысяч звеньев, соединенных между собой химической связью.

Пластическими массами называются материалы, получаемые на основе природных и синтетических полимеров с использованием дополнительных ингредиентов, изменяющих свойства базового полимера. Пластмассы – это всегда многокомпонентные системы, включающие, кроме полимера, такие добавки, как наполнители, стабилизаторы, красители, пластификаторы. Свойства пластмасс определяются как природой полимера, так и природой и количеством введенных в полимер добавок.

1.1. Основные физические свойства полимеров

Полимеры по своим свойствам заметно отличаются от других конструктивных материалов. Основной физической особенностью полимеров является отсутствие газообразного фазового состояния. Вследствие этого полимер обычно невозможно нагреванием перевести в газообразное состояние (слишком велики размеры макромолекул), а последующим охлаждением – в конденсированное состояние полимера с прежним уровнем свойств.

Уровень механических свойств полимеров, конечно, ниже уровня свойств такого распространенного конструктивного материала как сталь, но при этом некоторые полимеры даже без специальных приемов модификации могут использоваться как заменители цветных металлов.

Прочностные показатели при растяжении, сжатии, изгибе у большинства полимеров находятся в диапазоне от 5 до 100 МПа, однако, учитывая то, что плотность полимеров редко превышает $1\ 500\ \text{кг/м}^3$ (обычно не выше $1\ 000\ \text{кг/м}^3$), удельные прочностные показатели (отношение предела прочности к плотности) некоторых полимеров сравнимы с показателями ординарных сталей, что в ряде случаев предопределяет выбор в пользу полимерных конструктивных материалов. Такая замена целесообразна не только, когда нужно обеспечить меньшую массу изделия. Применение полимеров при изготовлении зубчатых колес позволяет заметно снизить шумность работы механизмов.

Такие полимеры, как полиуретан и полиамиды, весьма успешно конкурируют по износостойкости с традиционными износостойкими материалами, например, бронзами. Низкий коэффициент трения многих полимеров, особенно политетрафторэтилена, обеспечивает безусловное лидерство при изготовлении таких элементов современной химической техники, как подшипники скольжения и торцевые уплотнения.

Для химической промышленности особенно важно то, что большинство полимеров обладают высокой коррозионной и химической стойкостью. Превосходные защитные свойства полимеров и предопределили их широкое использование при изготовлении емкостей и трубопроводов.

Большинство полимеров – хорошие диэлектрики, что обеспечило их очень широкое использование в электротехнике в качестве изоляционных материалов. И так достаточно низкая теплопроводность полимеров может быть существенно снижена за счет вспенивания (газонаполнения), что делает пенополимеры уникальными теплоизоляторами.

Среди полимеров существует группа так называемых органических стекол (полиметилметакрилат, полистирол, поликарбонат), которые из-за своей технологичности и преимуществ в эксплуатации интенсивно завоевывают рынок оптических изделий.

Высокой технологичностью отличаются практически все полимеры. Так, полимерное изделие высокой сложности и с достаточно высокой точностью размеров можно получить в одну стадию, с малыми энергозатратами, без дополнительной обработки и окрашивания.

Наиболее значимым недостатком большинства полимеров является низкая теплостойкость. Наиболее распространенные пластмассы могут эксплуатироваться при температуре до 100 °С, некоторые полиэферы и полиамиды – до 200 °С, а кремнийорганические полимеры и фторопласты – до 250 °С и выше.

Использование некоторых полимеров в качестве конструкционных материалов ограничено явно выраженной хладотекучестью (ползучестью). Ползучестью называют свойство материала медленно деформироваться при постоянных механических нагрузках, значительно меньших разрушающих. Ползучесть – крупный недостаток полимеров. Она препятствует применению многих пластмасс в деталях, работающих под нагрузкой. Ползучесть уменьшается при введении в термопласты наполнителей.

Еще одна особенность полимеров – их склонность к старению и деградации. Процессы старения и деградации, понижающие уровень эксплуатационных свойств, могут протекать в полимерах под действием нагрузки, тепла, влаги и света.

1.2. Классификация полимеров

По способу получения полимеры делятся на полученные полимеризацией, поликонденсацией и методом полимераналогичных превращений.

Полимеризацией называется процесс получения полимера, при котором макромолекула образуется путем последовательного присоединения к

растущему активному центру одного и того же низкомолекулярного вещества-мономера. Название полимеризационного полимера происходит от мономера. Так, для синтеза полиэтилена $(-\text{CH}_2 - \text{CH}_2-)_n$ используется мономер – этилен $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$.

Если для синтеза берется не один, а два разных мономера, то получают сополимеры. Они бывают двойные и тройные. Если между собой связываются не отдельные мономеры, а отрезки или блоки макромолекул, то получают блоксополимеры. Число различных сополимеров очень велико, при этом важно отметить, что свойства полимеров связаны с тем, какие взяты мономеры, сколько их взято, и каким образом они связаны.

Основная цепь полимеризационных полимеров состоит только из атомов углерода, поэтому их еще называют карбоцепными. Полимеризацией кроме полиэтилена получают полипропилен, полистирол, политетрафторэтилен, поливинилхлорид и другие полимеры.

Поликонденсацией называют процесс получения полимеров из бифункциональных соединений, сопровождающийся выделением побочного низкомолекулярного вещества. Например, полиамиды получают реакцией двухосновной органической кислоты и диамина. Поликонденсационные полимеры содержат в основной цепи не только углерод, но и гетероатомы (N, O, Si и др.) и называются гетероцепными. Методом поликонденсации получают полиэфиры, полиуретаны, фенопласты, аминопласты, эпоксидные смолы, полисилоксаны, поликарбонаты.

По структуре макромолекул полимеры могут быть классифицированы как линейные, разветвленные, гребнеобразные и сетчатые (сшитые) (рис. 1.1).

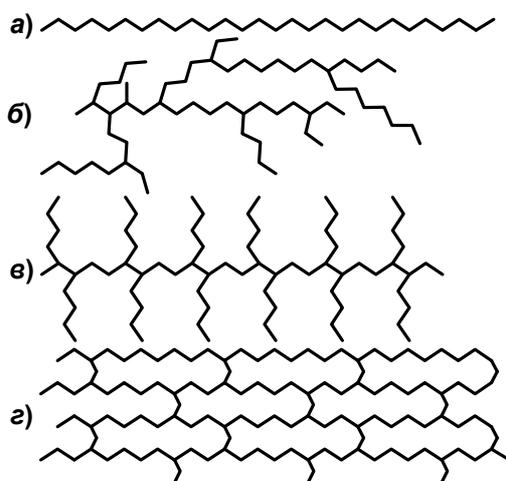


Рис. 1.1. Структура макромолекул полимеров:
а – линейное; б – разветвленное; в – гребнеобразное; г – сетчатое (сшитое)

В зависимости от расположения макромолекул полимеры могут иметь кристаллическое и аморфное состояние. Понятие кристалличности полимеров отличается от обычного понятия о кристаллах правильной геометрической формы с четко выраженными гранями. Под кристалличностью полимеров понимают упорядоченное расположение фрагментов макромолекул. Количество кристаллической фазы в полимере может меняться в широких пределах в зависимости от состава, условий получения и обработки. Так, полиэтилены, полученные различными способами (при высоком и низком давлении), весьма заметно отличаются и по физико-механическим свойствам, в том числе из-за различной степени кристалличности. На основные свойства полимеров существенное влияние оказывает его строение, конфигурация (геометрическое расположение атомов в макромолекуле) и конформация (структура полимерной молекулы, положение в пространстве). От конформации (клубки, складчатые цепи, спиралевидные цепи, сетчатые полимеры) заметно зависят механические свойства. Наибольшее разнообразие надмолекулярных структур наблюдается у кристаллических полимеров.

По поведению при нагревании полимеры делятся на термопласты и термореактопласты. Термопласты (термопластичные полимеры) размягчаются при нагревании и затвердевают при охлаждении. Этот цикл может повторяться многократно без существенного изменения эксплуатационных свойств. Термореактопласты также размягчаются при нагреве, но при этом в них протекают химические реакции (отверждение) с образованием трехмерной сетчатой структуры, после чего материал переходит в неплавкое и нерастворимое состояние.

Поведение полимеров при нагреве в сдвиговом поле изучают на так называемых термомеханических кривых (рис. 1.2), которые получают, изучая деформацию образца ϵ нагруженного полимера при плавном повышении температуры T .

При нагреве полимера изменяется его физическое состояние. Из твердого упругого стеклообразного состояния (зона I) полимер с повышением температуры переходит сначала в высокоэластическое (зона II), а затем – в вязкотекучее (зона III). Высокоэластическое состояние, которое наступает при температурах выше температуры стеклования T_c полимеров, характеризуется подвижностью отдельных участков цепи при отсутствии ее перемещения в целом. Вязкотекучее состояние (при температурах выше температуры текучести T_T) характеризуется способностью полимера течь подобно жидкости (в отличие от обычных жидкостей вязкость полимера

высока, поэтому состояние называется вязкотекучим). При дальнейшем повышении температуры происходит разрыв химических связей макромолекулы – полимеры деструктируют.

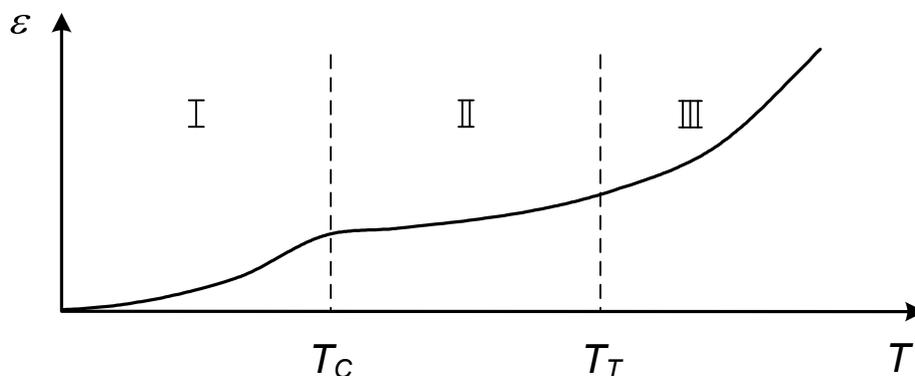


Рис. 1.2. Термомеханическая кривая:

I – зона стеклообразного состояния (твёрдое состояние полимера);
II – зона высокоэластического состояния; III – зона вязкотекучего состояния

Термомеханическая кривая наглядно показывает, что эксплуатация изделия из полимерного материала возможна в зоне стеклообразного состояния, переработка (формоизменение) возможна в зоне высокоэластического состояния либо в вязкотекучем состоянии.

Кроме приведенных параметров классификации общим для всех полимеров является оценка по молекулярной массе M_M , которая, очевидно, зависит от числа элементарных звеньев макромолекулы – степени полимеризации. Для одного и того же полимера, например, полиэтилена, уровень эксплуатационных и технологических свойств может изменяться в весьма широких пределах и причины этого – различия молекулярной массы и характер молекулярно-массового распределения. Промышленный полиэтилен выпускается с молекулярной массой от 40 000 до 2 000 000. При этом низкомолекулярный полиэтилен ($M_M = 40\ 000$) – относительно низковязкий в расплавленном состоянии полимер, практически не используемый для изготовления изделий. Обычный, знакомый нам по упаковке и таким конструкционным изделиям как водонапорные трубы полиэтилен имеет молекулярную массу порядка 300 000, а сверхвысокомолекулярный полиэтилен ($M_M = 2\ 000\ 000$) – настоящий конструкционный материал, конкурирующий с цветными сплавами при использовании в узлах трения и практически не плавящийся (имеет очень высокую вязкость расплава). Таким образом, очевидно, что увеличение молекулярной массы повышает

уровень механических свойств и вязкость расплавов полимеров. Однако не только абсолютная величина молекулярной массы имеет значение для оценки свойств полимера. Существенное влияние на технологические свойства полимера оказывает молекулярно-массовое распределение (ММР) – оцененное тем или иным способом содержание молекул различной длины в данном образце полимера. От выбранной технологии зависит, получится ли полимер с практически одинаковыми макромолекулами (узкое ММР) или в полимере будет присутствовать значительное количество молекул с молекулярной массой, отличающейся от средней как в большую, так и в меньшую сторону (широкое ММР). Перерабатываемость полимеров зависит от ММР, и конкретный способ переработки может иметь предпочтение к тому или иному ММР.

1.3. Основные крупнотоннажные полимеры

Отрасль полимерных материалов динамично развивается. В начале XXI века суммарное мировое производство полимеров превысило 100 млн т. Большая часть из этого производства приходится на десяток наиболее распространенных полимеров при том, что всего синтезировано более сотни различных видов полимеров.

Наиболее крупнотоннажными термопластами являются полиэтилены низкой и высокой плотности (ПЭНП и ПЭВП), полипропилен (ПП), поливинилхлорид (ПВХ), полиамиды (ПА), полиэтилентерефталат (ПЭТФ), полистирол (ПС), поликарбонат (ПК).

В странах СНГ наиболее распространены полиолефины – полиэтилены и полипропилен. Объем суммарного производства их в странах СНГ составляет более 1 500 млн т/год. В мире получили распространение два основных способа получения полиэтилена – при низком и при высоком давлении.

При низком давлении получается более высокомолекулярный и более регулярный продукт, чем при высоком. У полиэтилена высокого давления количество ответвлений на 1 000 атомов порядка 30 – 40, а у полиэтилена низкого давления – около 3 – 5. Из-за указанного обстоятельства макромолекулы полиэтилена, получаемого при низком давлении, упаковываются компактнее (с большей степенью кристалличности) – из-за этого его еще называют полиэтиленом высокой плотности, а полиэтилен высокого давления – соответственно полиэтиленом низкой плотности. Полиэтилен высокой плотности легче кристаллизуется и имеет поэтому более

высокий уровень физико-механических свойств. Еще более регулярную структуру и более высокую степень кристалличности имеет полипропилен. Его прочностные свойства еще выше, но при этом он теряет в эластичности и морозостойкости. Все полиолефины неполярны и поэтому обладают высокой химической стойкостью, являются хорошими диэлектриками. Если менее прочный, но более эластичный ПЭНП основное применение находит в виде пленки и изоляции проводов и кабелей, то более прочные ПЭВП и ПП используются для изготовления различных малонагруженных деталей машин, корпусов, труб, емкостей.

Полистирол – прочный и жесткий полимер, но при этом один из самых хрупких. С целью повышения эластичности и ударопрочности полистирола разработаны марки ударопрочного полистирола (блоксополимера с каучуком), в котором удается частично устранить хрупкость, правда, за счет некоторого снижения прочности. Поскольку полистирол также является неполярным, он, как хороший диэлектрик, нашел широкое применение в радиотехнике, электронике, бытовой технике.

Поливинилхлорид (винипласт) – это очень жесткий и прочный полимер. Из-за наличия крупного бокового заместителя (атома хлора) у ПВХ по сравнению с полиолефинами увеличивается полярность элементарного звена, уменьшается возможность свободного вращения атомов вокруг связи С – С, снижается гибкость цепи, и повышаются жесткость и прочность. Благодаря высоким механическим свойствам винипласт получил широкое применение для изготовления жестких профилей, труб, футеровки. Интересно, что этот жесткий пластик при введении специальных добавок – пластификаторов – превращается в свою полную противоположность – гибкий, эластичный продукт «пластикат», который нашел еще более широкое применение, чем сам ПВХ, в виде линолеума, искусственной кожи, кабельной изоляции, шлангов, различных профилей.

Фторопласт (политетрафторэтилен) нельзя назвать крупнотоннажным полимером – объем его производства сравнительно невелик из-за высокой стоимости и трудности переработки, но свойства его уникальны настолько, что нельзя о них не упомянуть. Фторопласт – наиболее химически стойкий полимер. Он ни в чем не растворяется, не боится ни кислот, ни щелочей, ни сильных окислителей, не горит. Один из лучших диэлектриков и прекрасный антифрикционный материал, коэффициент трения по стали – 0,05, по дереву – 0,2. Рабочие температуры от -200 °С до +260 °С. Правда, прочностные характеристики политетрафторэтилена невысоки. Кроме того, политетрафторэтилен обладает хладотекучестью. Это недоста-

ток, но благодаря ему он нашел применение для прокладок и уплотнителей. Широко применяется для изготовления химически стойкой аппаратуры, труб, антикоррозионных покрытий. Для изготовления изделий из фторопласта методом спекания предварительно получают заготовки, а затем методом механической обработки – изделия.

Полиамиды – это гетероцепные термопластичные полимеры, содержащие в основной цепи амидные группы. Это твердые кристаллические продукты регулярной структуры, что обуславливает высокие прочностные характеристики. Наиболее широко полиамиды применяются в производстве синтетических волокон (капрон, нейлон) и пленок, но используются и в качестве конструкционного материала при изготовлении деталей машин – шестерен, подшипников, втулок. Интерес к полиамам как конструкционным материалам связан с тем, что их прочностные показатели сохраняются на высоком уровне в интервале температур от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$. С другой стороны, после перехода в вязкотекучее состояние полиамиды имеют низкую вязкость расплава и легко перерабатываются методом литья под давлением в изделия сложной формы. Особенно удачным комплексом свойств обладают стеклонанополненные полиамиды. Благодаря очень высоким прочностным показателям и теплоустойчивости они используются для изготовления деталей, работающих в узлах трения без смазки (вкладыши и сепараторы подшипников, шестерни, лопасти винтов), корпусов и каркасов, сохраняющих размеры в интервале температур от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Полиэфиры – гетероцепные полимеры, содержащие в основной цепи сложноэфирную группу. Кроме сложноэфирной могут присутствовать и другие функциональные группы, и тогда полимер называют по этой группе (например, полиуретаны, полиэтилентерефталат). Основное применение полиэфиров – лаки и краски, искусственные волокна и пленки, но они применяются также и для изготовления различных деталей конструкционного назначения. Благодаря высоким прочностным свойствам полиэфиры используются для изготовления труб, корпусов приборов, зубчатых колес. Некоторые полиэфиры используются в качестве связующего при получении терморезистивных пластмасс.

Таким образом, существующий банк известных полимеров создает возможность выбора материала для самых различных целей и условий эксплуатации. Для подтверждения этого утверждения и для удобства сравнения возможностей различных полимеров их свойства приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Свойства крупнотоннажных полимеров

Наименование полимера	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, МПа	Модуль упругости при изгибе, МПа	Ударная вязкость, кДж/м ²
Полиэтилен низкой плотности	110	10	300	Не ломается
Полиэтилен высокой плотности	125	25	700	20
Полипропилен	165	30	1 500	30
Полистирол	110	40	3 000	20
Поливинилхлорид	150	50	3 000	50
Политетрафторэтилен	395	15	1 300	Не ломается
Полиэтилентерефталат	235	60	3 500	Не ломается
Полиамид-6	215	50	1 300	140

1.4. Модификация свойств полимеров

Если по какой-либо причине среди выпускаемых промышленностью полимеров не удастся для конкретной цели использования подобрать материал с требуемым комплексом свойств, то в случае полимеров остается возможность модификации свойств в достаточно широких пределах.

Так, полимеры, являющиеся хорошими диэлектриками, при необходимости можно превратить в электропроводящие материалы. За счет модификации можно в несколько раз изменить уровень механических свойств. Относительно низкоплавкий полиэтилен можно превратить в неплавящийся и пригодный, например, для трубопроводов горячего водоснабжения. Можно продолжать список эффектных примеров модификации полимеров, но полезнее несколько систематизировать представления о направлениях и возможностях модификации.

Различают физическую и физико-химическую модификацию полимеров. При физической модификации в расплав полимера вводятся различные добавки и механически распределяют (диспергируют) их в массе. При физико-химической – в массе полимера с участием введённых добавок происходят химические превращения.

Для объективности следует отметить, что применение полимера в чистом виде (вообще без всяких добавок) является скорее исключением, чем правилом. В качестве такого примера можно привести органические стёкла из полиметилметакрилата и некоторые марки политетрафторэтилен-

на. Практически все полимеры выпускаются с определенным количеством *стабилизаторов* – добавок, препятствующих протеканию в полимерах процессов старения и деструкции. Эти процессы обычно связаны с образованием в массе полимера перекисных групп, при распаде которых появляются свободные радикалы, инициирующие деструктивные процессы. Чтобы предотвратить или хотя бы замедлить старение, в полимеры вводятся стабилизаторы или антиоксиданты (противоокислители). Стабилизаторы либо препятствуют образованию перекисей, либо затрудняют их распад на свободные радикалы, либо нейтрализуют сами эти радикалы. Антиокислители, которые эффективно защищают материал при повышенной температуре, принято называть *термостабилизаторами*, а те, которые предотвращают появление радикалов под действием солнечного излучения – *фото* или *светостабилизаторами*.

Развитие процессов модификации полимеров напрямую связано с возникающими требованиями потребителей. При подборе материала для изготовления нагруженного изделия раньше не было альтернативы выбору более прочного (и более дорогого) полимера, а в настоящее время экономическая необходимость заставляет идти по пути улучшения механических свойств у более дешёвого (и доступного) полимера. Например, введение в полимер волокнистых наполнителей приводит к повышению жёсткости, твёрдости и прочности. Так, стеклонанополненные полиамиды по прочности даже превосходят более дорогие полимеры – поликарбонаты. Введение наполнителей, однако, далеко не всегда даёт усиливающий эффект. Иногда неорганический порошкообразный наполнитель (мел, тальк) служит лишь для удешевления пластмассы.

В качестве наполнителей может применяться технический углерод (сажа), мел, тальк, слюда, графит, стекловолокно, углеродное волокно. Свойства наполненных пластмасс зависят как от свойств полимера, так и от свойств наполнителя. Кроме того, на конечный результат влияют такие факторы, как количество наполнителя, форма его частиц, смачиваемость поверхности наполнителя расплавом полимера, однородность распределения частиц наполнителя в объёме полимера, величина адгезии полимера к поверхности наполнителя. Помимо изменения прочностных свойств при наполнении обычно повышается температура стеклования и текучести. Показатель текучести расплава, наоборот, снижается. Это необходимо учитывать при выборе наполненных материалов, т.к. переработка их обычно осложняется по сравнению с ненаполненными полимерами.

Введение в полимеры добавок, чаще всего используют для направленного изменения какого-либо свойства. Большинство полимеров являет-

ся горючими материалами, и для борьбы с этим недостатком в полимер вводят *антипирены* – добавки, способные в условиях горения выделять вещества, химически подавляющие пламя. Полимер, содержащий антипирены, можно поджечь, но при удалении внешнего источника огня, он затухает. На этом эффекте основано производство так называемых «самозатухающих» пластмасс, имеющих пониженную горючесть.

Введение в неполярные полимеры определённых количеств (20 – 40 %) высокодисперсных сортов технического углерода позволяет превратить эти типичные диэлектрики в электропроводящие материалы. В неполярной матрице углеродные частички наполнителя образуют цепочечные структуры, благодаря которым материал становится проводником. Такие материалы нашли применение при изготовлении гибких кабельных экранов, взамен металлической оплётки, печатных электрических схем, гибких нагревательных элементов.

Если вместо электропроводящего наполнителя в полимер ввести ферромагнитный порошок, то при наложении магнитного поля частицы наполнителя в расплаве ориентируются вдоль силовых линий поля. При охлаждении такой системы получаются достаточно легкие и эластичные магниты, например, для дверки холодильника.

Всем знакома неприятная способность некоторых полимеров накапливать на поверхности электростатические заряды. Для борьбы с этим явлением в состав полимера вводятся небольшие количества антистатиков, в силу своего строения способных мигрировать на поверхность и повышать поверхностную проводимость, предотвращая накопление электрических зарядов.

Для улучшения антифрикционных свойств полимеров их наполняют порошками графита или дисульфида молибдена, имеющими очень низкие коэффициенты трения, а также вводят низкомолекулярные вещества (соли жирных кислот), способные постепенно диффундировать на поверхность трения, образуя граничные смазочные слои. Использование этих приёмов позволяет изготавливать на базе фторопластов, полиамидов, поликарбонатов материалы с коэффициентом трения порядка 0,01. Если требуется повысить коэффициент трения, то полимер (обычно фенoplast или каучук) наполняют асбестовым волокном, каолином, железным порошком. Коэффициент трения получают при этом 0,4 – 0,6, и эти материалы используются для изготовления тормозных колодок и дисков сцепления в фрикционных узлах различных машин.

Жёсткий и прочный поливинилхлорид, из которого изготавливают оконные профили и трубы для химической промышленности, получил еще

более широкое применение, когда его удалось превратить в эластичный материал введением пластификаторов (пленки, кабельная изоляция). Пластификатор понижает температуру стеклования полимера и облегчает его переработку. Наиболее распространенными пластификаторами для ПВХ являются эфиры фосфорной и фталевой кислот.

1.5. Физико-химическая модификация полимеров

Типичным примером модификации полимеров путем химического взаимодействия макромолекул является процесс превращения каучука в резину под действием серы (вулканизация). При температуре вулканизации (140 – 150 °С) происходит раскрытие двойной связи и образование серных мостиков между отдельными цепями каучука. Все макромолекулы оказываются соединенными химическими связями в единую пространственную сетку. Когда таких мостиков мало, получается эластичная мягкая резина. По мере увеличения числа поперечных связей макромолекулы всё меньше могут проявлять свою высокоэластичность, резина становится более жёсткой и прочной. Если вулканизирующего агента взять много и довести процесс до такой стадии вулканизации, когда задействованы почти все двойные связи в каждом элементарном звене каучука, то получается жёсткий и твёрдый продукт – эбонит.

Даже такие типичные термопласты, как полиэтилен, могут быть переведены в термореактивное состояние. Для этого в массе полимера необходимо создать большое количество свободных радикалов, которые, реагируя с макромолекулами полимера, связывают их между собой с образованием углерод-углеродных связей. В случае полиолефинов этот процесс принято называть «сшивкой». В технике сшитый полиэтилен получают, облучая готовые изделия частицами высоких энергий либо вводя в композиции органические перекиси. При повышенных температурах перекиси распадаются с образованием свободных радикалов, обеспечивающих процесс сшивки.

Перекисная или радиационная сшивка полиэтилена существенно повышает его прочностные характеристики, а из-за потери полиэтилена способности к плавлению устойчивость формы изделий сохраняется до 200 °С. Кроме описанных эффектов сшивка придает полимеру такое новое свойство, как «эффект памяти», фиксируя (запоминая) взаимное расположение молекул в процессе сшивки. Если такое изделие нагреть до состояния высокоэластичности, деформировать, а потом охладить, то при последующем нагреве изделие примет (вспомнит) первоначальную форму.

Таким образом, модификация полимеров может в широких пределах изменять их свойства. В заключение следует отметить, что для получения заданного эффекта модификации обычно требуется тщательно распределить ингредиенты в полимерной матрице. Для этих целей обычно используются смесители для высоковязких сред, обладающие хорошей гомогенизирующей способностью. К таким машинам относят резиносмесители различных конструкций, вальцы и двухшнековые экструдеры.

Тема 2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ

2.1. Основные методы переработки полимеров

Основными методами переработки пластмасс в изделия являются: прессование, литье под давлением, экструзия, раздувное формование, пневматическое или вакуумное формование, нанесение полимерных порошковых покрытий.

Прессование является наиболее давно известным и наиболее универсальным методом изготовления изделий из пластических масс. Практически все виды полимеров могут быть переработаны прессованием. Это метод формования изделий, заключающийся в пластической деформации материала при одновременном действии тепла и давления с последующей фиксацией формы изделия. В случае реактопластов фиксация формы происходит за счет отверждения материала при образовании трехмерной сетки, а в случае термопластов – охлаждения формы. Прессование осуществляется на гидравлических прессах в разъемных формах, внутренняя полость которых соответствует форме изделия. Недостатками прессования являются низкая производительность, обусловленная длительностью рабочего цикла, включающего разогрев материала, и наличие ручных операций.

Более прогрессивным является метод литья под давлением, когда материал предварительно разогревается в материальном цилиндре, а затем определенная порция расплава впрыскивается под большим давлением в литьевую форму. На современных литьевых машинах шнек может совершать как вращательное, так и поступательное движение. При вращении шнека происходит ускоренный разогрев и пластикация полимера, а при поступательном движении – впрыск расплава в форму.

Профильные изделия изготавливаются методом экструзии – непрерывного продавливания полимерного расплава через формующее от-

верстие. Этим методом изготавливают длинномерные профильные изделия: трубы, листы, пленки, профили сложной формы. Для расплавления полимеров и создания давления расплава на формующей головке используются экструдеры – машины, в цилиндре которых вращающимся червяком (шнеком) создается поток материала. Проходя через формующую головку, материал повторяет очертания ее внутренней поверхности. Приобретенная расплавом полимера форма фиксируется охлаждением и в виде изделия поступает на приемное устройство. Такой непрерывный процесс легко поддается автоматизации и характеризуется высокой производительностью.

Метод пневмоформования заключается в формовании изделия сжатым воздухом из предварительно изготовленных листов. Листовую заготовку закрепляют по контуру и нагревают до температуры, при которой материал находится в высокоэластическом состоянии. После чего полимер формируется под давлением воздуха, затвердевая при соприкосновении с холодной формой. Разновидностями метода является механическое или вакуумное формование.

В зависимости от используемого способа переработки первостепенное значение приобретают те или иные технологические свойства полимеров.

2.2. Технологические свойства полимеров

К технологическим относят такие свойства полимеров, от которых может зависеть успешность или даже возможность переработки тем или иным способом. Естественно, что различие способов подразумевает и различие требований к полимерам. Даже в пределах одного способа переработки может быть выделено несколько стадий и, следовательно, к полимеру предъявляется целый комплекс технологических требований.

На стадии подачи полимера в зону переработки существенное значение имеет обеспечение удобства и надежности питания сырьем, из-за чего оптимальной выпускной формой для подавляющего большинства полимеров является гранулят. Охарактеризовать свойства гранулированного полимерного сырья можно насыпной плотностью, углом естественного откоса и углом обрушения.

Насыпная плотность характеризуется отношением массы формуемого материала (порошка или гранул) к его объему и выражается в кг/м^3 . Величина насыпной плотности важна для расчета конструктивных параметров пресс-форм и бункеров. Изменение насыпной плотности перерабаты-

ваемого сырья может существенно (на десятки процентов) изменять производительность работы экструзионных установок и термопластавтоматов.

Насыпная плотность зависит от гранулометрического состава, который и сам по себе является важным показателем свойств полимерного сырья и обычно присутствует в нормативных документах на промышленные полимеры. Гранулометрический состав характеризует содержание частиц разных размеров в порошкообразных и гранулированных материалах и определяется ситовым анализом или визуальным подсчетом. Однородность частиц формуемой массы улучшает сыпучесть и точность дозировки.

Сыпучесть материала, оцениваемая по углу естественного откоса или углу обрушения, может определить характер поведения материала в бункерах и линиях подачи и обусловить использование принудительной подачи в случае, если материал склонен к образованию пробок.

Важное влияние на качество получаемых изделий при переработке всеми известными методами может оказать содержание летучих веществ и влагосодержание. Выделение летучих или паров воды при переработке в расплаве проявляется в шероховатости поверхности, искажении формы изделия. Такой полимер как полиэтилентерефталат при наличии в нем влаги при переработке в расплаве весьма интенсивно деструктурирует, в связи с чем требует обязательной сушки перед переработкой. По способности удерживать влагу полимеры существенно различаются. Такие неполярные полимеры как полиолефины, как правило, не сушат перед переработкой, так как при соблюдении правил хранения они не впитывают влагу из воздуха. Полярные же полиамиды способны из воздуха впитывать до 2 % влаги, а вводной среде – до 15 %. При переработке такие полимеры вспениваются (закипает вода внутри полимера), что не позволяет получить качественное изделие. Влажность и содержание летучих определяют по разнице в массе определенной навески исходной пластмассы до и после сушки в термостате при установленных температурах и времени. Нормы допускаемой влажности и содержания летучих указывают в нормативной документации на полимерное сырье.

Точность формы и размеров получаемого изделия может искажаться из-за усадки полимерного материала после охлаждения. Усадка зависит, прежде всего, от природы материала, а также от давления и температуры прессования, влажности сырья. У полиолефинов, полиамидов, некоторых терморектопластов усадка может достигать 3 % (иногда и более). Расчетную усадку учитывают при конструировании изделий и пресс-форм.

К технологическим свойствам можно отнести и оптимальную температуру переработки, которая зависит от природы полимера. Изготовление

изделий из некоторых полимеров, например, таких как поливинилхлорид и политетрафторэтилен, осложнено узким температурным диапазоном переработки. Повышение температуры для повышения текучести недопустимо из-за резкой интенсификации процесса термодеструкции. Температура переработки определяется опытным путем при изготовлении изделий с учетом показателя текучести расплава и температуры начала деструкции полимера.

Для прессования и литья под давлением важным технологическим параметром является удельное давление прессования (литья). Необходимое удельное (приходящееся на единицу площади изделия) давление прессования или литья зависит от вида, текучести материала, температурного режима переработки, конструкции формы и литниковых каналов. Оптимальное удельное давление для каждого материала определяется опытным путем, и для большинства полимеров оно находится в диапазоне от 20 до 150 МПа.

Наиболее важным и заслуживающим особого рассмотрения технологическим показателем для термопластов является его текучесть в расплавленном состоянии. Текучесть расплава полимера характеризует саму способность переработки в вязкотекучем состоянии и может быть описана различными способами.

2.3. Основы реологии полимеров

Наиболее важным для большинства методов переработки в вязкотекучем состоянии является комплекс реологических свойств, т.е. закономерности поведения расплавов (реже – растворов) полимеров под действием внешней нагрузки. Текучесть характеризует способность материала к переработке, т.е. способность пластмасс при допустимых температурах и давлениях протекать по каналам и заполнять формы. Пониженная текучесть материала приводит к неполному заполнению пресс-форм. Текучесть пластических масс зависит от природы полимера, вида и количества наполнителя, присутствия пластификатора, смазывающих веществ и других добавок. С увеличением содержания наполнителей уменьшается текучесть пластмассы, но для повышения текучести наполненных пластмасс в них можно добавить внутреннюю смазку.

Особенностью полимеров является то, что для описания движения расплавов по каналам формующего инструмента недостаточно определить только величину вязкости, необходимо знание так называемого реологического поведения. Реологическое поведение полимеров зависит от природы

полимера, температуры, напряжения и скорости сдвига, молекулярно-массового распределения. Описывают реологическое поведение, устанавливая в аналитической или графической форме зависимости вязкости от температуры, вязкости от скорости сдвига, скорости сдвига от напряжения. Графики таких зависимостей обычно называют кривыми течения. Наибольшее распространение в реологии полимеров получили кривые течения в координатах $\dot{\gamma}$ - τ (скорость сдвига - напряжение сдвига). Для полимеров отмечают несколько типов кривых течения. С некоторым приближением можно выделить полимеры с линейной и нелинейной зависимостями скорости сдвига от напряжения (рис. 2.1).

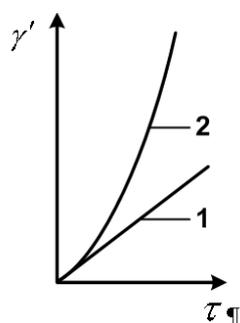


Рис. 2.1. Кривые течения полимеров: 1 – с узким ММР, 2 – с широким ММР

свойство ньютоновской жидкости и линейную зависимость скорости сдвига от напряжения.

$$\dot{\gamma} = \frac{\tau}{\eta},$$

где $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига,
 τ – напряжение сдвига,
 η – вязкость полимера.

Абсолютное значение вязкости для промышленных полимеров имеет уровень 1 000 Па·с.

Если в составе полимера есть как длинноцепочные, так и низкомолекулярные макромолекулы, то смена характера течения при увеличении напряжения сдвига происходит не одновременно. Часть макромолекул раньше других перестают участвовать в сегментальном движении, начинают двигаться как стержни в массе других молекул, чем резко снижают общую вязкость системы и повышают скорость течения полимерной массы. Такое

реологическое поведение полимерных тел описывается степенным законом $\dot{\gamma}^n = \frac{\tau}{\eta}$ (кривая 2, рис. 2.1) и называется аномалией вязкости.

Наличие аномалии вязкости у многих промышленных полимеров дает соблазнительную возможность существенно снизить энергоемкость процесса переработки полимеров, переведя этот процесс в область высоких скоростей сдвига. В любом случае информация о реологических свойствах полезна и даже необходима. В реальных технологических условиях, однако, используют сведения о соотношении напряжении и скорости сдвига в достаточно узком диапазоне значений, обусловленном стандартными реологическими приборами.

Наибольшее распространение для оценки вязкости расплавов полимеров получили вискозиметры (экструзионные пластометры) постоянного давления (рис. 2.2), в которых постоянное напряжение сдвига (постоянное давление) обеспечивается стандартным грузом, а массовый расход полимера измеряется через капилляр стандартного размера.

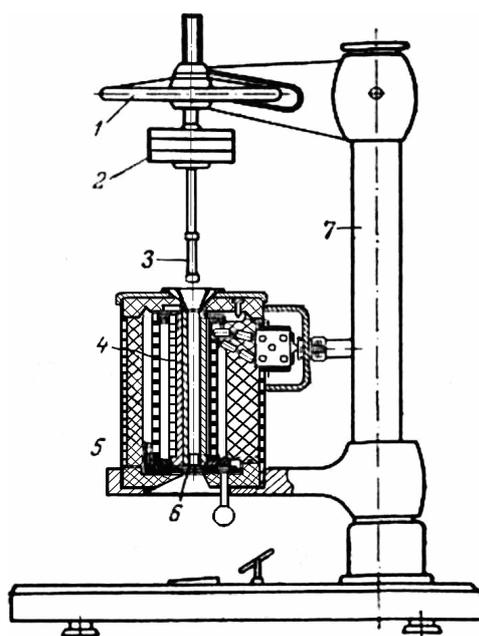


Рис. 2.2. Прибор для определения показателя текучести расплава

В ходе определения вязкости на экструзионном пластометре 5, закрепленном на стойке 7, порция кондиционированного полимера загружается в полость обогреваемой камеры 4, выдерживается некоторое время до плавления полимера, после чего штоком 3 под действием груза 2 полимер выдавливается через капилляр 6. Оператором срезаются отрезки экструдата-

та за определенный период времени для последующего взвешивания на аналитических весах. После проведения опыта остаток полимера выдавливается из камеры с помощью винтовой пары, приводимой в действие штурвалом 1.

Определяемый таким способом массовый расход в граммах за 10 минут называют показателем текучести расплава (ПТР) и, очевидно, что его величина обратно пропорциональна вязкости. Температура испытания для каждого термопласта выбирается в зависимости от его технологических свойств. Необходимое давление на материал создается с помощью поршня и груза, регламентируемого нормативным документом.

На рис. 2.3 представлена схема альтернативного прибора ИИРТ для определения показателя текучести расплава.

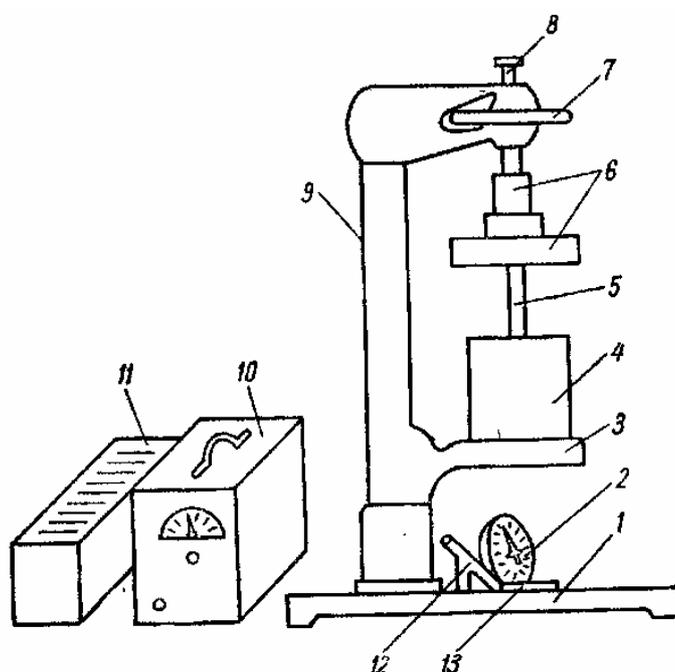


Рис. 2.3. Схема альтернативного прибора ИИРТ для определения показателя текучести расплава термопластов: 1 – опорная плита; 2 – секундомер; 3 – держатель; 4 – экструзионный пластометр; 5 – поршень; 6 – гири; 7 – штурвал; 8 – винт для подъема и опускания поршня; 9 – колонна; 10 – бесконтактный регулятор температуры; 11 – стабилизатор ФСН-200; 12 – зеркальный отражатель; 13 – зеркало

ПТР, измеренный при нагружении в широком диапазоне, позволяет легко получить кривые течения в координатах $\dot{\gamma}$ - τ , обычно применяемых при описании результатов научных исследований. Формулы для перевода результатов определения ПТР в систему «скорость сдвига – напряжение» приведены ниже.

$$\gamma' = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot R^3},$$

где γ' – скорость сдвига, с^{-1} ;

Q – расход, $\text{м}^3/\text{с}$;

R – радиус капилляра, м.

Напряжение сдвига определяется по формуле

$$\tau = \frac{\Delta P}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot R^2},$$

где L – длина капилляра, м;

ΔP – перепад давления до и после капилляра, Па.

Для технологических целей чаще пользуются регламентными показателями текучести расплава и температурными зависимостями ПТР. Температурная зависимость вязкости (ПТР) может оказать весьма заметное влияние как на экономические показатели процесса переработки полимера, так и на качество получаемых изделий. Показатель текучести расплава термопластов важно знать для выбора оптимального режима переработки материала (температура, давление, скорость экструзии), а также выбора номенклатуры изготавливаемых изделий. Так, ассортимент полиэтилена низкой плотности включает базовые марки с ПТР от 0,2 г/10 мин до 30 г/10 мин (различие на 2 порядка), что предопределяет и различные направления переработки (экструзия или литье под давлением).

Вязкость полимера зависит от длины макромолекул и от температуры. Способность полимера к необратимой деформации характеризуют так называемой энергией активации вязкого течения. Энергия активации вязкого течения определяет ту энергию, которую сегмент должен получить в результате флуктуации тепловой энергии и которая необходима для отрыва сегмента от окружающих его соседей. Для полиэтилена энергия активации составляет порядка 50 кДж/моль, а для поливинилхлорида – около 150 кДж/моль. По величине энергии активации вязкого течения ПВХ, которая сравнима с энергией химической связи в макромолекуле, понятна причина склонности этого полимера к термодеструкции и необходимости пластификации (разбавления) ПВХ для снижения энергии активации. Установлено, что между вязкостью η_0 и энергией активации U вязкого течения имеется экспоненциальная зависимость

$$\eta_0 = A \cdot e^{-U/R \cdot T}.$$

Энергия активации показывает, насколько сильно вязкость зависит от температуры. Чем больше энергия активации, тем сильнее снижается вязкость с ростом температуры. Это значит, что с ростом температуры вязкость быстрее снижается у поливинилхлорида, чем у полиэтилена. У полиэтилена, достаточно стойкого к термодеструкции, можно в разы понизить вязкость, увеличив температуру на 30 – 50 °С. Поэтому при переработке расплавов полимеров стремятся повышать температуру, насколько это возможно. Предел здесь определяется способностью полимера к термодеструкции, поэтому подбирают эффективные стабилизаторы, способные предотвратить термодеструкцию и обеспечить переработку при максимально высоких температурах.

Энергия активации определяется взаимодействием сегментов с окружающей средой и не зависит от числа сегментов в макромолекуле данного состава, т.е. не зависит от молекулярной массы полимера.

Вязкость в отличие от энергии активации определяется совокупными затратами на перемещение всех сегментов макромолекулы и поэтому зависит от их числа, т.е. от молекулярной массы. В области малых молекулярных масс вязкость пропорциональна молекулярной массе M_w :

$$\eta_0 = K \cdot M_w,$$

где K – константа пропорциональности.

Когда молекулярная масса возрастает настолько, что макромолекула приобретает значительную гибкость, возникают зацепления и захлесты длинных цепных молекул (очевидно, что длинные молекулы могут перепутаться гораздо сильнее, чем короткие). Начиная с некоторого значения M_w , вязкость далее растет не только потому, что молекулы становятся длиннее, но и потому, что число зацеплений или подвижных узлов, приходящееся на одну молекулу, становится все больше. Это определяет более сильную зависимость вязкости от молекулярной массы:

$$\eta_0 = K_1 \cdot M_w^{3,4}.$$

Можно рассчитать, как должна расти вязкость в системе макромолекул, где с ростом длины растет число узлов переплетений, и такой расчет действительно приведет к значению показателя степени в уравнении, равному 3,5, что практически совпадает с экспериментально найденным значением 3,4.

Молекулярная масса выпускаемых промышленностью полиамидов, полиэфиров – обычно порядка десятков тысяч; полиэтилена, полистирола,

полипропилена и т.п. – порядка сотен тысяч; тогда как у каучуков она может достигать миллионов единиц. Поэтому вязкость расплавов первой группы названных полимеров обычно находится в диапазоне десятков Па·с, второй группы – $10^3 - 10^5$ Па·с; для каучуков – 10^8 Па·с, что обуславливает большие затраты энергии на переработку полимеров.

В целом, знание закономерностей реологического поведения полимеров позволяет оптимизировать процессы переработки.

Тема 3

ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРОВ ПРЕССОВАНИЕМ

3.1. Прессование в технологии полимеров

Прессование – способ получения изделий из полимеров в замкнутой форме с фиксацией геометрических размеров охлаждением (термопласты) или отверждением (термореактопласты). Обычно готовое изделие получается в одну стадию (прямое или компрессионное) прессования. Однако существуют способы прессования, когда требуются и дополнительные стадии (спекание или вспенивание).

Прессование в технологии полимеров занимает достаточно важное место. Исторически прессование было одним из первых способов переработки полимеров. В настоящее время прессование практически вытеснено из технологии полимеров более производительными методами и сохранилось лишь там, где его пока заменить не удалось. Значительный удельный вес прессования можно отметить в технологии резиновых технических изделий, в технологии термореактопластов (древесных пластиков) и в технологии фторопластов. Политетрафторэтилен – практически единственный термопласт, переработка которого вследствие его особенностей ведется методом прессования.

Для реализации процесса прессования необходимо соответствующее оборудование (пресс) и инструментальная оснастка (пресс-формы). Основным параметром, используемым для характеристики прессы, является номинальное усилие прессования.

Технология прессования зависит от типа перерабатываемого полимера. Так, для термопластов необходимо осуществлять формообразование при температуре выше температуры плавления, а фиксацию формы – охлаждением. При переработке реактопластов фиксация формы происходит за счет образования химических связей между макромолекулами при высокой температуре, что позволяет извлекать изделие из

формы, не охлаждая. Некоторые полимеры перерабатывают холодным прессованием с последующим спеканием. При этом формование изделий из порошкообразных полимерных материалов осуществляется путем прессования при температуре ниже температуры текучести полимеров с последующим нагревом до сплавления в монолит. Этот способ пригоден для переработки любых термопластов, но в промышленности применяется только для изготовления изделий из политетрафторэтилена. Переработка в вязкотекучем состоянии политетрафторэтилена невозможна из-за очень узкого температурного интервала между температурой плавления и температурой деструкции. Для других полимеров, не имеющих ограничений на более дешевую переработку в вязкотекучем состоянии, способ прессования применяется в случаях, когда требуется получить уникальное по свойствам, например, открытопористое изделие.

3.2. Конструкция и классификация прессов

Для переработки полимеров применяются прессы различных конструкций. По типу станины прессы делятся на колонные, рамные и челюстные.

Колонные прессы бывают двух-, четырех- и многоколонными. Рамные и челюстные прессы – двух- и многостоечными. Станины рамных и челюстных прессов делают литыми или сборными. Челюстные прессы применяются в тех случаях, когда при изготовлении изделий необходим доступ к пресс-форме с трех сторон.

По количеству зон прессования прессы разделяют на одно- и многоэтажные. Многоэтажные прессы имеют большее количество рабочих зон и, соответственно, большую производительность, чем одноэтажные. Обычно многоэтажные прессы служат для прессования листовых материалов (текстолит, стеклотекстолит, древесные пластики, винипласт, целлулоид и др.). Этажные прессы обычно имеют нижнее расположение рабочего цилиндра. При больших размерах рабочих плит с целью более равномерной передачи на них усилия прессования и для уменьшения диаметра рабочего цилиндра применяются два или несколько цилиндров.

По виду привода прессы делятся на механические, гидромеханические и гидравлические.

К механическим прессам относятся винтовые, коленорычажные, эксцентриковые и ротационные. Их целесообразно применять для изготовления мелких изделий при больших скоростях прессования, коротких выдержках и небольших усилиях прессования. При передаче больших усилий

рабочие органы механических прессов становятся более громоздкими и металлоемкими, чем у гидравлических прессов. В промышленности пластмасс механические прессы нашли наибольшее применение для таблетирования пресс-материалов, а также в некоторых конструкциях прессов-автоматов.

Гидромеханические прессы позволяют, используя рычажные механизмы, получить в начале рабочего хода большую скорость и небольшое усилие на рабочей плите, а в конце рабочего хода – большое усилие при небольшой скорости. Такое распределение скоростей и усилий прессования позволяет при постоянном расходе рабочей жидкости определенного давления и простой схеме управления обеспечить высокую производительность прессы. Однако гидромеханические прессы дороже и конструктивно сложнее, чем гидравлические. Гидравлические прессы имеют ряд преимуществ по сравнению с механическими и гидромеханическими прессами, вследствие чего получили наибольшее распространение в технологии полимеров. Гидравлические прессы обеспечивают возможность определять и в широких пределах регулировать усилие прессования, позволяют регулировать величины и скорости рабочего хода, осуществлять выдержку под давлением и ее регулирование. Принципиальная схема гидравлического прессы приведена на рис. 3.1.

Основными частями гидравлического прессы являются: станина; рабочие, возвратные и выталкивающие цилиндры и плунжеры; подвижные и неподвижные плиты.

Для обеспечения работы гидравлического прессы необходимо иметь гидропривод и распределители жидкости, связанные с прессом трубопроводами.

Гидравлические прессы делятся на прессы с верхним и нижним расположением рабочего цилиндра. Прессы с верхним расположением рабочего цилиндра преимущественно применяются для переработки термореактивных пластмасс. Прессы с нижним расположением рабочего цилиндра – для прессования слоистых пластиков (этажные прессы) и резиновых изделий в съемных пресс-формах.

При работе прессы усилие от плунжера последовательно передается на подвижную плиту, пресс-форму и нижнюю неподвижную плиту. Под действием давления жидкости главный цилиндр стремится подняться вверх, при этом усилие через фланец передается на верхнюю неподвижную плиту (поперечину). Верхняя и нижняя плиты связаны между собой колоннами. Таким образом, как усилие прессования, так и реакции, возни-

кающие в процессе прессования, воспринимаются деталями станины прес-са, а на фундамент действует только вес прес-са.

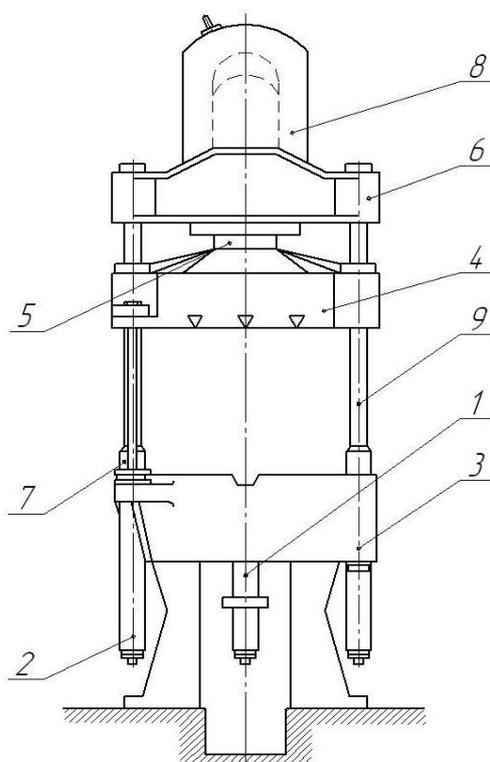


Рис. 3.1. Гидравлический пресс:

1 – выталкиватель; 2, 9 – колонна; 3, 6 – неподвижные плиты;
4 – подвижная плита; 5 – плунжер; 7 – крепление плит; 8 – гидроцилиндр

Из рис. 3.1 очевиден характер нагружения отдельных деталей: поперечины работают на изгиб, колонны – на растяжение, плунжер – на сжатие.

В прессах с нижним рабочим цилиндром возврат рабочей плиты в нижнее положение может осуществляться под действием собственного веса (например, в этажных прессах).

В прессах с верхним или горизонтальным расположением рабочего цилиндра, а также в тех случаях, когда обратный ход плиты нужно осуществить быстро (в прессах с нижним расположением рабочего цилиндра), применяют принудительный обратный ход. Принудительный обратный ход может осуществляться при помощи возвратных гидроцилиндров.

Наиболее важным параметром работы прес-са является номинальное усилие прес-са – усилие прес-сования без учета различных потерь (на трение в уплотнениях и направляющих, противодействие в возвратной полости цилиндра, преодоление веса подвижных частей и т.д.). Кроме этого, для гидравлических прес-сов регламентируются ход подвижной плиты, наи-

большее расстояние между неподвижной и подвижной плитами пресса, размеры плит, номинальное усилие выталкивателя, ход выталкивателя и скорость подвижной плиты при холостом, рабочем и возвратном ходах.

3.3. Привод гидравлических прессов

Первичным механизмом привода гидравлических прессов является насос, преобразующий механическую энергию, получаемую от электродвигателя, в потенциальную или кинетическую энергию рабочей жидкости. Кроме насоса для обеспечения работы пресса необходимо иметь распределительные, регулирующие и предохранительные устройства, связанные между собой и с рабочей машиной в необходимой последовательности. Иногда в практике используются накопители рабочей жидкости, находящиеся под давлением (аккумуляторы), а также мультипликаторы, служащие для повышения давления рабочей жидкости.

Различают следующие основные типы привода гидравлических прессов: насосный (индивидуальный); аккумуляторный (групповой); мультипликаторный в сочетании с насосным или насосно-аккумуляторным. Под групповым приводом понимается такой привод, который обеспечивает одновременную (независимую) работу большого числа прессов (до нескольких сот).

В большинстве случаев гидравлические прессы должны иметь повышенную скорость холостого и обратного ходов при незначительном усилии, развиваемом в это время прессом, которое необходимо только для преодоления сил трения, веса подвижных частей и гидравлических сопротивлений. При рабочем ходе, когда развивается максимальное усилие прессования, скорость понижается. Такой режим работы пресса может быть достигнут при помощи разных технических средств, из которых наиболее часто применяется использование рабочей жидкости от двух источников, плавное изменение подачи и давления рабочей жидкости, вспомогательные цилиндры ускоренного хода или мультипликаторы.

Индивидуальный насосный гидропривод состоит из одного или нескольких насосов, приводимых в движение электродвигателями, бака для рабочей жидкости, трубопроводов и арматуры, гидро- и электроаппаратуры, приборов управления и рабочей жидкости. Гидро- и электроаппаратура должна обеспечивать дистанционное управление гидроприводом, а также автоматическое поддержание нужного давления и подачи. Зная диаметр плунжера пресса D (м) и скорость его движения v

(м/с), можно определить необходимую теоретическую производительность насоса Q :

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot v}{4}.$$

Для учета утечек, сжатия жидкости и расширения стенок цилиндра и трубопроводов в формулу вводят коэффициент запаса (обычно 1,2). Расчетная формула для производительности примет тогда следующий вид:

$$Q = 0,942 \cdot D^2 \cdot v.$$

Работа A , производимая прессом при прессовании, может быть представлена как

$$A = F \cdot S,$$

где F – усилие, развиваемое прессом, кН;
 S – путь прессующего инструмента, м.

Для установления зависимости значения затрачиваемой мощности P (кВт) от усилия прессования и скорости рабочего инструмента, выразим работу через путь и скорость:

$$P = F \cdot v.$$

Для определения мощности электродвигателя P_0 (кВт) необходимо учесть значение КПД насоса и редуктора (обычно $\eta = 0,75$), тогда

$$P_0 = \frac{P}{\eta}.$$

В качестве насосов низкого давления (до 7 МПа) применяют пластинчатые, шестеренчатые, червячно-винтовые и кривошипно-плунжерные насосы. Для получения рабочей жидкости высокого давления (свыше 10 МПа) – в основном плунжерные насосы (кривошипно-плунжерные, эксцентриково-плунжерные и ротационно-плунжерные).

Насосно-аккумуляторный привод применяется, в основном, для группового привода прессов. В периоды, когда потребление рабочей жидкости меньше, чем производительность насосов, аккумулятор заполняется рабочей жидкостью, находящейся под давлением. В то время, когда потребление рабочей жидкости оборудованием больше, чем производительность насоса, аккумулятор отдает часть жидкости, находящейся под давлением, в гидравлическую магистраль. В зависимости от способа поддержания давления в аккумуляторах они делятся на грузовые, воздушно-беспоршневые, воздушно-поршневые, пружинные. Основными параметрами

гидравлических аккумуляторов является номинальное давление рабочей жидкости и емкость.

Насосно-аккумуляторный привод может работать на воде, водной эмульсии и минеральных маслах. При применении воздушно-беспоршневых аккумуляторов во избежание образования взрывоопасной смеси капель масла в воздухе работают не на масле, а на водной эмульсии, при использовании минеральных масел аккумулятор заполняют азотом.

3.3.1. Элементы гидропривода

Уплотнения – необходимая и ответственная часть всех гидравлических машин. Они должны исключать утечки рабочей жидкости и предотвращать попадание во внутреннюю полость гидравлических систем пыли, абразивное действие которой может привести к износу трущихся поверхностей рабочих органов. В прессах используются, в основном, контактные уплотнения, которые осуществляют герметизацию за счет плотного прилегания к поверхности сопрягаемых деталей.

Контактные уплотнения (сальники, манжеты, упругие неразрезные и поршневые кольца и др.) обеспечивают высокую надежность герметизации. Однако при движении вследствие трения происходит износ как уплотнений, так и герметизируемых поверхностей, что ограничивает срок их службы. Кроме того, на преодоление сил трения расходуется значительная энергия.

Поршневые кольца служат для создания уплотнений между зеркалом цилиндра и поршнем, совершающим возвратно-поступательное движение. Поршневые кольца широко применяются в компрессорах, насосах, распределительных устройствах, а также для уплотнения поршневой части дифференциальных плунжеров рабочих и вспомогательных цилиндров гидропрессов.

При расчете эффективной мощности пресса необходимо определить силу, затрачиваемую на преодоление трения в уплотняющих элементах. Пренебрегая собственной упругостью манжет, которая в большинстве случаев ничтожна по сравнению с давлением рабочей жидкости, можно определить силу трения F в уплотнениях по формуле

$$F = \frac{k \cdot D \cdot H}{p},$$

где k – коэффициент трения;

D – диаметр плунжера;

H – высота рабочей части манжеты;

p – давление рабочей жидкости внутри цилиндра.

Коэффициент трения по стали при работе на воде для кожи – 0,06 – 0,13; для резины и прорезиненной ткани – 0,01 – 0,1; для полиамида П-68 – 0,09; для капрона – 0,09 – 0,1. Следует иметь в виду, что теплоустойчивость манжет невелика. Так кожаные манжеты рекомендуется применять при температуре до 70 °С, резиновые – до 80 °С, поливинилхлоридные – до 60 °С.

3.4. Пресс-формы

Пресс-формы служат для формообразования готового изделия и могут быть съемными, стационарными и полустационарными.

Съемные пресс-формы отличаются следующими особенностями: отсутствием крепления к плитам пресса; отсутствием собственных нагревателей, вследствие чего необходимы специальные нагревательные плиты, стационарно установленные на прессе; осуществлением удаления отпрессованных изделий, чистки оформляющей полости и загрузки формы пресс-материалом вне пресса; простотой конструкции и небольшой массой, что облегчает ручной съем формы. Съемные пресс-формы применяются при мелкосерийном производстве, для изготовления опытных образцов изделий или при экспериментальных работах. При применении съемных форм нельзя предъявлять к изделиям требования высокой точности и качества поверхности. В них трудно получать изделия сложной конфигурации.

Полустационарные и стационарные пресс-формы закрепляются на плитах пресса. Для них характерно наличие собственных нагревателей и системы выталкивания (у стационарных пресс-форм).

Полустационарные пресс-формы применяются для прессования изделий с резьбовыми отверстиями, с металлической арматурой, а также в мелко- и среднесерийном производствах; стационарные пресс-формы, главным образом, применяются в крупносерийном и массовом производствах.

Большинство пресс-форм для прямого и литейного прессования имеют горизонтальные плоскости разъема. Пресс-формы с горизонтальной и вертикальной плоскостями разъема, которые устанавливаются на угловых прессах, позволяют формовать очень сложные изделия.

По конструкции пресс-формы бывают открытого и закрытого типов (рис. 3.2). Оформляющая полость в пресс-формах открытого типа одновременно служит загрузочной камерой. Благодаря этому, излишек загруженного пресс-материала до полного смыкания пресс-формы беспрепятственно может вытекать через отжимные кромки (ранты).

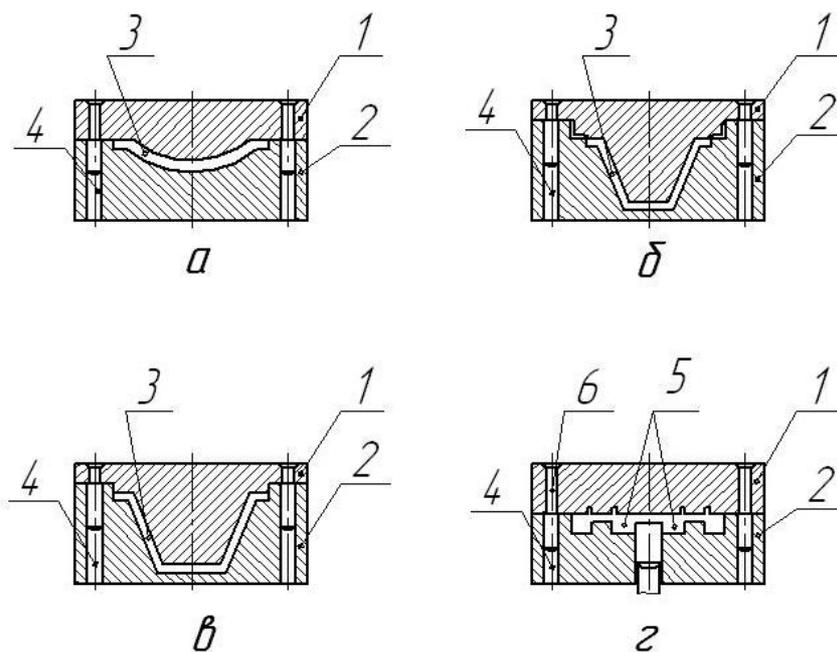


Рис. 3.2. **Пресс-форма:** *а, б* – открытого типа, *в, г* – закрытого типа;
 1, 2 – полуформы; 3 – изделие; 4 – позиционирующее отверстие;
 5 – литниковые каналы; 6 – поправляющий стержень

В пресс-формах закрытого и полузакрытого типов размеры оформляющей полости выбирают так, что в них можно перерабатывать пресс-материалы с плохой текучестью или с волокнистыми наполнителями. Кроме того, пуансон в процессе смыкания заходит в оформляющую полость пресс-формы, плотно замыкает ее, благодаря чему предотвращается вытекание пресс-материала из оформляющей полости. Плотное запираение оформляющей полости требует более точного дозирования пресс-материала, чем в пресс-формах открытого типа, так как излишек пресс-материала, а также газы и пары воды, образующиеся в процессе прессования, не могут быть удалены через точно притертые пазы.

По количеству одновременно изготавливаемых изделий пресс-формы бывают одногнездными и многогнездными. На гнездность пресс-формы оказывает влияние множество факторов: требуемая производительность с одной пресс-формы за определенный промежуток времени; степень сложности прессуемых изделий (размер и геометрия изделия, точность размеров изделия и др.); тип пресс-материала (порошкообразный, гранулированный, волокнистый); характеристика имеющегося оборудования (усилие прессования, размер плит пресса, ход плит пресса, система выталкивания и др.); экономичность производства (стоимость пресс-формы, амортизационный срок, серийность производства и др.).

Конструирование пресс-форм предполагает знание основных параметров, необходимых для достижения требуемого качества прессуемого изделия, обеспечения безаварийного производства и гарантирования надежности работы пресс-форм под действием сил, возникающих в процессе прессования. К таким параметрам можно отнести усилие прессования, объем загрузочной камеры, размеры литниковой системы.

Определяющее значение при определении размеров элементов пресс-формы и выборе пресса имеет знание требуемого давления прессования, площади поверхности изделия и суммарного усилия прессования. Под давлением прессования понимают усилие прессования пресс-материала, приходящееся на единицу площади проекции изделия. Давление прессования зависит от множества факторов и часто его выбирают по экспериментальным данным для конкретного полимера.

3.5. Обогрев пресс-форм

Изготовление высококачественных изделий из реактопластов требует не только приложения достаточно высокого давления, но и строгого соблюдения теплового режима. К нагреву пресс-форм, независимо от способа нагрева, предъявляются следующие требования:

1. постоянство температуры пресс-формы в процессе формования изделий, поддерживаемое путем соответствующего регулирования;
2. равномерное распределение температурного поля на пуансоне и матрице, достигаемое рациональным расположением нагревательных каналов.

Различают прямой и косвенный нагрев пресс-форм. При косвенном нагреве материал в форме нагревается за счет тепла, передаваемого форме от обогреваемых плит пресса. При таком способе нагрева трудно поддерживать точную температуру прессования и контролировать отдачу тепла в окружающую среду. При всех своих недостатках косвенный метод обогрева прост и часто используется для получения опытных образцов, обычно на съемных формах.

При прямом нагреве создаются лучшие условия нагрева, так как каналы или отверстия для приема теплоносителя (воды, пара, масла и др.) расположены в пуансоне и матрице. Прямой способ нагрева дает возможность быстрого разогрева пресс-формы и достаточно точного регулирования ее температуры. Он применяется, как правило, в пресс-формах для крупносерийного или массового производства, а также в крупногабаритных пресс-формах. Для снижения тепловых потерь в большинстве случаев внешние поверхности пресс-формы теплоизолируют, а между пресс-формой и плитой пресса помещают теплоизоляционные прокладки.

На предприятиях по переработке пластмасс в большинстве случаев используются электрические нагреватели сопротивления, позволяющие автоматизировать процесс регулировки температуры.

3.6. Технология прямого прессования

Технологический процесс прямого прессования реактопластов включает стадии подготовки сырья и инструмента, дозирования сырья в полость формы, собственно прессования.

К подготовительным операциям относят монтаж съемных элементов пресс-формы, установку металлической арматуры и ее фиксацию; сушку сырья. При дозировании сырья необходимо обеспечить его равномерное распределение в форме.

Стадия прессования и отверждения может проходить с подпрессовкой для компенсации усадки.

Стадию извлечения изделий из формы совмещают с ее очисткой сжатым воздухом или неметаллическими щетками. Завершающими операциями при прессовании изделий из терморезистивных пресс-материалов являются механическая обработка и контроль качества.

Для получения высококачественных изделий при одновременном соблюдении экономичности переработки необходимо обеспечить оптимальный выбор следующих параметров: удельного давления прессования; температуры пресс-формы; времени отверждения или выдержки. Выбор указанных параметров на предприятиях по переработке пластмасс, как правило, осуществляется на основе практических данных.

Тема 4 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВАЛЬЦЕВАНИЯ И КАЛАНДРОВАНИЯ

В технологии полимеров валковые машины применяются для вальцевания и каландрования.

4.1. Вальцевание

Вальцевание – периодический процесс, применяемый для пластикации каучука, приготовления различных смесей, введения в основной материал (каучук или термопласт) пластификаторов, наполнителей, красителей, вулканизирующих систем и т.д.

Вальцы – это аппарат для смешения, в котором перемешивание материала осуществляется в зазоре между параллельно расположенными, вращающимися навстречу друг другу (обычно с разными скоростями) полыми валками. Принципиальная схема обычных двухвалковых вальцев представлена на рис. 4.1.

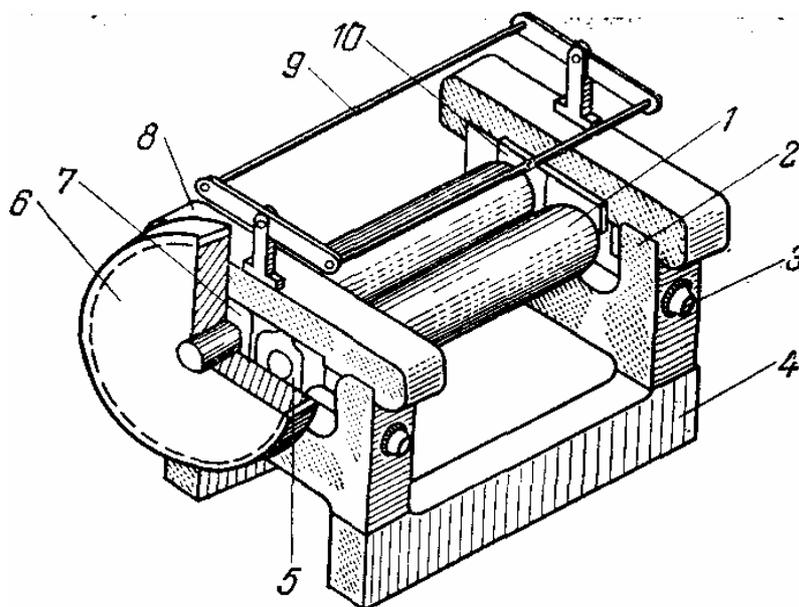


Рис. 4.1. Двухвалковая машина:

1 – валок; 2 – станина; 3 – регулировочный винт; 4 – опора; 5, 7, 10 – подшипники; 6 – ведущая шестерня; 8 – траверса; 9 – защитная рамка

Подлежащие смешению компоненты (полимер, пластификаторы, измельченные твердые ингредиенты, такие как сажа, мел, асбест) загружаются в зазор, в котором за счет интенсивной деформации сдвига, сопровождающейся сильным тепловыделением, происходит смешение. Валки 1 обычно изготавливают из кокильного чугуна. Рабочая поверхность отбеливается на глубину 15 – 18 мм. Наружная поверхность валков шлифуется. В полость валков может подаваться теплоноситель.

Валки соединены между собой шестернями; при этом скорость вращения заднего валка выше, чем переднего, а отношение скоростей вращения валков называется фрикцией. От величины фрикции зависит интенсивность процесса смешения.

Для регулирования зазора между валками подшипники переднего валка 5 могут перемещаться при помощи регулировочных винтов 3 в проемах станины 2. От смещения вверх подшипники удерживаются траверсами 8, которые крепятся к станине болтами. Для правильной установки зазора регулировочные винты снабжены указательными шкалами. На валь-

цах с большими диаметром и длиной валков привод регулирующих винтов осуществляется от специальных электродвигателей. На вальцах малого размера и вальцах старых конструкций вращение винтов производится вручную.

При вальцевании полимерного материала в зазоре между валками возникают распорные усилия, пропорциональные вязкости вальцуемого материала и составляющие в расчете на 1 см длины валка от 3 500 до 11 000 Н. Для предотвращения поломки валков на концах регулировочных винтов установлены предохранительные шайбы, срезающиеся при перегрузке.

Валки вальцев обычно устанавливаются в подшипниках скольжения. Смазка подшипников промышленных валков циркуляционная (от специального насоса или от лубрикатора). Для отвода тепла корпус подшипника снабжен рубашкой, охлаждаемой водой.

Для предотвращения попадания вальцуемого материала в подшипники на концах валков устанавливают профильные пластины 10, называемые «ограничительными стрелками», каждая из которых состоит из двух половин, укрепленных соответственно на подшипниках переднего и заднего валков. На одной из половин стрелки установлена стальная планка, перекрывающая зазор, образующийся между стрелками при раздвижении валков.

В большинстве случаев привод вальцев осуществляется от электродвигателя переменного тока. Регулируемый привод применяется только на лабораторных вальцах. Верхний предел частоты вращения переднего валка обусловлен требованиями техники безопасности; поэтому окружная скорость переднего валка может составлять не более 38 м/мин, скорость заднего валка, как правило, выше.

Для мгновенной остановки вальцев, в случае попадания в них руки рабочего, служит устройство, называемое аварийным остановом. Время остановки вальцев при незагруженных валках не должно превышать 1,5 – 2,0 с. Аварийный останов при индивидуальном приводе отключает двигатель и приводит в действие колодочный тормоз, установленный на валу двигателя.

4.2. Классификация вальцев

По размерам вальцы подразделяются на лабораторные (диаметр валков < 225 мм) и производственные (диаметр валков от 300 до 800 мм).

По назначению вальцы классифицируют как изготовленные для резиновой промышленности (обычно охлаждаемые) и для переработки термопластов (обычно обогреваемые).

При переработке резины и каучука вальцевание может производиться в целях пластикации каучука (повышение пластичности за счет уменьшения молекулярной механохимической деструкцией), изготовления резиновых смесей путем последовательного введения ингредиентов в каучук. Кроме этого, вальцы применяют для подогрева готовых резиновых смесей перед переработкой, для размола и очистки регенерата.

По перечисленным признакам вальцы для производства резин делятся на смесительные, регенераторно-смесительные, подогревательные, размалывающие и рафинировочные.

При переработке термопластичных полимерных материалов вальцевание может проводиться с целью смешения отдельных ингредиентов с полимером (гомогенизация готовой смеси). В случае поливинилхлорида вальцевание применяется для пластификации полимера.

В технологии терморектопластов вальцевание используется для пропитки связующим тканевого наполнителя.

4.3. Технологические особенности вальцевания

Технологическими параметрами процесса вальцевания являются время смешения, температура и зазор между валками. В зависимости от назначения вальцев технологический режим будет различаться.

Для более эффективного смешения применяют вальцы с фрикцией, наличие которой интенсифицирует циркуляционное течение в зазоре. Возникновение в проходящем через зазор материале значительных напряжений сдвига позволяет кроме смешения осуществлять при вальцевании и операцию диспергирования. Вследствие этого вальцевание используют не только для смешения, но и для диспергирования в полимере твердых и жидких ингредиентов, таких как сажа, вулканизирующие системы, ускорители вулканизации, пластификаторы, стабилизаторы, красители. Так как процесс диспергирования происходит тем интенсивнее, чем больше напряжение сдвига, диспергирующее вальцевание следует вести при минимально возможных температурах, так как при этом вязкость, а, следовательно, и напряжение сдвига, максимальны. В результате интенсивного деформирования полимерного материала в зазоре вальцев выделяется значительное количество тепла. Под влиянием механических напряжений в зазоре может происходить механохимическая деструкция полимера. В связи со всеми перечисленными обстоятельствами особое значение имеет система терморегуляции вальцев.

Для улучшения однородности смешения, кроме увеличения периода работы валцев, существует технологическая возможность периодического срезания (ручного или механического) слоя материала для возврата его в зазор.

4.4. Каландрование

Каландрование – процесс изготовления изделий из резин и термопластов на валковых машинах. Ассортимент изделий достаточно обширен. Так, на профильных каландрах изготавливают профилированные заготовки. Для получения толстых или многослойных листов применяют дублирование. На промазочных каландрах осуществляют прорезинивание ткани – процесс, при котором резиновая смесь, проходя через зазор вместе с тканью, вдавливается в межнитевое пространство.

В промышленности переработки пластмасс каландрование широко применяется для формования тонких листов и пленок из жесткого и пластифицированного поливинилхлорида. Большое распространение получил каландровый способ изготовления линолеума и других покрытий для полов из сильно наполненных композиций ПВХ.

Конструкция трехвалкового каландра показана на рис. 4.2, а схема агрегата – на рис. 4.3.



Рис. 4.2. Трехвалковый каландр

Каландр состоит из двух чугунных станин, установленных на фундаментной плите и соединенных сверху траверсой. В пазах станины уста-

новлены корпуса подшипников валков. Гладкие валки обычно изготавливают из высококачественного чугуна кокильной отливкой. Поверхностный отбеленный слой имеет твердость 45 – 50 HRC. Качество поверхности каландруемого материала в значительной мере определяется качеством поверхности валков; поэтому рабочая поверхность валка тщательно шлифуется и полируется до зеркального блеска.

Для термостатирования в валках имеется внутренняя полость, в которую при работе подается пар или пароводяная смесь. В новейших моделях каландров применяют валки, в которых теплоноситель циркулирует по просверленным непосредственно у поверхности валка периферийным каналам диаметром 38 – 50 мм. Центральная полость служит в таких валках только для подвода и отвода теплоносителя.

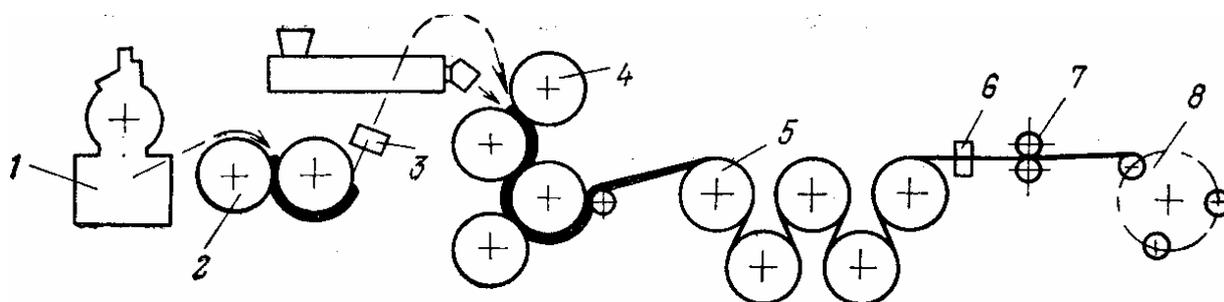


Рис. 4.3. Схема каландрового агрегата:

1 – смеситель закрытого типа; 2 – вальцы; 3 – детектор металла; 4 – Z-образный каландр (наклонный); 5 – охлаждающие барабаны; 6 – толщиномер; 7 – устройство для обрезания кромок; 8 – намоточное устройство

Окружные скорости валков изменяются в диапазоне от 15 до 400 м/мин. Максимальное давление в зазоре в зависимости от реологических свойств материала и толщины каландруемого изделия может составлять 7,0 – 70,0 МПа. С увеличением диаметра валков распорные усилия возрастают. Так, при формовании пленки толщиной 0,1 мм из пластифицированного ПВХ (32 % ДОФ) при 443 К (скорость каландрования 0,6 м/с): для каландра с диаметром валков 915 мм (длина 2 340 мм) распорное усилие равно $93 \cdot 10^4$ Н, для каландра с диаметром валков 610 мм (длина 1 670 мм) – $44 \cdot 10^4$ Н.

Валки каландров обычно устанавливают на подшипниках скольжения. Однако на некоторых современных каландрах для этой цели применяют сферические роликовые подшипники. Величина зазора в подшипниках должна быть минимальна, поскольку смещение шеек приводит к изменению зазора и появлению поперечной разнотолщинности каландруемого

изделия. В каландрах с расположением валков в линию для уменьшения влияния «игры» подшипников на точность поперечного размера пленки применяют предварительную нагрузку валков при помощи специальных гидроцилиндров.

Регулирование зазора между валками осуществляется за счет перемещения подшипников внешних валков; для этого на каландре имеется специальный механизм, обеспечивающий синхронное смещение обоих подшипников валка. Валки каландров современной конструкции приводятся от индивидуальных электродвигателей постоянного тока, которые устанавливаются на общем блок-редукторе. Понижающий редуктор привода каждого валка располагается в отдельном корпусе. Каждый валок соединяется с выходным валом редуктора при помощи своего карданного вала. При таком приводе возможные пределы изменения фрикции ограничиваются только регулирующими характеристиками двигателей и обычно позволяют менять окружную скорость валков в диапазоне 1:10, обеспечивая постоянство заданной скорости с точностью $\pm 0,2\%$.

Измерение толщины каландруемого листа может осуществляться контактным и бесконтактным методами.

Наиболее распространенные схемы расположения валков приведены на рис. 4.4.

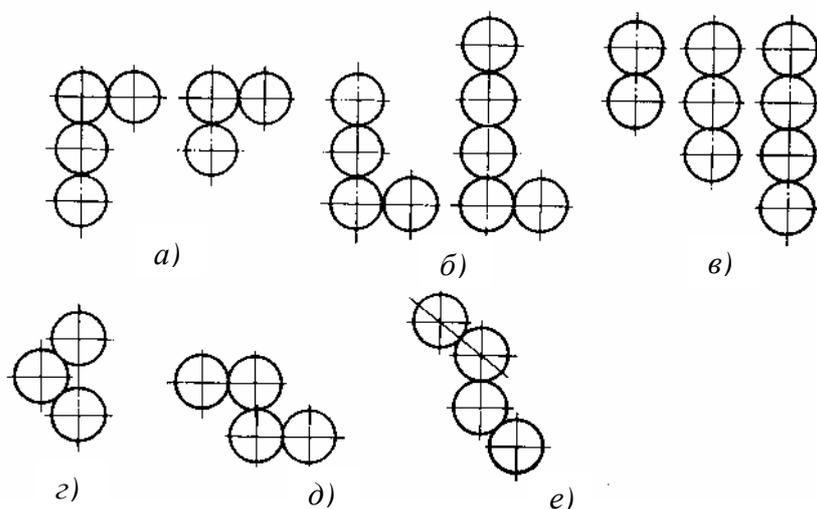


Рис. 4.4. Схема расположения валков каландров:
a – Г-образное; *б* – L-образное; *в* – вертикальное; *г* – треугольное;
д – Z-образное; *е* – S-образное

По назначению каландры делятся на каландры для переработки резиновых смесей и каландры для переработки термопластов (в основном, ПВХ).

4.5. Классификация каландров

Валковые машины могут быть классифицированы по назначению, области применения, конструкции, размерам и т.д.

В резиновой промышленности различают универсальные каландры (обычно трех- и четырехвалковые), профильные – для выпуска профилированной ленты, промазочные (фрикционные) – для промазки и втирания резиновой смеси в ткань, обкладочные и дублировочные.

В промышленности переработки пластмасс различают каландры листовальные – для получения тонких листов и пленок (обычно четырех- и пятивалковые), тиснильные – для тиснения поверхности пленок или листов, дублировочные – для дублирования пропитанной ткани или листов термопластичного материала, гладильные – для обработки поверхности жестких материалов, отжимные – для удаления избыточной жидкой фазы из ленты жестких материалов (специальные картоны).

По диаметру валков каландры подразделяют на лабораторные (диаметр до 225 мм) и производственные.

Специфической особенностью, присущей всем каландрованным изделиям, является существование явно выраженной продольной анизотропии механических свойств, известной под названием каландрового эффекта. Эта анизотропия возникает как следствие «замороженной» продольной ориентации, которой полимер подвергается при прохождении через зазор каландра. Скорость каландрованного листа обычно либо равна окружной скорости валков, либо несколько превышает ее. Поэтому возникающие при каландровании продольные деформации не успевают релаксировать и оказываются зафиксированными в материале готового изделия. Существование продольной ориентации приводит к формированию в каландрованных изделиях волокнообразных фибриллярных структур, ориентированных в направлении каландрования.

Мерой каландрового эффекта принято считать различие в значениях прочностных характеристик листа (разрывной прочности, относительного удлинения при разрыве), определенных в направлении каландрования и перпендикулярно к нему.

4.6. Методы компенсации прогиба валков каландров

Под действием распорного усилия валки каландра прогибаются. Если валки имеют цилиндрическую форму, толщина каландруемого изделия (лист или пленка) меняется по ширине. Поскольку прогиб валков в центре

максимален, толщина изделия в центре будет больше, чем на краях, на величину этого прогиба. Фактическое изменение профиля сечения зазора равно удвоенной величине прогиба валка.

Для получения равнотолщинного изделия необходимо обеспечить полную компенсацию прогиба валка. Для этого применяют три основных метода: бомбировка валков; перекрещивание валков; контризгиб валков.

При бомбировке валков (рис. 4.5) внешнему калибрующему валку каландра придают бочкообразную форму. Диаметр средней части такого валка делают несколько большим, чем на его концах, а профиль поверхности выполняют по параболе.

Применение бомбировки позволяет полностью скомпенсировать прогиб валка только для одного определенного значения распорного усилия, соответствующего для каждого материала определенным значениям параметров процесса.

Изменение любого из этих параметров, прежде всего, толщины каландруемого изделия, сопровождается изменением распорного усилия и, следовательно, изменением прогиба валка. Поэтому одна бомбировка никогда не может обеспечить полной компенсации прогиба валка при всех рабочих режимах.

Перекрещивание валков – это метод, при котором внешний калибрующий валок поворачивается в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через середину валка (рис. 4.6). Вследствие поворота зазор на краях валка оказывается больше, чем в середине.

Контризгиб валков – метод компенсации прогиба, который состоит в том, что к концам внешнего калибрующего валка прикладываются усилия, создающие изгибающий момент, противоположный по знаку моменту, возникающему под действием распорного усилия (рис. 4.7).

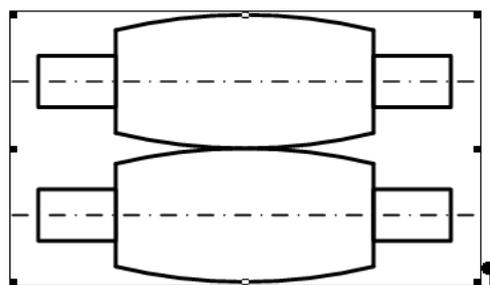


Рис. 4.5. Компенсирование прогиба валков бомбировкой

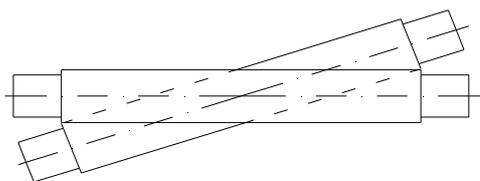


Рис. 4.6. Компенсация прогиба валков перекрещиванием

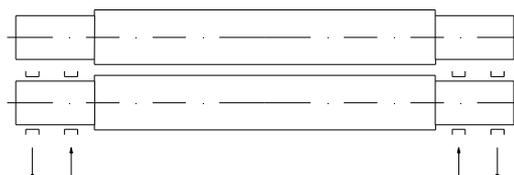


Рис. 4.7. Компенсация прогиба валков контризгибом

Большая часть современных каландров оснащается как бомбированными валками, так и устройствами для переkreщивания или контрризиба валков. Комбинируя эти методы, удастся добиться компенсации прогиба, при которой максимальные отклонения толщины пленки от номинального значения не превышают 1 – 2 мкм.

4.7. Охлаждение валков

Часто технологические процессы, осуществляемые на вальцах и каландрах, требуют подвода тепла извне или охлаждения. В таких случаях применяют охлаждаемые (обогреваемые) валки.

Различают два способа охлаждения валков: открытый и закрытый. При открытом способе (рис. 4.8, а) охлаждающая вода подводится по трубопроводу 3, проходящему во внутреннюю полость валка 2. Для выхода воды на внутреннем участке трубопровода по всей длине рабочей части валка и на определенном расстоянии друг от друга имеются отверстия или форсунки, через которые вода со скоростью 6 – 12 м/с разбрызгивается, орошая поверхность валков (обычно со стороны зазора). Далее вода собирается внизу и заполняет полость валка. Через внутреннее отверстие вода попадает в сливную воронку, затем в сборник и канализацию. Центровка трубы 3 обеспечивается втулкой 4 и заглушкой 1.

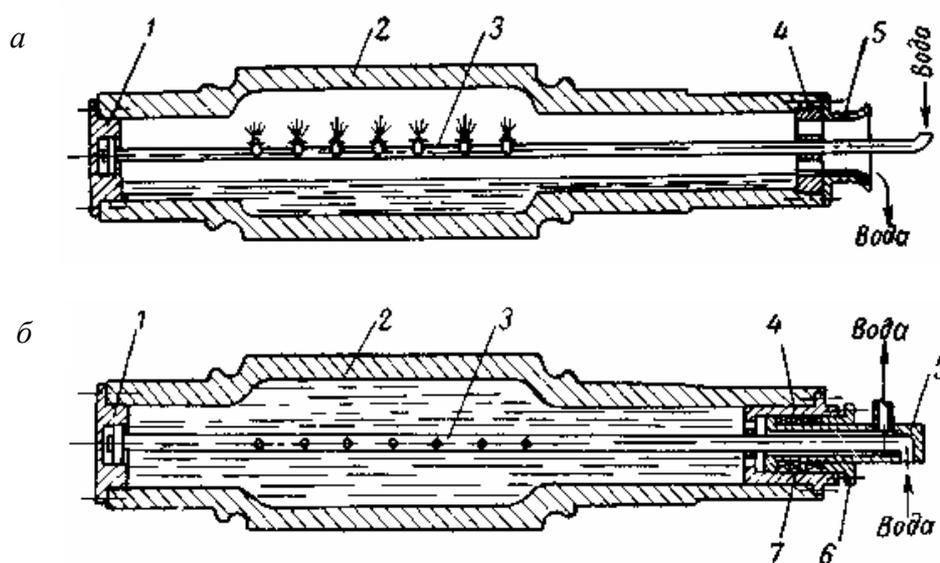


Рис. 4.8. Открытый (а) и закрытый (б) способы охлаждения валков:
 1 – заглушка; 2 – валок; 3 – труба с отверстиями; 4 – направляющая втулка;
 5 – распределитель; 6 – сальниковая втулка; 7 – сальник

Применение форсунок в случае загрязненной воды нецелесообразно, так как они быстро засоряются и уменьшают степень охлаждения валка по сравнению с обычным разбрызгиванием воды через отверстия. Благодаря простоте устройства и возможности интенсивного охлаждения валков этот способ получил очень широкое применение в резиновом производстве.

Закрытый способ (рис. 4.8, б) позволяет производить охлаждение валков водой или обогрев их паром. Охлаждающая вода поступает по трубе, полностью заполняет внутреннюю полость валка и отводится также по трубе. Отвод воды от внутренней поверхности валка осуществляется при меньшей, по сравнению с открытым способом, скорости. Это приводит к снижению скорости охлаждения валка. Сложность конструкции и малая интенсивность охлаждения валков затрудняют широкое использование такого способа. Он применяется лишь в тех случаях, когда необходимо не только охлаждать, но и обогревать валки.

Тема 5

ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРОВ ЭКСТРУЗИЕЙ

5.1. Общая характеристика процесса экструзии

Процесс *экструзии* полимеров – это процесс получения из исходного полимерного материала погонажного изделия путем непрерывного или периодического продавливания полимера через канал формирующего инструмента, поперечное сечение которого определяет профиль изделия (труба, лист, прутки и др.).

При экструзии термопластов исходное сырье используется в виде гранул, порошка или расплава, формообразование происходит в вязко-текучем состоянии, а фиксация формы выходящего изделия достигается охлаждением расплава ниже температуры стеклования или кристаллизации.

Преимущество экструзионного способа переработки пластмасс в том, что он обеспечивает непрерывность и стабильность процесса, точность размеров и высокое качество изделий, высокую производительность, экономичность, универсальность, легкость регулирования и автоматизацию процесса.

Для экструзии полимеров используются, как правило, шнековые (червячные) экструдеры. Шнековые экструдеры применяются также в пищевой промышленности, бумажных производствах. Для экструзии используются

машины самой разной конструкции (плунжерные, конические, дисковые, одно- и многошнековые), но наибольшее распространение для переработки полимеров получили одношнековые и двухшнековые экструдеры.

В экструдере полимер расплавляется за счет подводимого извне тепла и трения в материале и транспортируется шнеком к экструзионной головке, через которую и выдавливается в виде заготовки необходимого сечения.

Экструзией на одношнековых машинах могут быть переработаны практически все известные полимеры и их композиции. Предпочтительнее использование полимеров с повышенной вязкостью (большей молекулярной вязкостью), которые при выходе из формующей головки сохраняют ее форму.

Получаемые изделия очень разнообразны: листы, пленки, трубы, непрерывные профильные изделия, изоляция и оболочки для кабелей и т.д.

5.2. Классификация экструзионного оборудования

Производительность шнековых экструдеров может составлять от 1 до 20 000 кг/ч.

По количеству шнеков экструдеры могут быть одно- и многошнековые. Одношнековые применяются, как правило, для изготовления изделий, а многошнековые (обычно двухшнековые), отличающиеся повышенной гомогенизирующей способностью, – для получения полимерных композиций.

В зависимости от физического состояния загружаемого полимера экструдеры могут быть пластицирующими (сырье – твердый полимер) или перерабатывающими расплав.

По конструкции рабочего органа экструдеры могут быть шнековыми цилиндрическими, шнековыми коническими, дисковыми.

В зависимости от температурного режима процесса экструдеры могут быть универсальными или узкоспециализированными. В универсальных экструдерах плавление и нагрев полимера происходит за счет тепла, подводимого извне, и тепла, генерируемого при сдвиге в самом расплаве. В специальных автогенных экструдерах все необходимое количество тепла генерируется в расплаве деформируемого полимера (так можно перерабатывать, например, сополимер этилена с винилацетатом – вязкий резиноподобный материал). Часто для создания требуемого температурного режима применяется охлаждение червяка. Экструдеры для переработки резиновых смесей (шприц-машины) снабжаются устройствами для охлаждения, а не обогрева.

Для улучшения качества смешения и диспергирования ингредиентов, а также улучшения температурной однородности расплава компаундирующие экструдеры могут снабжаться дополнительными смесительными и диспергирующими элементами. Особыми конструктивными особенностями отличаются экструдеры с осциллирующим червяком, совершающим периодические колебательные движения в осевом направлении. Существует множество модификаций конструктивного оформления экструдеров. Так, экструдер может быть оснащен устройством для дегазации.

По конструкции и размерам шнека есть несколько параметров классификации. Диаметр шнека определяет производительность и направления использования машины (лабораторные, опытно-промышленные, промышленные) и изменяется в пределах от 16 до 500 мм. Отечественные экструдеры имеют размерный ряд 20, 25, 32, 45, 63, 90, 120...500. Кроме диаметра червяка важным параметром является отношение его длины L к диаметру D . Так, шнеки с отношением $L/D = 5 \div 15$ используются для переработки резиновых смесей, с $L/D = 15 \div 40$ – для переработки термопластов. При этом для различных термопластов, в зависимости от допустимого времени пребывания в машине (длительности температурного воздействия), рекомендуются шнеки различной длины: для непластифицированного ПВХ – $(15 \div 20) \cdot D$, для полиолефинов – $(20 \div 30) D$.

Полимеры неодинаково откликаются на сдвиговое воздействие, и шнеки могут быть транспортирующими (малая степень сжатия) и гомогенизирующими.

Загрузка экструдера может быть свободной или принудительной.

Экструдеры могут быть вертикального и горизонтального исполнения.

В большинстве случаев экструдеры входят в состав агрегатов для переработки полимеров (пленочные, трубные, листовальные и др.). В каждом конкретном случае к ним могут предъявляться специфические требования. Однако общим требованием является получение качественной продукции при минимальных затратах. Поэтому при расчете экструдеров большое внимание уделяется определению их производительности и потребляемой мощности в зависимости от параметров процесса переработки.

5.3. Основные конструктивные элементы одношнекового экструдера

На рис. 5.1 представлена принципиальная схема одношнекового экструдера.

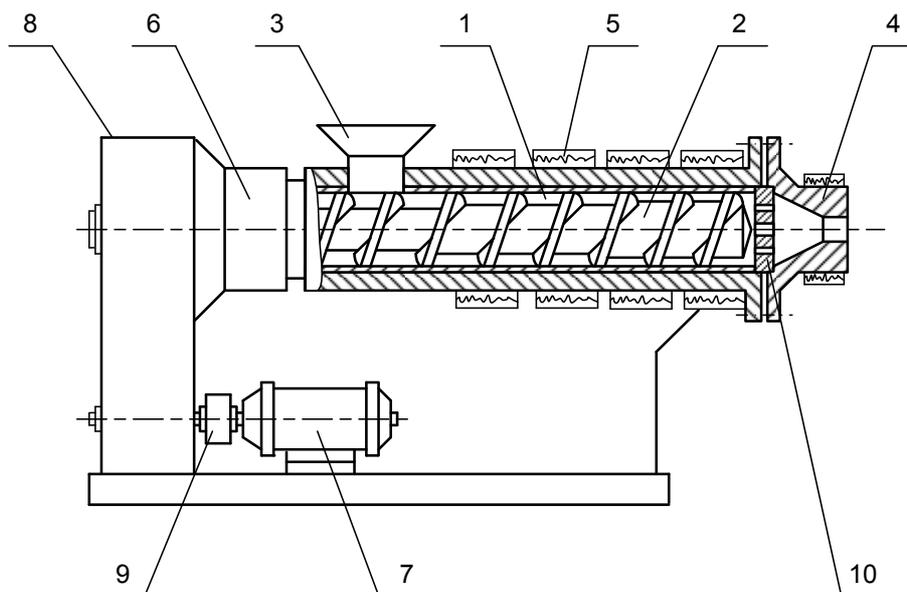


Рис. 5.1. Принципиальная схема одношнекового экструдера

Основным рабочим органом одношнекового экструдера является обогреваемый материалный цилиндр 1, внутри которого вращается червяк 2. Загрузка перерабатываемого материала производится через загрузочное устройство 3, конструктивное оформление которого определяется состоянием и формой частиц перерабатываемого материала; решетка 10 и экструзионная головка 4 устанавливаются на выходе из материалного цилиндра, обогреваемого при помощи нагревателей 5. Привод червяка, закрепленного в опорном узле 6, осуществляется от электродвигателя 7 через редуктор 8 и муфту 9.

В процессе переработки исходный материал из загрузочного устройства поступает в пространство между вращающимся червяком и материалным цилиндром и перемещается в осевом направлении в винтовом канале червяка, образованном внутренней поверхностью материалного цилиндра и нарезкой червяка. При движении материал уплотняется, расплавляется, происходят удаление воздуха и гомогенизация расплава, развивается давление, под действием которого подготовленный расплав продавливается через формующий инструмент.

В одночервячном экструдере в направлении движения материала могут быть выделены зоны: питания (загрузки), плавления (пластикации) и дозирования (выдавливания). В ряде случаев для экструдеров специального назначения могут быть выделены зоны дегазации, смешения, диспергирования и т.д.

5.4. Узлы экструдера

5.4.1. Привод

Как правило, для организации работы экструзионной установки необходима возможность изменения частоты вращения шнека в широких пределах без существенного изменения крутящего момента. У современных экструдеров скорость вращения шнеков может находиться в диапазоне от 10 до 800 об/мин.

В качестве приводов экструдеров возможны следующие варианты:

- асинхронный двигатель со ступенчатым редуктором;
- двигатель постоянного тока с редуктором (обычно цилиндрическим);
- гидравлический привод;
- двигатель переменного тока с вариатором (для небольших экструдеров);
- двигатель переменного тока с частотным преобразователем (для этого удобного и относительно дешевого варианта есть проблемы с частотными преобразователями высокой мощности).

5.4.2. Загрузочные устройства

Загрузочные устройства должны обеспечивать равномерную подачу материала в экструдер. Существуют различные варианты конструктивного оформления, отличающиеся способом ввода материала и производительностью.

Большое влияние на производительность зоны загрузки оказывает конфигурация загрузочного окна и его ориентация относительно оси червяка, которые определяют скорость заполнения гранулированным материалом межвиткового пространства в зоне загрузки. Наибольшая производительность достигается при загрузочном отверстии, расположенном под углом к оси экструдера, равным углу подъема винтовой линии.

Улучшение условий загрузки может быть обеспечено применением принудительной подачи материала в канал червяка с помощью вспомогательного червячного питателя или поршневого загрузочного устройства. В этом случае возможны проблемы из-за несогласованности работы запиточных устройств с работой зоны загрузки, так как в случае превышения производительности питателя над независимой производительностью зоны загрузки увеличивается плотность перерабатываемой массы и потребляемая мощность. Чрезмерное уплотнение массы может

приводить даже к образованию пробки и фактическому уменьшению производительности зоны загрузки.

Значительное увеличение производительности зоны загрузки достигается применением пазов переменной глубины под загрузочной воронкой и в зоне транспортировки нерасплавленных гранул, которые повышают трение материала о цилиндр и вызывают увеличение производительности. При этом материал перемещается, в основном, аксиально, отсутствует вращательная составляющая скорости (аналогия винт – гайка).

5.4.3. Цилиндры

Требования, предъявляемые к цилиндру экструдера, обуславливаются условиями его работы. Цилиндр должен выдерживать при повышенной температуре (до 350 °С) давление до 200 МПа, обеспечивать теплопередачу от нагревателей к массе полимера, противостоять коррозионному и абразивному действию полимера и добавок.

Описанные требования определяют изготовление цилиндра толстостенным. Часто в толстостенный корпус запрессовывают стальную упорочную и износостойкую (обычно азотированную) гильзу. В качестве материала гильзы обычно используются углеродистые стали или стали для азотирования. Однако при переработке некоторых полимеров, таких как поливинилхлорид, возможно выделение продуктов распада, вызывающих коррозию. В этих случаях необходимо использовать легированные коррозионностойкие стали. Внутренняя поверхность гильзы полируется.

Для двухшнековых и реже одношнековых экструдеров возможно изготовление наборных корпусов. Так, немецкая фирма «Вернер и Пфляйдерер» выпускает двухшнековые экструдеры, корпус которых собран из отдельных элементов с азотированными втулками.

5.4.4. Шнеки

В зависимости от типа экструдруемого материала и конструкции изделия изготавливаются однозаходные и многозаходные шнеки с постоянным и переменным шагом, постоянной и переменной глубиной канала. Для переработки термопластов применяются шнеки с постоянным шагом и переменной глубиной канала. Машины с такими шнеками более производительны, чем экструдеры со шнеками, имеющими переменный шаг. Кроме того, шнеки с постоянным шагом более просты в изготовлении.

От конструкции шнека зависит величина степени сжатия материала, т.е. отношение объемов винтовых каналов на участках одного шага в зонах

питания и выдавливания. Обычно эта величина находится в интервале от 1,5:1 до 5:1. Для переработки полиолефинов и полиамидов необходимы более высокие значения степени сжатия, а при производстве кабельных изделий и пленки, когда требуется повышенное давление экструзии, применяют более низкую степень сжатия.

Глубина винтового канала шнека, как и конструкция в целом, зависит от перерабатываемого материала и профилируемого изделия, а также от особенностей конкретного технологического процесса. Меньшая глубина канала рекомендуется для полиамидов и полиолефинов, а также при производстве труб, различных профилей, листов из термопластов. Глубокий канал следует применять при переработке поливинилхлорида и полистирола, а также при производстве гранул и кабельных изделий.

Большое значение для обеспечения качественной работы экструдера имеет размер кольцевого зазора между гребнем шнека и внутренней поверхностью цилиндра. При увеличенном зазоре повышается эффективность смешения материала, но уменьшается величина подачи материала, так как возрастает противоток (утечка) материала. Обычно применяют шнеки с постоянным диаметром при зазоре между шнеком и цилиндром $0,002 D$ (для больших) и $0,005 D$ (для малых) диаметров шнека. При переработке материалов с низкой вязкостью расплава (полиамиды, некоторые сорта полиэтилена) зазор должен быть минимальным (до 0,1 мм).

Важным эксплуатационным фактором является величина L/D . Следует отметить, что при увеличении длины шнека повышается интенсивность и продолжительность теплового воздействия на материал, скорость вращения шнека и производительность экструдера при одновременном увеличении потребляемой приводом мощности. Более короткие шнеки рекомендуются при изготовлении труб, выдувных изделий, непрерывных профилей, листов. Длинные шнеки следует применять в быстроходных экструзионных установках, предназначенных для производства пленок, волокон, гранул, покрытия бумаги и ткани пленкой, а также для дублирования пленок и наложения пластмассовой изоляции на провода и кабели. В большинстве случаев шнек имеет постоянный шаг, равный диаметру.

В конструкции шнеков различают три зоны: питания, сжатия, выдавливания. На рис. 5.2,а показан распространенный шнек, имеющий протяженную зону питания I с постоянной глубиной винтового канала длиной $13 D$; короткую зону сжатия II, длина которой составляет $(0,5 \div 1) D$ с переменной глубиной канала; зону выдавливания III длиной $10 D$ с постоянной глубиной нарезки. Такой шнек применяется, главным образом, для переработки полиолефинов.

В одночервячных экструдерах используются преимущественно одностадийные шнеки, у которых процесс пластикации и выдавливания материала осуществляется в одну стадию. Такие шнеки тоже могут иметь все три названные выше зоны или только две зоны (питания – сжатия и выдавливания), или одну совмещенную зону.

Двухстадийные специальные шнеки применяются обычно для дегазации и обезвоживания материала в процессе экструзии. Они имеют зоны декомпрессии и вакуумного отсоса в цилиндре (рис. 5.2, б), т.е. всего семь зон: питания I, сжатия II, дозирования III, декомпрессии IV – V, сжатия VI и выдавливания VII. Благодаря значительному увеличению объема винтовых каналов в зоне V отверстие для вакуумного отсоса в цилиндре экструдера не забивается материалом. Степень декомпрессии, т.е. отношение объемов винтовых каналов на участке одного шага в зоне декомпрессии и в зоне выдавливания, обычно, равна 3 – 5.

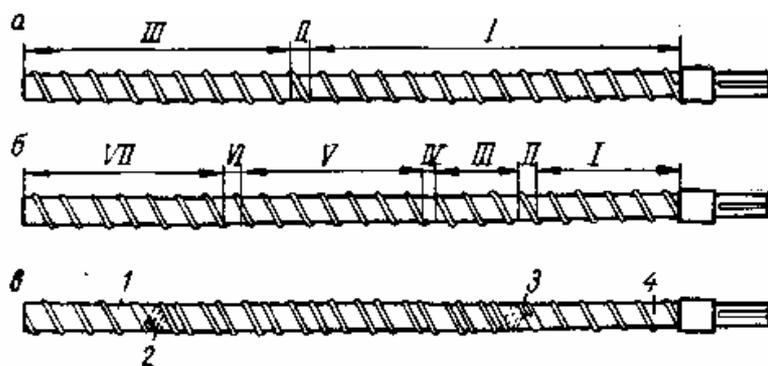


Рис. 5.2. Конструкции шнеков для переработки пластмасс:

а – шнек с короткой зоной сжатия и длинными зонами питания и выдавливания;
 б – двухстадийный шнек с зоной декомпрессии; в – специальный шнек с двумя винтовыми каналами;

1 – выходной канал; 2 – конец входного канала; 3 – начало выходного канала; 4 – входной канал; I – зона питания (загрузки);

II – зона сжатия; III – зона дозирования; IV, V – зона декомпрессии; VI – зона сжатия; VII – зона выдавливания

Как отмечалось выше, повышение производительности экструдеров может достигаться путем увеличения диаметра, длины и скорости вращения червяка. Одновременно с увеличением эффективной длины червяка обычно уменьшают глубину канала в зоне выдавливания. Охлаждение червяка позволяет усилить эффект этого конструктивного изменения, но переохлаждение приводит к снижению производительности экструдера и повышению удельной мощности привода. Вообще увеличение диаметра, длины и скорости вращения червяка вызывает значительное возрастание необходимой мощности привода.

Увеличение длины зоны выдавливания и уменьшение глубины каналов червяка способствует устранению или значительному уменьшению пульсации при подаче материала червяком.

Известно, что при экструзии материал необходимо полностью пластифицировать до поступления в зону выдавливания. Для эффективного повышения качества экструдата при высокой производительности должны быть обеспечены заданные температурные градиенты и изменение текучести материала по длине червяка и глубине винтового канала, а также однородность расплава. Обычно частицы термопласта, соприкасающиеся с поверхностью червяка или цилиндра, нагреваются сильнее, чем частицы, удаленные от этих поверхностей. Скорость сдвига и поглощаемая материалом энергия больше у стенок цилиндра, чем в удаленных местах. Термические и механические воздействия на материал изменяются в зависимости от его положения по длине червяка.

Шнеки могут иметь диаметр от 20 до 500 мм. Основные характеристики шнеков – это геометрия (профиль) поперечного сечения канала, длина нарезки, шаг, степень сжатия и число заходов нарезки. Шнеки изготавливаются из стали 38ХМЮА для азотирования или стали 4Х13 для работы в условиях коррозии.

Глубина винтового канала в зоне загрузки составляет $(0,12 \div 0,16)D$ у машин для переработки пластмасс и $(0,17 \div 0,25)D$ – для переработки резиновых смесей. Глубина канала в зоне дозирования определяется степенью сжатия червяка. Шаг нарезки обычно делают постоянным, а для обеспечения заданной степени сжатия уменьшают глубину витков в зоне дозирования. Толщина витка червяка составляет $(0,08 \div 0,12)D$ для переработки пластмасс и $(0,06 \div 0,08)D$ для переработки резиновых смесей; шаг винтовой линии – соответственно $(0,8 \div 1,2)D$ и $(0,4 \div 0,6)D$.

Длина функциональных зон экструдера может колебаться в значительных пределах в зависимости от свойств перерабатываемого материала и особенностей технологии переработки. В целом длина шнеков составляет $(5 \div 12)D$ для переработки резиновых смесей и $(15 \div 35)D$ для переработки пластмасс.

5.4.5. Узел упорного подшипника

Экструзия полимеров (высоковязких жидкостей) связана с необходимостью создания значительного давления расплава (до 30 МПа), для компенсации действия которого на шнек и привод необходимо особое внимание уделять узлу упорного подшипника.

Существуют различные схемы и конструкции узла упорного подшипника. Один из вариантов предусматривает использование упорного подшипника (подпятника) совместно с радиальными подшипниками.

Возможен вариант использования конических роликоподшипников, воспринимающих и радиальные, и осевые усилия. При значительных осевых нагрузках применяют подшипники с бочкообразными роликами.

Один из вариантов подшипникового узла одношнекового экструдера представлен на рис. 5.3.

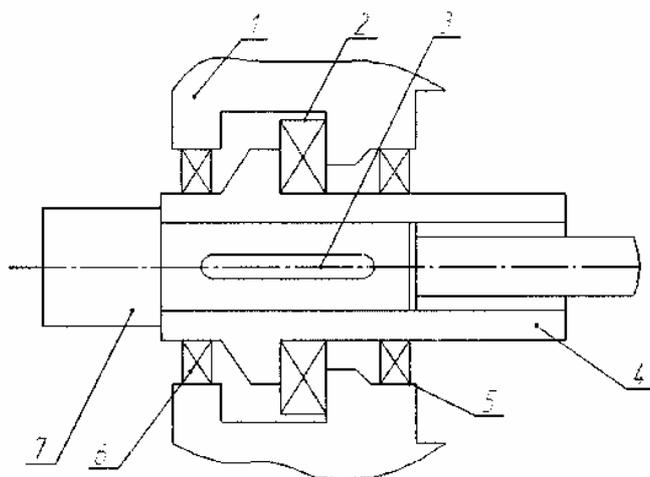


Рис. 5.3. Подшипниковый узел одношнекового экструдера:
1 – корпус; 2 – упорный подшипник; 3 – шпонка;
4 – приводная втулка; 5, 6 – опорные подшипники; 7 – шнек

5.4.6. Экструзионные головки

Назначение экструзионной головки – направление выходящего из цилиндра экструдера гомогенизированного расплава полимера к выходному формующему каналу.

В зависимости от сопротивления и развиваемого давления различают экструзионные головки низкого (до 40 кгс/см²), среднего (от 40 до 100 кгс/см²) и высокого давления (свыше 100 кгс/см²).

По виду получаемых изделий головки делят на головки для получения листов и плоских пленок, получения труб и рукавных заготовок (в производстве рукавных пленок и выдувных объемных изделий), изготовления профильных изделий из полимерных материалов, для нанесения покрытий на кабели.

В зависимости от направления движения экструдированного материала головки классифицируют на прямоточные и угловые. В прямоточных головках направление потока расплава полимера совпадает с осью червяка,

их применяют для грануляции материала, в производстве труб, шлангов, листов и других профильных изделий. В угловых (поперечных) головках масса течет обычно перпендикулярно оси червяка. Такие головки используются при нанесении изоляции на провода, получении рукавных пленок, объемных изделий. Иногда угол поворота потока массы в головке может быть и не равен прямому. Такие головки чаще всего применяют в кабельном производстве.

Для получения листовых заготовок из термопластичных материалов используют плоскощелевые головки различных конструкций (рис. 5.4). По способу подвода расплава к щелевому каналу их можно разделить на два типа: головки, в которых расплав полимера, выходящий из цилиндра экструдера, непосредственно растекается по щелевому каналу, и головки с распределительным коллектором, в которых расплав подводится к щелевому каналу через специальный канал-коллектор.

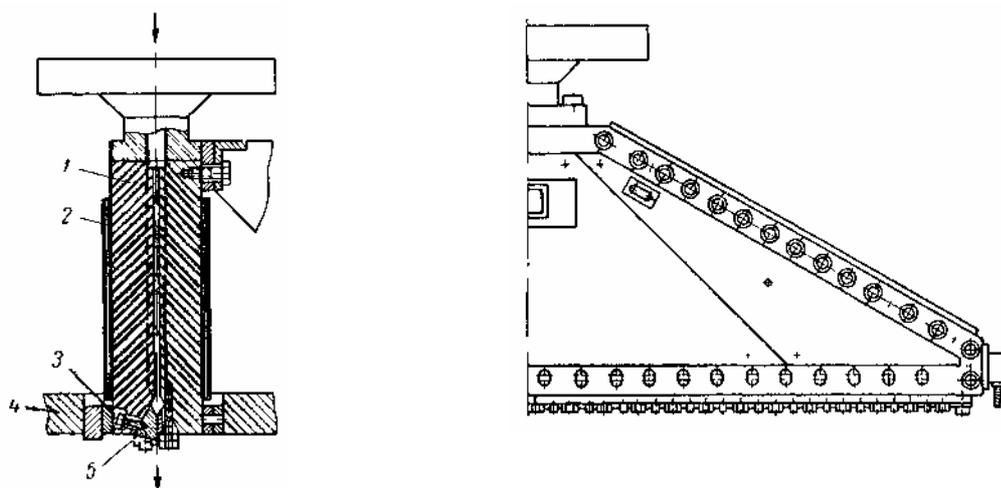


Рис. 5.4. Плоскощелевая головка:

1 – корпус; 2 – нагреватель; 3 – клин; 4 – ядро; 5 – подвижная губка

Основная трудность при конструировании плоскощелевых головок заключается в сложности обеспечения равномерного потока расплава полимера по всему фронту щелевого канала.

Головки для получения труб и рукавных заготовок в зависимости от назначения технологического процесса выполняют прямоточными и угловыми. Эти головки характеризуются наличием дорна, формирующего внутреннюю полость изделия (заготовки).

На рис. 5.5 показана прямоточная головка для получения труб.

Дорн 6 крепится к корпусу 1 головки через наконечник дорна 4 с помощью дорнодержателя 5. Формующий кольцевой канал образован

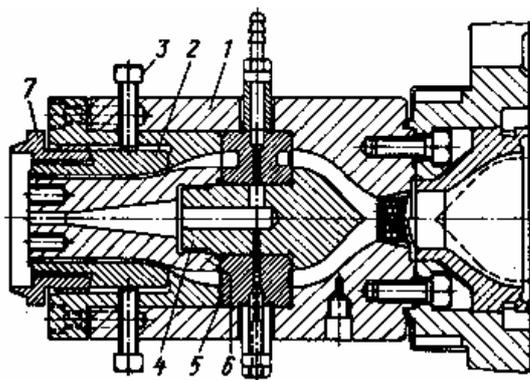


Рис. 5.5. Прямоточная экструзионная головка для получения труб

мундштуком 2 и дорном 6, который крепится в корпусе головки с помощью гайки 7. Концентричность зазора устанавливается болтами 3. Дорнодержатель 5 рассекает общий поток расплава на несколько отдельных потоков, которые, соединяясь вновь, образуют продольные швы на изделиях. Эти швы неизбежно снижают в той или иной степени прочность трубы,

а иногда даже делаются заметными на поверхности изделия (линии спая). Поэтому конструкции дорнодержателя прямоточных головок уделяют особое внимание.

Для устранения швов часто применяют метод подпрессовки, заключающийся в предварительном сужении и последующем расширении потока расплава после дорнодержателя. Этот метод испытан на резиновых смесях и основан на том, что резкие изменения поперечного сечения разделенного дорнодержателем потока массы устраняют образующиеся швы. При этом сечение потока регулируют изменением ширины и диаметра кольцевого зазора. В ряде случаев для устранения швов на изделии ограничиваются плавным уменьшением поперечного сечения потока между дорнодержателем и входом в мундштук примерно в соотношении от 5:1 до 6:1. В некоторых головках между дорнодержателем и входом в мундштук предусматривают симметричный кольцевой канал для создания подпора массы.

В угловых головках поток расплава полимера должен быть повернут относительно оси червяка, причем в конце поворота поток должен вновь стать круговым, полностью симметричным по отношению к новой оси. Такое расположение мундштука часто определяется общей компоновкой экструзионного агрегата. При этом давление, скорость течения, температура и вязкость материала после поворота, т.е. перед выходной щелью формующего инструмента, не должны претерпевать изменений.

На рис. 5.6 показана одноручьевая угловая экструзионная головка для получения рукавной заготовки.

Как и в прямоточной головке, дорн 1 закреплен в корпусе 2 головки дорнодержателем 3 и наконечником 4. Равномерность выдачи заготовки по

периметру кольцевого зазора обеспечивается смещением мундштука 5 установочными болтами 6. При этом толщину зазора по наружной дуге поворота устанавливают максимальной, а по мере приближения к внутренней дуге уменьшают.

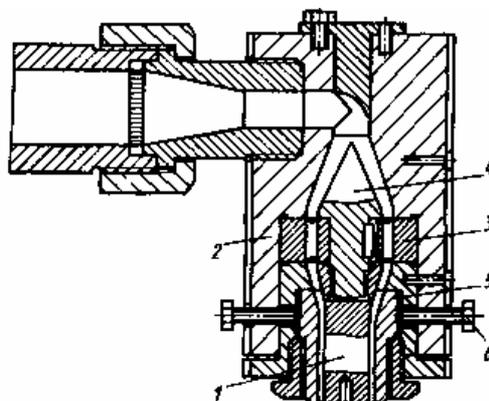


Рис. 5.6. Угловая экструзионная головка для получения рукавных заготовок

Недостатки этой головки – образование линий спая на заготовке и невозможность полного выравнивания линейной скорости экструзии.

Несколько отличаются по конструктивному оформлению головки для получения тонкостенных заготовок с последующим раздувом в рукавные пленки. Диаметр кольцевого зазора таких головок не превышает 2 000 мм. Толщину формирующего зазора обычно выбирают в пределах 0,35 – 1,00 мм (в зависимости от конечной толщины пленки и степени раздува). К подобным головкам предъявляют более жесткие требования по температурному режиму, равномерности экструзии и толщине кольцевого зазора. Выравнивание линейной скорости экструзии затрудняется значительными размерами кольцевых сечений.

На рис. 5.7 приведена типовая конструкция угловой экструзионной головки для получения рукавных пленок.

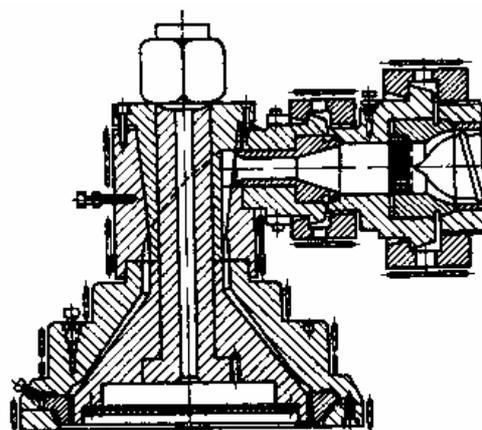


Рис. 5.7. Угловая экструзионная головка для получения рукавных пленок

Для выравнивания скорости экструзии и устранения линии спая от наконечника дорна, рассекающего поток полимера, применены подпорные зоны и коллекторный кольцевой канал.

Для выравнивания линейной скорости экструзии по периметру формирующего зазора иногда применяют вращающийся мундштук. Наряду с выравниванием линейной скорости применение вращающегося мундштука позволяет поддерживать постоянный температурный режим по периметру кольцевого зазора. Пленки, полученные на таких головках, отличаются равнотолщинностью.

5.5. Материалы, используемые для изготовления деталей экструдера

Учитывая жесткие условия работы деталей червячных прессов, к материалам для их изготовления предъявляют высокие требования. При выборе материалов и вида термообработки необходимо учитывать ряд требований к этим материалам: долговечность, износостойкость при работе в абразивных и высокоагрессивных средах при высокой температуре, химическая стойкость при этих условиях, отсутствие каталитического воздействия на процесс термодеструкции перерабатываемого термопласта, технологичность при механической обработке и возможность термической и химико-термической обработки, обеспечивающих требуемые геометрические параметры и точность размеров деталей. Эти требования распространяются, прежде всего, на материалы рабочих органов пресса: червяка, гильзы, корпуса и формующих головок, контактирующих с полимером. Материалы для остальных деталей пресса выбирают, исходя из требований обеспечения ресурса работы пресса до первого капитального ремонта не менее 26 000 ч.

Требования к материалу деталей червячных прессов зависят от вида перерабатываемого термопласта. Однако, исходя из целесообразности создания универсальных прессов для переработки различных термопластов, унификации их конструкций и технологии изготовления с учетом практического опыта эксплуатации, экструдеры по применяемым материалам деталей подразделяют на две группы: прессы, предназначенные для переработки полиолефинов, полистиролов и их сополимеров, поливинилхлоридных композиций, полиамидов, полиэфиров, полиметалметакрилата, полкарбоната и полиформальдегида, и прессы, предназначенные для переработки фторсодержащих полимеров. В соответствии с этим расчетный диапазон рабочих температур для первой группы червячных прессов принимают до 350 °С, второй – до 550 °С.

Материалы важнейших деталей червячных прессов первой группы приведены в табл. 5.1. Для экструдеров второй группы детали основных рабочих органов изготавливают из специальных сплавов, требующих особой технологии обработки.

Таблица 5.1

Материалы деталей червячных прессов первой группы

Деталь	Материал детали
Червяк	Сталь 40ХН2МА
Гильза	Сталь 38Х2МЮА
Корпус одночервячных прессов	Сталь 45
Корпус двухчервячных прессов	Сталь 38Х2МЮА
Вал-шестерни двухчервячных прессов	Сталь 38Х2МЮА
Быстроходная пара шестерен редуктора	Сталь 40ХН2МА
Корпус упорного подшипника	Сталь 45
Детали формующих головок	Сталь 40Х; 45; 40ХН2МА

Выбор марок сталей для гильз и червяков основан на выполнении ряда взаимосвязанных требований. Так, стали 40ХН2МА и 38Х2МЮА обладают высокой механической прочностью и подвергаются азотированию. При этом материал гильзы (сталь 38Х2МЮА) всегда имеет более высокую твердость, чем сталь 40ХН2МА, благодаря чему предотвращаются заклинивание червяка в гильзе при работе и попадание металлической стружки в расплав полимера. Обе марки стали хорошо обрабатываются на металлорежущем оборудовании.

При азотировании червяков и гильз, которые изготавливают по второму или третьему классу точности, можно выдержать строгую прямолинейность оси и обеспечить высокую твердость поверхностей. Эти требования невыполнимы при объемной или высокочастотной закалке, а также газопламенной термообработке.

Так как температура отпуска обеих марок сталей 620 °С, азотирование ведут при температуре 580 °С, т.е. ниже температуры рекристаллизации, то термическая деформация червяков и гильз практически отсутствует или имеет допустимые значения.

5.6. Двухшнековый экструдер

В двухшнековых экструдерах зона загрузки имеет большую емкость, чем зона сжатия. Это позволяет перерабатывать тонкодисперсные порошкообразные термопласты и обеспечивает хорошее заполнение цилиндра материалом. Давление в зоне загрузки возрастает быстрее, чем у

одношнекового экструдера. Вследствие перемешивания во всех трех направлениях в экструдере происходят интенсивные процессы теплообмена, перемещения материала и выделения летучих веществ. Последнее обстоятельство приводит к необходимости устанавливать на машинах по несколько вакуумных зон. Материал пластицируется при пониженном давлении без местного повышения температуры, которое наблюдается в одношнековых экструдерах.

Шнеки располагают параллельно в одной рабочей камере вращающимися либо навстречу друг другу, либо в одном и том же направлении. Схема взаимного расположения шнеков приведена на рис. 5.8.

Из этой схемы следует, что при вращении навстречу друг другу два шнека работают подобно вальцам, перетирая материал в зазоре между шнеками, но, кроме того, подавая материал вдоль шнеков. Сдвиг и перетирание имеют место также и в зазоре между шнеком и корпусом. Если шнеки работают в полном зацеплении, то винтовой канал одного перекрыт гребнями другого, и противоток расплава сводится к минимуму. Величина противотока зависит от расстояния между шнеками. Такие экструдеры обеспечивают в целом хороший смесительный эффект при умеренно интенсивном воздействии на перерабатываемый материал и применяются, в основном, для переработки ПВХ и композиций на его основе.

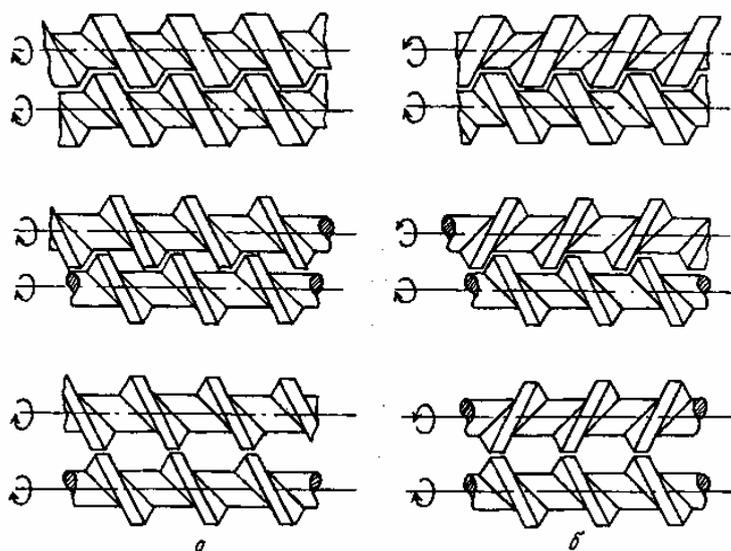


Рис. 5.8. Возможные схемы расположения шнеков в двухшнековых экструдерах:

a – однонаправленное вращение; *б* – противоположное вращение (сверху вниз): полное зацепление шнеков, частичное зацепление и незацепляющиеся шнеки

Если шнеки вращаются в одном направлении, то при их максимальном сближении возникают огромные сдвиговые деформации. Такие экструдеры применяются для получения смесей полимеров и введения наполнителей, пигментов, стабилизаторов. Ингредиенты вводятся через отверстия на разном расстоянии от загрузочной воронки, поэтому вначале рабочая камера загружена не полностью. Тем не менее, в зазоре между шнеками обеспечивается весьма эффективное перетирание смеси, чему способствует транспорт расплава с одного шнека на другой и достигаемая при этом переориентация слоев смешиваемых компонентов.

Гомогенизирующая способность двухшнековых экструдеров в целом выше, чем одношнековых. Производительность их может быть чрезвычайно высокой – до 25 т/ч и более.

При работе двухшнекового экструдера возникают большие осевые усилия, которые должны восприниматься упорными подшипниками. Обычно на валу каждого шнека устанавливают по несколько упорных подшипников и комплектов тарельчатых пружин. При этом основная часть осевого усилия последовательно распределяется через пакеты тарельчатых пружин (в результате их сжатия) на другие упорные подшипники.

5.7. Анализ работы зон экструдера

При анализе работы зон одношнековых экструдеров необходимо рассмотреть вопросы, связанные с конструктивным исполнением этих зон, их производительностью и развиваемым давлением.

В зоне загрузки происходит уплотнение перерабатываемого материала и его перемещение в направлении зоны плавления. Надежность работы зоны загрузки определяется степенью заполнения канала червяка, а также характером движения материала. Очевидно, что оба фактора зависят от свойств перерабатываемого материала и конструктивного исполнения зоны загрузки и загрузочного отверстия. Для лучшего захвата материала червяком последний должен иметь коэффициент трения меньший, чем материальный цилиндр. Глубина канала выбирается максимально возможной, исходя из условий прочности червяка. В зависимости от коэффициента трения перерабатываемого полимера существует оптимальный угол подъема винтовой линии нарезки червяка в зоне загрузки. Однако на практике это учитывается редко, и червяк выполняют с шагом, равным диаметру по всей длине, что упрощает технологию изготовления червяка. Для повышения производительности зоны загрузки может использоваться устройство для принудительной запитки экструдера. Повышенную произво-

длительность (до двух раз) по сравнению с экструдерами горизонтального исполнения имеют экструдеры вертикального исполнения. Это объясняется лучшими условиями заполнения канала червяка.

Увеличение производительности зоны загрузки может быть достигнуто повышением коэффициента трения пробки о внутреннюю поверхность цилиндра и уменьшением коэффициента трения материала о шнек. Это может быть получено как подбором температурного режима переработки (с учетом зависимости коэффициента трения от температуры), так и рядом конструктивных приемов: высокая чистота поверхности червяка, наличие продольных пазов на внутренней поверхности материального цилиндра, выбор угла подъема винтовой линии в зоне загрузки и др.

В зоне плавления происходит расплавление полимера, его уплотнение и удаление воздушных включений. Для эффективного проведения указанных процессов канал червяка в зоне плавления выполняется с постепенно уменьшающимся объемом, что достигается в большинстве случаев уменьшением глубины канала, шага винтовой линии или обоих параметров.

В зоне дозирования происходит гомогенизация расплава и развивается давление, под действием которого расплав продавливается через формующий инструмент.

Для организации работы одношнекового экструдера необходимо правильное соотношение между независимыми объемными производительностями зоны загрузки Q_z , плавления Q_n и дозирования Q_d (это такие производительности, с которыми могли бы протекать процессы транспортировки материала, если бы они происходили независимо друг от друга). В случае, когда $Q_z < Q_d$ и $Q_n < Q_d$, экструдер работает в режиме «голодного питания» и его возможности не используются. В случае $Q_z > Q_n > Q_d$ наблюдается стабильность процесса экструзии и высокое качество экструдата. Однако, если $Q_z \gg Q_n \gg Q_d$, зона дозирования оказывается перегруженной, что приводит к колебанию производительности и ухудшению качества экструдата. Следовательно, согласованность работы отдельных зон экструдера очень важна, поэтому целесообразно более подробно рассмотреть процессы, происходящие в каждой из указанных зон.

Картина движения расплава в зоне дозирования довольно сложна вследствие специфических свойств расплава, неньютоновского характера его течения, сложных условий теплообмена с окружающей средой, сложной геометрии канала, в котором происходит течение, из-за утечек через зазоры между червяком и цилиндром.

Первая составляющая производительности представляет собой прямой поток Q_p , вторая – поток утечек в канале червяка под действием давления в формирующем инструменте Q_y . Отношение этих потоков характеризует степень «дресселирования» расплава в канале червяка и широко используется для анализа профиля скоростей потока. При отсутствии давления в головке $P = 0$ для экструдера, работающего в режиме свободного выхода, и $P = 1$ для режима закрытого выхода. Градиент давления в направлении оси канала определяется сопротивлением формирующего инструмента и может быть найден при рассмотрении условий совместной работы экструдера и формирующего инструмента, заключающегося в равенстве их производительности.

Наряду с вынужденным потоком и противотоком в канале червяка в зазоре между гребнем нарезки червяка и внутренней поверхностью материального цилиндра наблюдается так называемый поток утечек, приводящий к уменьшению производительности экструдера.

Производительность экструдера с учетом рассмотренных потоков определяется как

$$Q = \alpha \cdot n - \beta \cdot \left(\frac{\Delta P}{\mu} \right) - \gamma \cdot \left(\frac{\Delta P}{\mu} \right).$$

Не учитывая толщины гребня и подставляя $t = \pi \cdot D \cdot \operatorname{tg} \varphi$, имеем для однозаходного червяка

$$Q = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n \cdot h \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi}{2} - \frac{\pi \cdot D \cdot h^3 \cdot \sin^2 \varphi}{12 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{dp}{dl} \right).$$

При винтовом канале червяка с постоянными размерами и при постоянной вязкости градиент давления p по длине канала l не изменяется. Следовательно

$$\frac{dp}{dl} = \frac{\Delta p}{\Delta l} = \frac{\Delta P}{L},$$

где ΔP – давление в профилирующей головке;

L – длина нарезной части червяка;

$\gamma = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3 \cdot \operatorname{tg} \varphi}{10 \cdot e \cdot L}$ – константа потока утечек (можно пренебречь).

Окончательно получим:

$$Q = \alpha \cdot n - \beta \cdot \frac{\Delta p}{\mu},$$

где α и β – константы прямого и обратного потоков, зависящие только от размеров червяка,

$$\alpha = \frac{\pi \cdot m \cdot D \cdot h \cdot \left(\frac{t}{m} - e\right) \cdot \cos^2 \varphi}{2},$$

$$\beta = \frac{m \cdot h^3 \cdot \left(\frac{t}{m} - e\right) \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi}{12 \cdot L}.$$

Работа червячного экструдера зависит не только от червяка, но и от экструзионной головки. Объемная скорость потока Q ньютоновских жидкостей через головку:

$$Q = K \cdot \left(\frac{\Delta P}{\mu}\right),$$

где K – общий коэффициент (или константа геометрической формы головки), зависящий от конфигурации и размеров отдельных элементов головки.

При определении константы K головку условно разделяют на ряд участков различной конфигурации и для каждого участка определяют константу k_i .

Например, для цилиндрического канала

$$k_1 = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot L_k},$$

где d – диаметр канала;

L_k – длина канала.

Общую константу головки определяют как сумму сопротивлений отдельных участков

$$K = \frac{1}{\sum \frac{1}{k_1} + \sum \frac{1}{k_2} + \dots + \sum \frac{1}{k_i}}.$$

Таким образом, производительность экструдера зависит от параметров червяка и головки.

На рис. 5.9 представлен график зависимости объемной производительности экструзии Q от давления ΔP в головке для двух червяков 3 и

4 с мелким и глубоким винтовыми каналами. Кривые 1 и 2 характеризуют экструзионные головки с большим и малым сечениями.

Для головки с большим сечением профилирующей щели точка A_1 определяет режим работы червяка с мелким каналом, а точка B_1 – червяка с глубоким каналом. Червяк с глубоким каналом обеспечивает более высокую производительность, поскольку сопротивление головки невелико.

Для головки с малым сечением профилирующей щели, отличающейся высоким сопротивлением, точки C_1 и D_1 определяют соответственно режимы работы червяков с мелким и глубоким каналами.

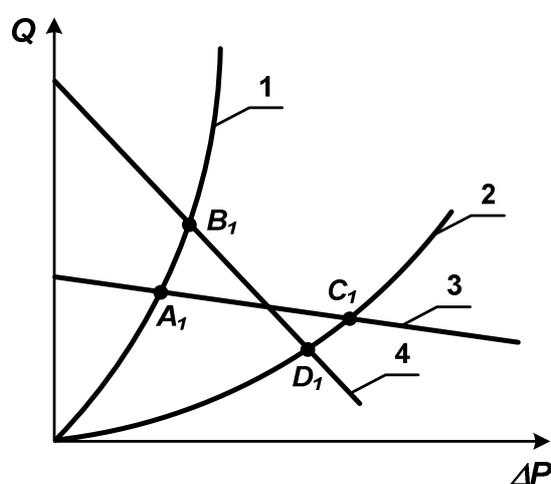


Рис. 5.9. График зависимости объемной производительности экструзии Q от давления в профилирующей головке ΔP

Производительность червяка с глубоким каналом резко уменьшается вследствие увеличения обратного потока. Червяк с мелким каналом создает более высокое давление и препятствует увеличению обратного потока. Таким образом, каждой головке соответствует червяк определенной геометрической формы, который обеспечивает максимальную производительность экструдера.

Производительность экструдера выражается количеством выдавливаемого материала (кг/ч) и при переработке разных термопластов неодинакова. Производительность переработки ПЭВД на 20 %, а ПЭНД на 40 % меньше, чем производительность переработки пластиката ПВХ. Производительность переработки винипласта более чем в два раза меньше, чем пластиката ПВХ. Повышения производительности экструдера можно достигнуть увеличением частоты вращения червяка (до 120 об/мин), увеличением глубины нарезки и угла ее наклона, уменьшением радиального зазо-

ра между цилиндром и червяком. Из сказанного видно, что производительность изменяется в зависимости от конкретных условий работы машины, вида материала, диаметра червяка, конструкции экструзионной головки. Особенно важно знать производительность в конкретных условиях при комплектовании специализированной установки, рассчитанной на длительную эксплуатацию. В этих случаях прибегают к математическому определению производительности дозирующей зоны экструдера.

5.8. Терморегуляция экструдера

Система обогрева современного экструдера должна обеспечивать подвод количества тепла, соответствующего производительности экструдера и поддержание температуры расплава полимера с точностью $1 - 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Последнее требование важно не только для термочувствительных полимеров, перегрев которых может привести к деструкции полимера, но и для большинства термопластов, переработку которых с позиций энергосбережения целесообразно вести при повышенных температурах, то есть вблизи температуры деструкции. Точность соблюдения границ температурного диапазона переработки обеспечивается совместной работой систем обогрева и охлаждения.

Наибольшее распространение в настоящее время получил электрический обогрев цилиндра экструдера, хотя в некоторых случаях применяются жидкостный (обычно масляный) и паровой способы обогрева. При организации электрического обогрева электронагреватели сопротивления или индукционные нагреватели крепятся на цилиндре и головке экструдера. Электрический обогрев предусматривает возможность релейного (включено – выключено) или пропорционального регулирования температуры. При пропорциональном регулировании подаваемая на нагреватель мощность пропорциональна разнице между заданной и фактической температурой цилиндра, что снижает инерционность системы, обеспечивает точность поддержания температуры. Регулирование обычно осуществляется с использованием первичных приборов (термопар, термометров сопротивления) и вторичных приборов, осуществляющих управление силовыми электрическими цепями. Обогрев экструдера, как правило, включает несколько тепловых зон, при этом температура возрастает от загрузочной воронки к экструзионной головке.

Жидкостное регулирование нагрева более инерционно и менее точно, чем электрическое, требует дополнительной установки насоса, фильтров, электронагревателей, арматуры. Преимуществом жидкостного обог-

рева является возможность использования магистралей как для нагрева, так и для охлаждения экструдера. При электрическом обогреве система охлаждения достаточно сложна и может быть выполнена в виде трубок, навитых на корпус цилиндра, сообщающихся каналов в цилиндре или специальных охлаждающих вентиляторов (индивидуальных на каждую зону или общего с коллектором). Для обеспечения оптимальных технологических параметров процесса в некоторых случаях охлаждается шнек.

При расчете мощности, потребляемой экструдером, возможны несколько подходов.

Так, мощность может быть рассчитана по затратам энергии на расплавление гранул, нагрев расплава до заданной температуры и продавливание расплава с заданной производительностью Q при противодействии в формующем инструменте.

Для широкого круга полимеров и условий их переработки удельная мощность экструзии лежит в пределах 0,47 – 0,86 МДж/кг.

Затрачиваемая мощность может быть рассчитана на основании имеющихся моделей поведения материала в процессе его переработки в виде суммы мощностей, потребляемых в зоне загрузки, плавления и дозирования, а также в других специфических зонах, если они имеются (дегазации, смешения и т.п.).

Мощность, необходимая для привода червяка, складывается из мощностей, рассеиваемой в пределах зоны дозирования, мощности, рассеиваемой в пределах зоны плавления и зоны питания и рассеиваемой в головке. Наибольший интерес представляет определение мощности, рассеиваемой в пределах зон дозирования и плавления, поскольку именно здесь расходуется основная мощность привода.

В большинстве случаев вязкость изменяется по длине червяка, однако построить кривую изменения вязкости очень трудно. Поэтому на практике уравнения объемной производительности и мощности определяют в зависимости от средней вязкости μ_{cp} :

$$\mu_{cp} = \frac{\int_0^L \mu \cdot dl}{L}.$$

Формула мощности в зависимости от средней вязкости:

$$N = \left(\frac{\pi^3 \cdot D^3 \cdot n^2}{h} \right) \cdot L \cdot \mu_{cp} + \frac{Q_n \cdot \Delta P}{\cos^2 \varphi} + \left(\frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n^2 \cdot e}{\delta \cdot \operatorname{tg} \varphi} \right) \cdot L \cdot \mu_{cp}.$$

Необходимая для привода червяка мощность N (в кВт) может быть также определена из энергетического баланса экструдера:

$$N = 32 \cdot 10^{-5} \cdot Q \cdot c \cdot (T_p - T_o),$$

где Q – производительность экструдера, кг/ч;

c – теплоемкость материала, Дж/(кг·град);

T_p – температура расплава, °С;

T_o – температура загружаемого материала, °С.

В современных скоростных экструдерах наружный обогрев используется, главным образом, для разогрева материала перед пуском экструдера в работу и для компенсации тепловых потерь в окружающую среду. Однако, если скорость вращения червяка ниже уровня экономически целесообразной скорости вращения, то в тепловом балансе экструдера необходимо учитывать и наружный обогрев.

Тема 6 ЭКСТРУЗИОННЫЕ ЛИНИИ

Для изготовления изделий методом экструзии недостаточно только одного экструдера. В состав экструзионного агрегата обычно входит несколько машин, обеспечивающих реализацию процесса. Конкретный состав оборудования определяется способом экструзии и типом изготавливаемого изделия. Наиболее распространенными и востребованными являются экструзионные линии для грануляции, производства труб, профилей, пленок раздувом, листов, кабельной изоляции.

6.1. Экструзионные линии для гранулирования полимеров

Задача гранулирования полимеров ставится при получении полимеров в удобной товарной форме на заводах органического синтеза и изготовлении полимерных композиций. Форма гранул может быть кубической, цилиндрической или сферической. Гранулированная форма товарных полимеров удобна и безопасна при переработке любым известным способом (литьем, экструзией, раздувом). Наиболее удобный для дальнейшего использования и попавший в нормативную документацию размер гранул от 3 до 5 мм. Первичная грануляция получаемых полимеров необходима еще и потому, что известные методы синтеза обеспечивают получение полимера

в непригодной для дальнейшего использования форме – расплаве или в порошкообразном виде. Линии первичной грануляции обычно имеют достаточно высокую производительность (до 10 т/ч).

Наибольшее распространение получили установки водокольцевой, подводной и стренговой грануляции. Схема установки стренговой грануляции приведена на рис. 6.1.

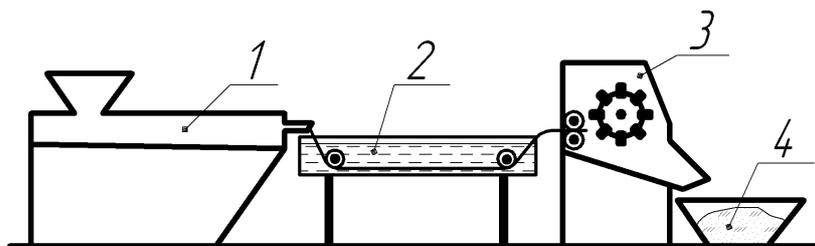


Рис. 6.1. Установка стренговой грануляции:

1 – экструдер; 2 – водяная ванна; 3 – гранулятор; 4 – приемный бункер

При реализации процесса стренговой грануляции расплав полимера из экструдера выдавливается через фильеру с круглыми отверстиями в виде прутков (стренг) в водяную ванну охлаждения 2. Охлажденные в ванне стренги поступают в гранулятор 3, где режущим устройством (фрезой) разрезаются на гранулы, ссыпаящиеся в приемный бункер, откуда пневмотранспортом или самотеком подаются на узел фасовки.

6.2. Экструзионные установки для производства труб и профилей

В настоящее время технологии экструзии труб и профилей очень востребованы и получили новый толчок в развитии в связи с тенденцией замены традиционных конструкционных материалов в строительной индустрии на полимерные. Так, долговечность и стойкость полимерных материалов к коррозионному воздействию и низкое гидравлическое сопротивление внутренней поверхности (на которой не фиксируются отложения) обеспечили им безусловное лидерство в качестве материала для напорных и безнапорных водопроводов и даже газопроводов. Экструзией из пластмасс производят трубы диаметром до 600 мм. Современные строительные технологии прямо сориентированы на применение поливинилхлоридных, полипропиленовых и полиэтиленовых труб для водоснабжения и канализации.

Экструзионные оконные профили из поливинилхлорида за последние 30 лет практически вытеснили из строительной отрасли деревянные оконные блоки в Европе и сильно потеснили – в странах СНГ.

Обычная экструзионная установка для изготовления труб, стержней, шлангов и других профилированных изделий (рис. 6.2) состоит из червячного экструдера 1 с кольцевой аксиальной головкой 2 и калибрующей насадкой 3, устройств 4, 5, 7 и 8 соответственно для охлаждения, вытяжки, разрезания трубы 6 на участки необходимой длины и штабелирования.

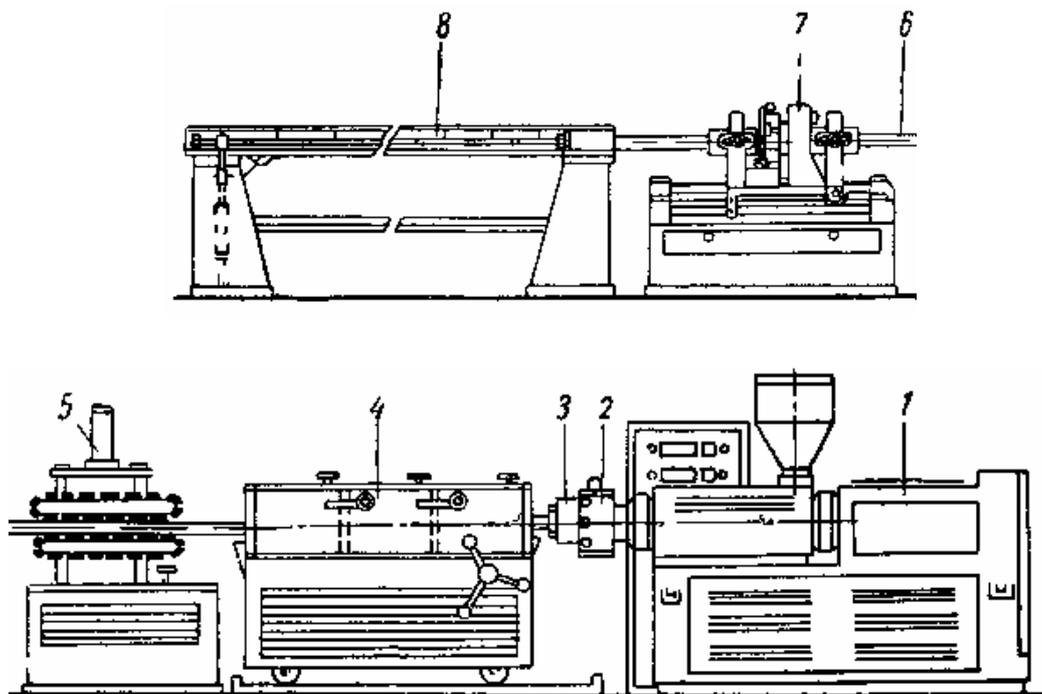


Рис. 6.2. Общий вид экструзионной установки для производства труб:
1 – экструдер; 2 – головка; 3 – калибрующая насадка; 4 – охлаждающее устройство;
5 – тянущее устройство; 6 – труба; 7 – режущее устройство; 8 – штабелер

Обычно указанную насадку применяют для калибрования трубы по наружному диаметру. Прикрепляется она непосредственно к экструзионной головке или устанавливается рядом с охлаждающим устройством. Экструдированная труба прижимается к полированной поверхности насадки сжатым воздухом, нагнетаемым в полость трубы через канал в дорне головки. Для герметизации трубы в ней устанавливают скользящую пробку, которая соединяется с дорном головки или пережимает свободный конец трубы. Калибруемая труба охлаждается водой, проходящей через рубашку насадки, ванну, и транспортируется тянущими роликами.

В некоторых случаях калибрование трубы осуществляется под действием вакуума при соединении полости калибрующей насадки с вакуумной линией. В этом случае необходимость герметизации трубы отпадает.

Вакуумный калибр (рис. 6.3) можно описать как перфорированный участок трубы с рубашкой, в которой создается разрежение и одновременно подается охлаждающая среда. Существуют и более простые конструкции для калибрования труб по наружному диаметру – калибрующие втулки, однако в настоящее время их применение ограничено.

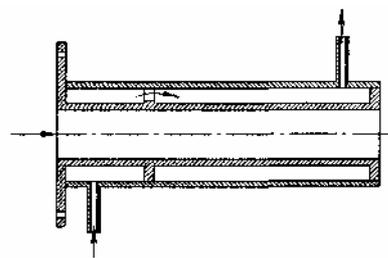


Рис. 6.3. Вакуумный калибр для калибровки труб по наружному диаметру

Важным элементом любого экструзионного агрегата является тянущее устройство, которое должно обеспечить отбор экструдата с постоянной скоростью и заданным усилием, необходимым для преодоления сопротивления калибра и устройства охлаждения. По конструкции тянущие устройства могут быть валковыми, барабанными, траковыми.

6.3. Линии для производства пленок раздувом

Большая часть одного из самых распространенных в мире полимеров – полиэтилена перерабатывается в упаковочные и сельскохозяйственные пленки методом экструзии с раздувом.

Стабильность процессов производства пленок зависит от следующих параметров: скорости экструзии, температуры расплава, интенсивности охлаждения, скорости отвода пленки, диаметра рукава и перерабатываемого материала. Форма рукава (пузыря пленки), ее стабильность и скорость движения находятся в тесной взаимосвязи с указанными параметрами.

Форма пузыря пленки, прежде всего, зависит от положения линии «замерзания» (линии застывания вязкопластичного материала), которое, в свою очередь, определяется стабильностью процесса охлаждения. Для каждого типа перерабатываемого материала имеется своя оптимальная высота линии «замерзания». В большинстве случаев пузырь пленки под линией замерзания имеет коническую форму. Во избежание образования складок по периметру рукава необходимо обеспечивать равномерное охлаждение и постепенное складывание рукава путем установки соответствующего угла раскрытия направляющих щек. Наконец, для получения качественных пленок необходимо поддерживать постоянные скорости отвода и намотки при постоянстве натяжения пленки.

При изготовлении рукавной пленки на экструзионной установке можно направить ее вверх, вниз или по горизонтали. Первый метод предпочтительнее второго, поскольку не требует установки экструдера и приемно-намоточных устройств на разных этажах здания или подъема экструдера на специальные площадки и не вызывает произвольной вытяжки материала, выдавливаемого непосредственно из головки. Второй способ менее распространен и используется, главным образом, при экструзии достаточно вязких материалов. Экструзия рукавной пленки в горизонтальном направлении наиболее предпочтительна, так как позволяет значительно сократить высоту установки и создает оптимальные условия для контроля и регулирования процесса, наблюдения за экструдиром и раздуваемой пленкой. Однако в связи с опасностью произвольной деформации пленки от провисания под действием собственного веса этот метод применяют для небольших установок, а также при экструзии пленки из пенополистирола и жесткого поливинилхлорида.

Схема экструзионной установки получения рукавной пленки методом раздува представлена на рис. 6.4.

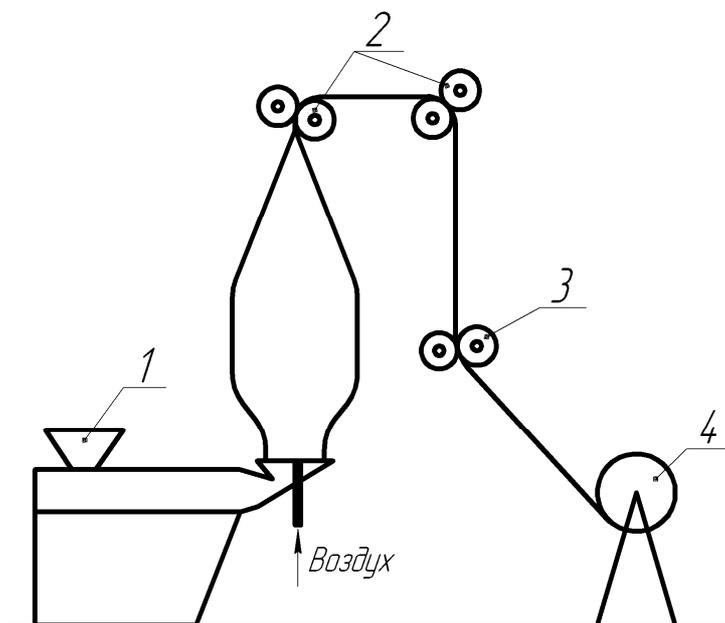


Рис. 6.4. Экструзионная установка получения рукавной пленки методом раздува: 1 – экструдер; 2 – тянущие валки; 3 – направляющие валки; 4 – намоточное устройство

В ходе переработки гранулированный полимер поступает через загрузочную воронку в экструдер, где расплавляется и выдавливается через кольцевой зазор угловой пленочной головки. Заготовка тянется валками 2, а в дорн головки подводится воздух, вследствие чего заготовка растягива-

ется (раздувается), увеличиваясь в размерах и утоняясь до необходимой толщины пленки. Форма «факела» регулируется количеством воздуха для раздува и интенсивностью наружного охлаждения. После прохождения через направляющие валки 3 пленка сматывается в рулон на специальном намоточном устройстве 4. Современные раздувные пленочные установки оснащаются счетчиками метража и автоматическими устройствами смены рулонов.

6.4. Экструзионные линии для нанесения полимерных покрытий

Для нанесения покрытий из термопластичных полимерных материалов на электрические провода, кабели, стальные трубы, деревянные планки и другие полуфабрикаты применяются экструзионные линии на базе одночервячных, пластицирующих экструдеров, причем широкое использование получили экструзионные агрегаты в кабельной промышленности. Например, для техники связи медные провода диаметром 0,4 – 1,4 мм покрываются полиэтиленовой или поливинилхлоридной пленкой толщиной 0,15 – 0,25 мм; для низкочастотной техники применяются покрытия из ПВХ; для кабелей диаметром 20 – 120 мм применяются покрытия из ПЭВП толщиной 4 – 25 мм.

Схема установки для нанесения изоляции на провода и кабели показана на рис. 6.5.

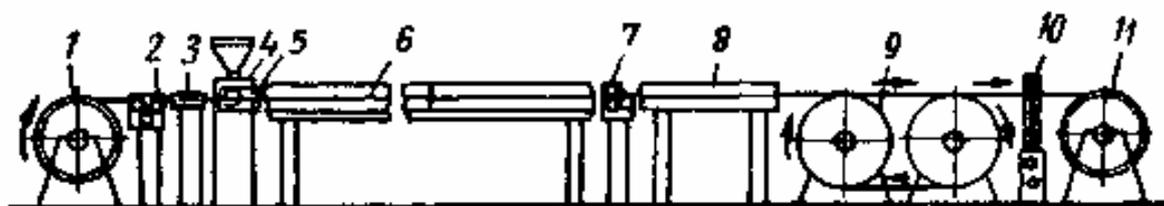


Рис. 6.5. Схема установки для нанесения изоляции на провода и кабели:

1 – барабан; 2 – натяжные ролики; 3 – кондуктор; 4 – экструдер; 5 – угловая головка; 6 – охлаждающие ванны; 7, 8 – контрольные устройства; 9 – кабестан; 10 – распределительное устройство; 11 – барабан

Провод сматывается с барабана 1, проходит через натяжные ролики 2 и кондуктор 3, обеспечивающий предварительный нагрев проволоки. В угловой головке 5 червячного экструдера 4 провод покрывается слоем термопласта. В дальнейшем изолированный провод охлаждается в нескольких

ваннах 6 нагретой до различной температуры водой, проходит через устройство 7 для контроля изоляции на пробой, устройство 8 для контроля диаметра, кабестан 9 для вытягивания перед намоткой, распределительное устройство 10 и наматывается в готовом виде на барабан 11.

В экструзионных процессах нанесения покрытий предварительно обработанный провод сквозь специальную подводящую гильзу (втулку) непрерывно протягивается через формующий инструмент. В формующем инструменте он покрывается расплавом полимера, поступающим из экструдера, охлаждается, непрерывно вытягивается и наматывается.

Существует два способа нанесения покрытий: рукавный и под давлением. При первом способе покрытие наносится вне формующего инструмента, а при втором – внутри формующего инструмента. Соответственно применяются и различные конструкции формующего инструмента.

На рис. 6.6 показана принципиальная схема формующей головки для нанесения изоляции на одно- и многожильные провода.

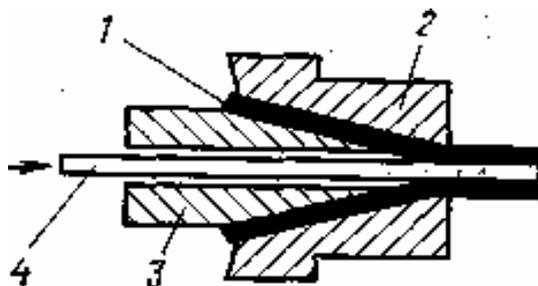


Рис. 6.6. Схема формующей головки для нанесения изоляции под давлением:
1 – расплав полимера; 2 – корпус головки; 3 – вкладыш; 4 – жила кабеля

Обязательной деталью такой головки является вкладыш 3, направляющий движение кабеля или провода. Основная функция направляющего вкладыша – предотвращение противотока расплава. Вкладыш 3 мало влияет на центровку кабеля 4 в наносимой полимерной оболочке.

Тема 7

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБЪЕМНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Объемные полые изделия из термопластов можно изготовить несколькими способами. Детские игрушки (погремушки) изготавливают склеиванием или свариванием двух половинок (заготовок), полученных литьем под давлением, термо- или вакуумформованием. Но этот способ не

получил широкого распространения в промышленности из-за низкой производительности и трудоемкости, необходимости ручного труда. Наибольшее количество полых изделий из термопластов используется в качестве емкостей или тары и изготавливается методом раздувного формования.

Метод раздувного формования может быть реализован двумя способами. Первый способ – способ инжекционного раздувного формования – предусматривает предварительное изготовление заготовки (обычно методом литья под давлением), нагрев заготовки до высокоэластического состояния и собственно раздув в замкнутой охлаждаемой форме. Поскольку заготовка при переработке находится в высокоэластическом состоянии, требуется достаточно большое (до 4 МПа) давление воздуха.

Второй способ – экструзионного раздувного формования – заключается в раздувании сжатым воздухом трубчатой заготовки, полученной выдавливанием в открытое пространство полости формы. При формовании заготовка находится в вязко-текучем состоянии и для формоизменения требует относительно небольшого давления раздува – порядка 0,5 МПа. Изготовление полых изделий методом экструзионного раздувного формования осуществляется в две стадии: вначале формуют трубчатую заготовку, помещают ее в форму и, раздувая заготовку сжатым воздухом, придают ей конфигурацию готового изделия. Изделие выдерживают в форме, охлаждают, после чего форма раскрывается, и изделие удаляется.

7.1. Инжекционно-выдувное формование

Заготовку (преформу) из термопласта трубчатой или другой формы для последующего раздувания можно получить литьем под давлением. Этот способ имеет, как минимум, две стадии, требует повышенных энергозатрат из-за необходимости охлаждения изделия при изготовлении литьем и нагрева при раздуве. Тем не менее, способ получил широкое распространение для переработки таких полимеров, как полиэтилентерефталат, полибутилентерефталат и полиамид.

После смыкания полуформ раздувной формы через отверстия в сердечнике внутрь разогретой заготовки подается сжатый воздух, и заготовка раздувается по конфигурации оформляющей полости формы, при этом толщина стенок заготовки уменьшается, а ее размеры по сечению увеличиваются в 3 – 5 раз.

Изделие охлаждается подаваемым на раздувание холодным воздухом, а также при контакте с поверхностью оформляющей полости формы (полуформы охлаждаются водой). По окончании охлаждения изделий по-

луформы размыкаются, и изделие удаляется. Производство объемных изделий по литьевому методу требует значительных капитальных затрат ввиду высокой стоимости оборудования, а также дополнительных расходов на изготовление дорогостоящих литьевых форм. Поэтому данный метод рекомендуется лишь для производства небольших емкостей крупных серий, несмотря на то, что качество изделий, раздуваемых из заготовок, полученных литьем под давлением, значительно выше, чем изделий, раздуваемых из заготовок, полученных методом свободной экструзии. Наибольшее распространение в промышленности получил экструзионный метод, обеспечивающий высокую производительность оборудования при сравнительно невысоких капитальных затратах.

Инжекционно-выдувной метод менее производителен, чем экструзионно-выдувной. Он не позволяет формировать полые изделия большого размера и сложной конфигурации. К достоинствам метода относится возможность формования изделий с калиброванной горловиной при минимальном количестве отходов. Изделия получаются, как правило, более прочными и имеют более гладкую поверхность.

Для повышения производительности применяют конструкции машин с двумя и более дорнами. При этом формы могут располагаться как на каретке с возвратно-поступательным движением, так и на вращающемся револьверном столе.

Разновидностью метода инъекционного раздува является раздув с предварительной вытяжкой (рис. 7.1). При этом способе формования отлитая заготовка вначале переносится в форму (рис. 7.1, а), а затем сердечник выдвигается и, растягивая заготовку в продольном направлении, подвергает ее предварительной продольной вытяжке (рис. 7.1, б), создающей продольную ориентацию полимера. По окончании вытяжки через сердечник подается сжатый воздух, который осуществляет раздув заготовки и окончательное формование изделия (рис. 7.1, в). Совместное действие продольного и тангенциального растяжений приводит к возникновению двухосной ориентации, существенно улучшающей механические и оптические свойства и уменьшающей газопроницаемость.

Использование отходов при переработке термопластов методом раздувного формования во многом определяет рентабельность производства. Однако возврат большого количества отходов может изменить вязкость расплава и насыпную плотность смеси, тем более что часть отходов может перерабатываться многократно. Изменение реологических свойств зависит также от вида полимера, его качества и от условий раздувания.

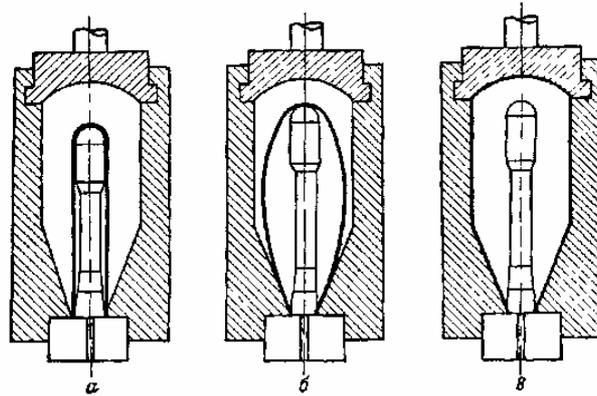


Рис. 7.1. Производство ориентированных бутылок методом раздува с предварительной вытяжкой

7.2. Экструзионно-раздувное формование

В настоящее время наиболее широкое распространение получил экструзионно-выдувной способ формования, при котором трубчатая заготовка экструдруется из головки экструдера в полость открытой формы (рис. 7.2).

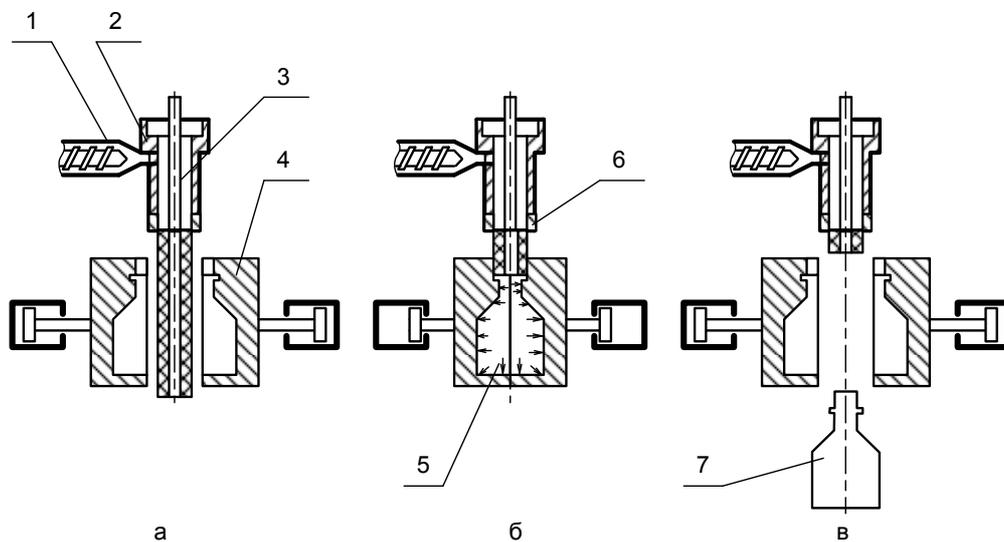


Рис. 7.2. Схема производства объемных изделий экструзионным методом:
 а – выдавливание заготовки; б – раздувание; в – сьем изделия;
 1 – экструдер; 2 – экструзионная головка; 3 – дорн; 4 – полуформа; 5 – заготовка;
 6 – мундштук; 7 – изделие

В экструдере полимер, поступающий на переработку в виде гранул, расплавляется (переводится в вязкотекучее состояние), перемешивается с

пигментами (окрашивается) и другими ингредиентами. Достаточно часто при изготовлении объемных изделий раздувом используют смеси полимеров. Так, для повышения жесткости и прочности полиэтиленовых канистр в состав смеси вводят полиэтилен высокой плотности, а для обеспечения эластичности расплава, повышения морозостойкости используют полиэтилен низкой плотности. Из экструдера расплав полимера выдавливается через формующий инструмент (прямоточную или угловую головку) в открытое пространство в виде трубчатой заготовки. Когда экструдированная заготовка достигает заданной длины, полуформы смыкаются, обжимая верхний конец заготовки по контуру формующего горловину ниппеля. Нижний конец заготовки при этом сплющивается и герметично заваривается. Затем внутрь заготовки подается сжатый воздух, который раздувает ее до соприкосновения со стенками охлаждаемой формы. После охлаждения изделия форма раскрывается, и готовое изделие удаляется. Обычно сжатый воздух нагнетают в заготовку через полый дорн, одновременно используемый для формования горловины сосуда. В некоторых случаях воздух в заготовку вводят при помощи специальной иглы, которая прокалывает стенку или доньшко заготовки. После окончания раздува игла вытаскивается, и отверстие в заготовке заваривается. Иногда раздув осуществляется газом, выделяющимся при нагреве предварительно заложенных в заготовку таблеток.

Для изготовления полых изделий методом раздува могут быть использованы экструзионные термопласты с высокой ударной вязкостью и большим относительным удлинением. К ним относятся полиэтилен высокого давления и низкого давления, полипропилен, пластифицированный поливинилхлорид, ударопрочный полистирол и др.

Преимущества этого метода – сравнительная простота технологии, высокая производительность оборудования, возможность автоматизации производства, невысокая стоимость инструмента.

Качество изделий, получаемых методом экструзионно-раздувного формования, зависит от свойств исходного материала (плотность и ПТР), конструкции формующего инструмента, условий изготовления и формования заготовки.

Воздух на раздувание заготовок, полученных выдавливанием термопласта через формующий инструмент, может подаваться сверху (через отверстие в дорне экструзионной головки), снизу (через отверстие в формующем ниппеле, на который в процессе выдавливания надевается заготовка) или через дутьевую иглу.

Недостатком экструзионного метода производства объемных изделий раздуванием является неравномерная толщина стенок изделия (разнотолщинность), возникающая в результате разнотолщинности заготовки из-

за ее вытяжки под действием собственного веса за время экструзии, а также из-за неравномерности температуры заготовки по высоте (более низкую температуру имеет нижняя часть заготовки, которая успевает значительно охладиться). Различие в толщинах стенок изделий круглого поперечного сечения по высоте достигает 30 – 40 %, а для изделий других сечений – еще выше. Вторым недостатком этого метода – большое количество отходов, до 50 % от массы изделия.

7.3. Классификация машин для производства объемных изделий раздуванием

Основным параметром, по которому классифицируются раздувные агрегаты, является максимальный объем изготавливаемого изделия. Кроме того, в основу классификации раздувных агрегатов могут быть положены некоторые технологические и конструктивные признаки, такие, например, как метод получения заготовки, степень автоматизации, конструкция и род привода приемного устройства и т.д.

По способу получения заготовки различают агрегаты с литьевым (инжекционным) и экструзионным способом получения заготовки. Экструзионные раздувные машины, в свою очередь, подразделяются на агрегаты с непрерывной экструзией заготовки, агрегаты с осевым перемещением червяка и периодической экструзией заготовки и агрегаты с копильником и периодической экструзией заготовки (применяются для изготовления изделий большой емкости – свыше 50 л). В настоящее время наиболее широко распространены экструзионные агрегаты с непрерывным выдавливанием заготовки.

По количеству рабочих позиций раздувные агрегаты разделяются на одно-, двух- и многопозиционные – с несколькими комплектами форм и формирующих инструментов.

По расположению червяка различают агрегаты с горизонтальным и вертикальным червяками.

Головки для изготовления трубчатых заготовок по направлению потока расплава разделяются на прямоточные и угловые, по числу одновременно формируемых заготовок – на одно- и многоручьевые.

7.4. Компоновка и основные механизмы агрегатов

Выпускаемые раздувные агрегаты для производства объемных изделий из термопластов разнообразны по компоновке основных механизмов. Это объясняется многими технологическими и конструктивными фактора-

ми: методами получения раздувных заготовок, размерами и конфигурацией изделий, повышением производительности агрегата и условиями непрерывности его работы, требованиями автоматизации производства и т.д.

Для экономии производственных площадей и улучшения условий выдачи заготовки применяются экструзионно-раздувные агрегаты с вертикальным расположением экструдера. При такой компоновке агрегата для формования заготовки используется прямоточная экструзионно-раздувная головка. Приемное устройство располагается горизонтально.

Кроме вертикального, возможно и горизонтальное расположение экструдера с угловой головкой.

Для повышения производительности экструзионно-раздувных агрегатов применяются помимо двухпозиционных устройств многопозиционные – ротационные или роторные приемные устройства. Раздувные формы располагаются по периферии ротора. Число раздувных форм, установленных на роторе, определяется производительностью экструдера и временем раздувания и охлаждения изделия в форме.

Для сокращения времени выдачи заготовки с целью получения крупногабаритных изделий с равномерными по толщине стенками в экструзионно-раздувных агрегатах используют экструдеры с копильниками, которые могут выполняться как выносными, так и совмещенными с цилиндрами экструдера. Таким образом, основными механизмами экструзионно-раздувных агрегатов являются экструдеры, формующий инструмент с копильником или без него и приемные устройства различного конструктивного исполнения.

7.5. Формующий инструмент (экструзионные головки)

Формующим инструментом в раздувных агрегатах называют устройства (экструзионные головки), которые обеспечивают формирование расплава термопласта в заготовку соответствующей геометрической формы и размеров, раздуваемую затем сжатым воздухом в объемное изделие.

Головка экструдера представляет собой отдельный сменный механизм, в котором устанавливаются детали, составляющие непосредственно формующий инструмент. Для производства объемных изделий методом экструзии с раздуванием применяются, в основном, заготовки в виде труб. Прямоточные трубные экструзионные головки в производстве объемных изделий обычно применяются с вертикально расположенными экструдером или с копильником, в который расплав полимера нагнетается от горизонтально установленного экструдера. Такие головки обеспечивают рав-

номерность линейной скорости экструзии по всему сечению формирующего инструмента, что особенно важно для получения равнотолщинных изделий. Основным недостаток этих головок – наличие в них дорнодержателя. Дорнодержатель рассекает общий поток расплава на несколько потоков, которые, соединяясь вновь, образуют продольные швы на заготовке и в изделии. Швы неизбежно снижают в той или иной степени прочность изделия, а иногда на его поверхности даже заметны «линии спая». Поэтому конструкции дорнодержателя и дорна прямоточной головки уделяется особое внимание. Важным для обеспечения качества заготовки является и центровка матрицы относительно дорна, осуществляемая обычно с помощью центровочных винтов.

Наибольшее распространение при производстве объемных изделий нашли угловые головки (рис. 7.3). В угловых экструзионных головках поток расплавленного полимера, поступающий из винтового канала червяка в формирующий инструмент, должен быть повернут перпендикулярно оси червяка, причем в конце поворота он должен вновь стать круговым и полностью симметричным по отношению к новой оси. При этом давление, скорость течения, температура и вязкость массы на выходе из головки должны быть одинаковы по периметру при различии длины пути расплава.

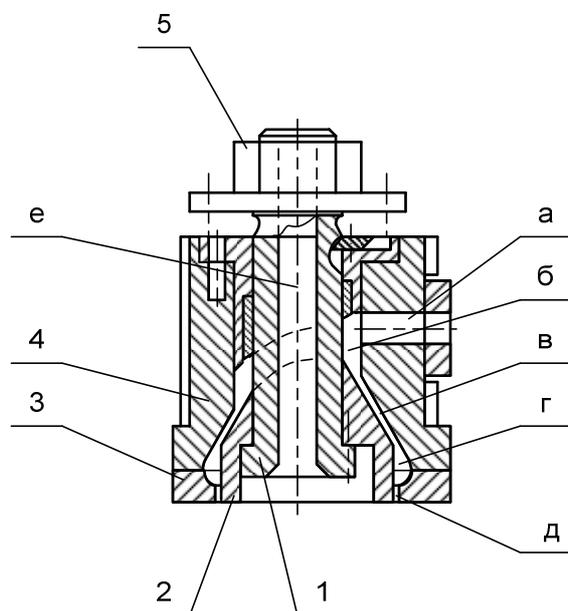


Рис. 7.3. Угловая экструзионная головка с составным дорном:

1 – дорн; 2 – наконечник дорна; 3 – мундштук; 4 – корпус головки; 5 – гайка регулирования зазора;

a – канал для подвода расплава; *б* – сборный канал; *в* – конический кольцевой канал; *г* – выравнивающий канал; *д* – формирующий зазор; *е* – канал для подвода сжатого воздуха

Указанные различия в длине пути потока расплава влияют на давление, температуру и вязкость полимера. Если не предусмотреть специальных мер, то после прохождения поворота может иметь место неравномерность соответствующих характеристик массы в плоскости, перпендикулярной к направлению ее движения. Это вызывается тем, что давление на выходном конце внутренней дуги поворота оказывается всегда более высоким, чем на выходном конце внешней дуги. В результате этого экструдированное изделие будет или искривляться, или иметь большую толщину стенки со стороны внутренней дуги поворота.

Проблема поворота потока расплава может быть практически решена при применении угловой головки. Поток расплава полимера поступает из кольцевого сборного канала в концентрическую щель мундштука через такую же концентрическую, но скошенную на приточной стороне коническую щель регулируемой толщины.

Настройка достигается одноосным перемещением соответствующих деталей головки. При этом особую роль играет собственное сопротивление концентрической щели мундштука.

При изготовлении фасонных изделий для уменьшения расхода материала возможно использование оборудования, которое по заданной программе изменяет толщину стенки заготовки при экструзии. Например, при экструзии заготовки для раздува бутылки в части горловины стенка утоняется, чем достигается экономия материала. Обеспечивается такое технологическое решение использованием гидравлического привода перемещения конического дорна (рис. 7.4).

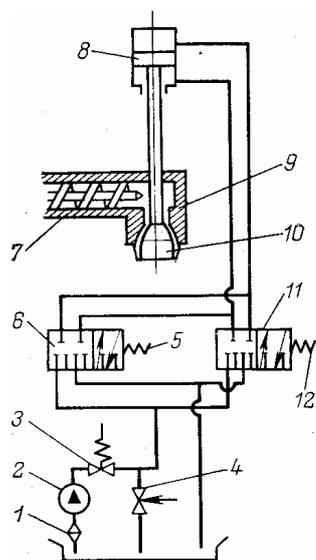


Рис. 7.4. Гидравлическая схема управления перемещением дорна:

1 – фильтр; 2 – гидронасос; 3 – предохранительный клапан; 4 – вентиль; 5, 12 – управляющие электромагниты; 6, 11 – золотники управления; 7 – экструдер; 8 – гидроцилиндр; 9 – головка; 10 – дорн

Общие принципы, которыми руководствуются при конструировании экструзионных головок, сводятся к следующему: внутренние полости, по которым течет расплав полимера, должны обеспечивать его равномерный поток, без резких переходов, без наличия «мертвых» зон (застойных пространств), которые могут привести к перегреву и даже разложению полимера, и иметь высокое качество чистоты обработки поверхности.

Одним из основных видов расчетов формующего инструмента является расчет его гидравлического сопротивления. Цель гидравлического расчета – определение зависимости между перепадом давления по длине канала, производительностью и геометрическими размерами канала.

Следует принимать во внимание очевидную приблизительность такого расчета из-за сильной зависимости вязкости неньютоновской жидкости от скорости сдвига и температуры. Тем не менее, для конструкторских целей такой подход применяют.

В экструзионных раздувных агрегатах для получения изделий небольшой емкости используются многоручьевые головки, которые обеспечивают одновременную выдачу нескольких заготовок. Основным недостатком таких головок заключается в том, что из-за разной удаленности отдельных выходных каналов (ручьев) от питающего возникают различия в линейной скорости выдачи трубчатых заготовок. Для выравнивания скорости выдачи заготовок регулируют давление в каждом канале головки дросселированием или изменением поперечного сечения канала, из которого поступает расплав.

7.6. Раздувные формы

При изготовлении объемных изделий раздуванием из полимерных заготовок применяются формы из двух половин. Каждая полуформа имеет полость для формования изделия. Основным назначением формы в производстве изделий методом раздувания является оформление изделий. Однако форма выполняет и ряд других функций: зажим заготовки пресс-кантами, калибровку горловины изделия ниппелем и пресс-кантами, регулировку направления подачи воздуха для раздувания, заварку отверстий, удаление облоя и т.д.

В производстве объемных изделий методом экструзии с раздуванием большую трудность представляет снятие облоя и прибыли с готового изделия. Снятие облоя осуществляется двумя способами: во время формования, т.е. внутри формы, или после удаления изделия, т.е. вне формы.

Для обеспечения точного смыкания раздувных форм в них предусматриваются направляющие колонки. Эти колонки изготавливаются из вы-

сококачественной стали и должны иметь твердость HRC 56–60. Для втулок, по которым скользят колонки, применяется такая же сталь с последующей термообработкой в масле до твердости HRC 55–58. Целесообразно втулки запрессовывать не в глухие отверстия в корпусе формы.

Форма предназначена как для оформления изделия, так и для зажима и герметизации стыка заготовки, калибрования горловины изделия, управления подачей воздуха при раздуве, заваривания проколотого дутьевой иглой отверстия, удаления облоя и охлаждения сформованного изделия. Сжатый воздух для раздува заготовки может подаваться по каналу, проходящему через формующий горловину ниппель, или при помощи дутьевой иглы. Дутьевая игла обычно прокалывает заготовку по центру или сбоку.

Отрезание заготовки и формование герметичного дна осуществляют специальные детали формы, именуемые пресс-кантами и состоящие из режущей кромки и зажимного кармана.

Для изготовления форм используются самые различные материалы – сталь, бронза, цинк, но во всех случаях пресс-канты делают из стали. Экспериментальные формы можно изготавливать из гипса или дерева.

В настоящее время для изготовления выдувных форм широко применяют наполненные полиэфирные, фенольные и эпоксидные смолы. Формы из таких материалов имеют сравнительно гладкую рабочую поверхность, благодаря чему формуемые в них изделия практически не нуждаются в дополнительной обработке. Эти формы легко ремонтируются и значительно дешевле металлических. К их недостаткам относится меньшая теплопроводность и меньший срок службы по сравнению с металлическими. Поэтому их применяют обычно для изготовления мелких серий и опытных образцов изделий.

На качество изделия влияет температура формы, которая регулируется системой охлаждения. Для охлаждения форм применяются, в основном, две системы – канальная и камерная.

7.7. Выдувные машины

Приемные устройства раздувных агрегатов выполняют следующие технологические и вспомогательные операции:

1. перемещение форм к формующему инструменту на прием заготовки;
2. смыкание раздувных форм;
3. запираение форм;
4. отрезку заготовки у экструзионной головки;

5. подачу воздуха для раздувания заготовки;
6. отвод формы от формующего инструмента;
7. охлаждение изделия;
8. размыкание формы и съем готового изделия.

В случае, когда время выдачи заготовки меньше времени раздувания и охлаждения изделия, а генератор расплава работает непрерывно, используют многопозиционные приемные устройства.

Однопозиционные машины подразделяют на машины с неподвижным столом, в которых форма не может перемещаться в вертикальном направлении, а лишь имеет возможность открываться и закрываться, и машины с подвижным столом.

По способу смыкания полуформ выдувные машины разделяют на машины с плоскопараллельным смыканием форм, в которых полуформы устанавливаются на подвижные плиты, перемещающиеся по цилиндрическим направляющим, и машины с шарнирным механизмом смыкания форм (книжного типа).

Предпочтительным является плоскопараллельное смыкание полуформ.

Плоскопараллельный механизм смыкания полуформ приведен на рис. 7.5.

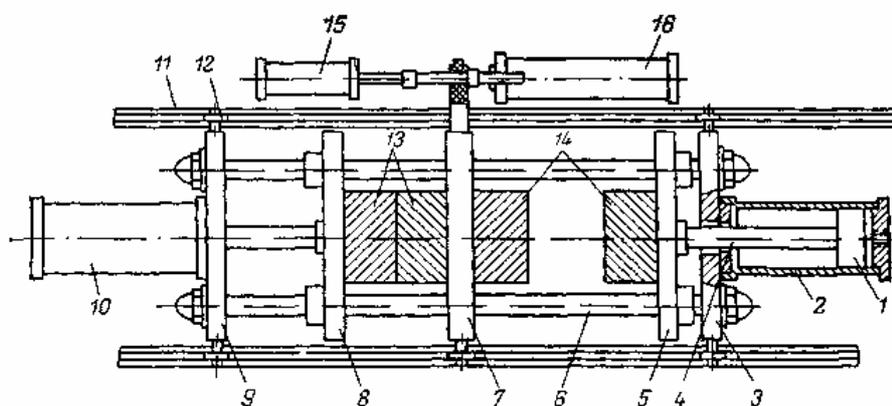


Рис. 7.5. Плоскопараллельный механизм смыкания полуформ

Машина с плоскопараллельным смыканием состоит из трех неподвижных плит 3, 7, 9, соединенных двумя или четырьмя колоннами 6, по которым перемещаются подвижные плиты 5 и 8. Перемещение плит осуществляют пневмоцилиндры 2 и 10, установленные на неподвижных плитах 9 и 3. Установленные на плитах полуформы 13 и 14 попеременно открываются и замыкаются в результате перемещения подвижных плит, свя-

занных штоками 4 с поршнями 1 пневмоцилиндров 2. Вся выдувная машина может перемещаться на роликах 12 по направляющим рельсам 11. Перемещение машины под экструзионную головку осуществляется при помощи пневмоцилиндра 16. Гидравлический амортизатор 15 обеспечивает необходимую плавность хода и мгновенный останов машины на позиции приема заготовок.

По роду привода приемные устройства подразделяются на гидравлические и пневматические.

Гидропривод современных раздувных агрегатов, в основном, подобен гидроприводу литьевых машин. Отличительная особенность привода машин для изготовления крупногабаритных изделий состоит в применении пневмогидравлических аккумуляторов, использование которых позволяет значительно увеличить скорость экструзии заготовки, не прибегая к существенному увеличению производительности насосов высокого давления.

7.8. Технология получения и раздувания экструзионной заготовки

Качество объемных изделий во многом зависит от параметров получения экструзионной заготовки (скорости выдачи, толщины, степени вытяжки, разбухания заготовки и т.д.), которые в свою очередь определяются конструкцией формующего инструмента и методом выравнивания в нем потока расплава.

Из практики переработки термопластов методом экструзии известно, что экструдат по выходе из формующего инструмента разбухает, т.е. размеры его поперечного сечения увеличиваются.

На изменение размеров заготовки, выходящей из формующего инструмента, влияют: остаточные напряжения в заготовке, приводящие к расширению потока расплава; поперечный градиент скорости, приводящий к ориентации макромолекул в направлении потока, на выходе же из формующего инструмента происходит их разориентация. Выравнивание профиля скоростей в потоке расплава по выходе из формующего инструмента приводит к некоторому увеличению сечения заготовки независимо от относительной длины формующего инструмента. В зависимости от температуры расплава полимера и свойств перерабатываемого материала может превалировать тот или иной процесс. Заготовка по выходе из формующего инструмента, как правило, имеет весьма малую жесткость и неравномерно вытягивается под действием собственного веса, что при раздувании приводит к разнотолщинности изделий.

Аппаратура управления экструзионно-выдувными агрегатами во многом напоминает аппаратуру управления литьевой машиной. В ком-

плект аппаратуры входит шкаф тепловой автоматики, регулирующий температуру тепловых зон экструдера, система управления гидроприводом механизма формования заготовки, система управления работой выдувной машины и система управления приводом экструдера.

Подобно системам управления литьевых машин системы управления экструзионно-выдувными агрегатами могут быть электромеханическими, электронными и микропроцессорными. В микропроцессорных системах управления значения продольной толщины заготовки в каждой ее точке вводятся непосредственно с клавиатуры пульта оператора.

Во избежание попадания рук оператора в опасную зону при формировании изделия выдувные агрегаты необходимо оснащать защитным ограждением; при открытом ограждении не должно происходить смыкания и размыкания раздувных полуформ (особенно для систем с пневмоприводом смыкания).

Сжатый воздух можно подавать в форму только после надежного зажатия заготовки полуформами.

Тема 8

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТМАСС ЛИТЬЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

8.1. Общая характеристика процесса литья термопластов под давлением

Литье под давлением – это один из наиболее распространенных современных способов переработки пластических масс в изделия. Способ получил такое название из-за достаточно большого (до 200 МПа) давления, необходимого для заполнения замкнутой формы полимером, переведенным в вязко-текучее состояние. Расплавить полимер можно различными способами, но наилучшим образом себя зарекомендовали литьевые машины с червячной пластикацией. В мелкосерийном производстве в отдельных случаях еще применяют механические и гидравлические плунжерные литьевые машины.

Литьевая машина должна обеспечить нагрев материала до перехода его в вязко-текучее состояние, подачу определенной дозы расплава под давлением в охлаждаемую форму, смыкание и размыкание формы. Все основные технологические параметры процесса литья должны иметь возможность широкого плавного точного регулирования. Для достижения

наивысшей производительности процесс получения изделий на литьевой машине должен быть полностью автоматизирован, машина должна быть снабжена блокирующими устройствами, предохраняющими ее от поломки и обеспечивающими безопасность обслуживания.

Современная литьевая машина (термопластавтомат) состоит из двух основных частей: инжекционного узла, предназначенного для разогрева и последующего впрыска расплавленного материала через мундштук в литьевую форму, и узла смыкания – для закрытия и открытия формы, противодействия усилиям, возникающим в ней при формовании изделий, и извлечения изделий из формы (рис.8.1).

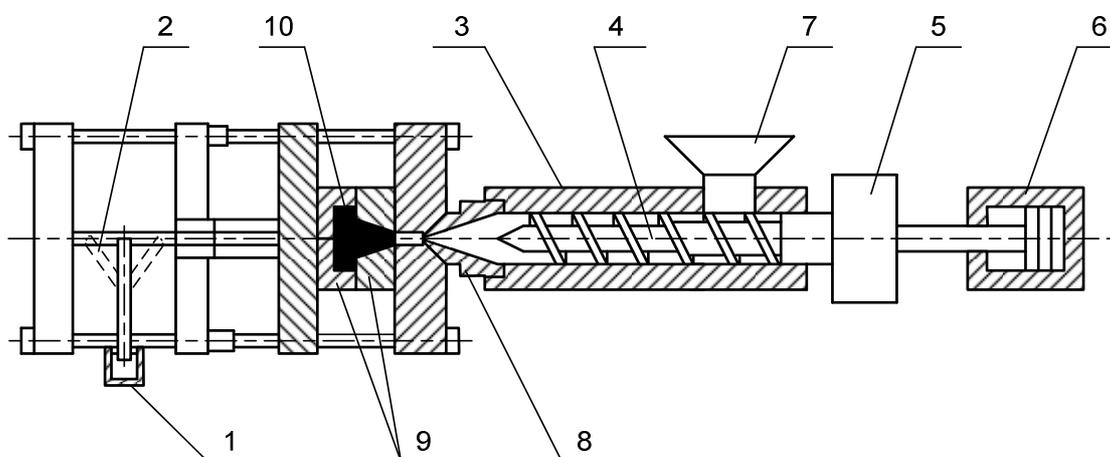


Рис. 8.1. Схема термопластавтомата со шнековой пластикацией:

1 – гидравлический цилиндр узла смыкания; 2 – рычажное устройство; 3 – материалный цилиндр; 4 – шнек; 5 – привод вращения; 6 – цилиндр гидропривода узла впрыска; 7 – загрузочное устройство; 8 – мундштук; 9 – литьевая форма; 10 – деталь

Инжекционный узел машины состоит из цилиндра 3 с обогревом и червяка 4. Червяк совершает вращательное и поступательное движение. Во вращение червяк приводится гидромотором 5. Поступательное движение червяку сообщается от цилиндра 6 узла впрыска.

Узел смыкания с гидромеханическим приводом состоит из гидравлического цилиндра 1 с поршнем и передаточного рычажного устройства 2. При движении поршня вправо рычаги выпрямляются, и промежуточная плита вместе с соединенной с ней подвижной плитой быстро перемещаются вправо.

По компоновке основных частей литьевые машины бывают горизонтальные, вертикальные, угловые. Большинство современных машин выполняют по горизонтальной схеме, так как она обеспечивает наилучшие условия для автоматизации процесса литья.

При работе термопластавтомата материал загружают в бункер. Для повышения качества изделий и производительности машины перерабатываемый материал предварительно просушивают в специальных сушильных шкафах или непосредственно в бункере машины горячим воздухом или с помощью электронагревателей. Это особенно необходимо для материалов, обладающих повышенной гигроскопичностью, таких как полиамиды и поликарбонаты. Материал из загрузочного бункера забирается вращающимся червяком при одновременном отводе его назад. Необходимая для впрыска доза расплавленного материала накапливается между мундштуком 8 и наконечником червяка. Регулируя величину отвода червяка, устанавливают необходимую объемную дозу впрыска. Материальный цилиндр во всех схемах термопластавтоматов обогревается электронагревательными элементами сопротивления и имеет, как правило, несколько регулируемых зон нагрева. В каждой зоне вмонтирован термодатчик, соединенный с термореле и показывающим прибором, с помощью которых устанавливают и поддерживают заданную температуру в цилиндре.

В резьбовом гнезде материального цилиндра закрепляется мундштук (сопло), через который расплавленный материал под давлением подается в формующую полость формы 9. Впрыск расплава в форму осуществляется червяком, который работает в момент впрыска как поршень и приводится в поступательное движение на гидравлических машинах от гидроцилиндра. В литьевую форму расплав впрыскивается под большим давлением, величина которого зависит от свойств материала, степени его предварительной пластикации, температуры, а также от конструкции изделия. Это давление может находиться в пределах 60 – 200 МПа. Впрыснутый под высоким давлением расплав стремится разомкнуть литьевую форму, закрепленную на установочных плитах прессовой части машины. Поэтому назначение узла смыкания машины заключается в том, чтобы противостоять усилиям, возникающим при формовании изделия. Высота литьевой формы зависит от высоты отливаемого изделия, поэтому узел смыкания выполняют всегда регулируемым в определенных пределах.

За подвижной плитой в узле смыкания расположен упорный шток, который при раскрытии формы воздействует на выталкивающую систему формы, сбрасывающую готовую отливку. В дальнейшем цикл работы литьевой машины повторяется в той же последовательности.

Время выдержки отливки под давлением и без давления – технологические параметры, которые поддерживаются специальными реле времени, вмонтированными в схему управления машины. Время смыкания и

размыкания литевой формы, а также время впрыска зависят от конструкции привода литевой машины. При литье под давлением пластическая масса, загружаемая в материальный цилиндр литевой машины, переводится в вязко-текучее состояние и впрыскивается в охлаждаемую (для термопластов) или нагреваемую (для реактопластов) форму, в которой под давлением происходит оформление изделия и фиксация формы за счет затвердевания (отверждения) материала. Процесс литья под давлением включает следующие стадии: плавления и набора порции полимера, впрыска расплава полимера в форму, выдержки под давлением и выдержки для охлаждения материала в форме. После необходимого охлаждения готовое изделие извлекается из формы. Стадия выдержки под давлением необходима для компенсации происходящего в результате охлаждения уменьшения объема отливки за счет дополнительной подпитки расплавом. В момент застывания расплава в коническом литнике вытекание расплава из формы становится невозможным, поэтому можно снижать давление, отводить шнек и начинать стадию набора новой порции полимера для следующего цикла.

8.2. Классификация и характеристики литьевых машин

Наиболее важным параметром классификации термопластавтоматов является максимальный объем впрыска (объем отливки). В настоящее время выпускаются литьевые машины с объемом впрыска от 16 до 30 000 см³. Объем впрыска определяет и габариты оборудования и его возможности по выпуску изделий.

По роду привода литьевые машины бывают с электромеханическим, гидравлическим, гидромеханическим приводом. Наиболее распространенным и можно даже сказать стандартным типом привода до последнего времени являлся гидравлический, характеризующийся компактностью и возможностью обеспечить всю кинематику литевой машины и достаточно просто решающий проблему создания большого давления впрыска. В последнее время, однако, на рынке появляются термопластавтоматы с электромеханическим приводом, лишенные недостатков, сопутствующих использованию гидравлики.

По числу рабочих форм литьевые машины бывают однопозиционными и многопозиционными (карусельными).

По принципу действия инъекционного механизма литьевые машины подразделяют на плунжерные и шнековые с осевым перемещением шнека.

По расположению в пространстве термопластавтоматы, как правило, горизонтальные, и только малые машины могут быть с вертикальным расположением материального цилиндра.

К основным характеристикам литьевых машин относят номинальный объем впрыска, усилие смыкания, максимальное давление впрыска.

Давление впрыска – это усилие, которое передается на единицу площади расплавленной массы, подготовленной к впрыску в материальный цилиндр. Давление литья является одной из основных характеристик машины. От него в значительной мере зависит возможность использования машины для литья тонкостенных изделий со сложной конфигурацией и получения изделий из различных термопластов. Для большинства термопластов при переработке на машинах со шнековой пластикацией достаточно давления 50 – 100 МПа, а при литье тонкостенных изделий или переработке высоковязких материалов удельное давление литья может достигать 200 МПа.

Из важных характеристик литьевых машин можно отметить еще такую как максимальное усилие смыкания формы. От соотношения этого параметра и давления впрыска зависят наибольшая возможная площадь проекции отливки и сама возможность изготовления конкретного изделия на данной литьевой машине. При недостаточном усилии смыкания герметичность формы нарушается, материал вытекает в месте разъема и на изделии образуется облой.

Кроме перечисленных есть еще целый ряд параметров, которые определяют выбор машины для конкретной цели использования.

Пластикационная производительность определяется количеством материала, которое может быть расплавлено в материальном цилиндре машины за 1 ч. Другими словами, это производительность узла пластикации, как если бы он работал как шнековый экструдер. Данный параметр зависит от конструкции машины, числа зон обогрева и других факторов.

Общая производительность литьевой машины – количество переработанного в изделие материала за единицу времени. Производительность литьевых машин зависит от конструкции изготавливаемых изделий. Так, производительность машины при изготовлении тонкостенных изделий может быть выше, чем производительность изготовления изделий такой же массы, но с большей толщиной стенки. В последнем случае лимитирующим фактором будет время охлаждения в форме.

На производительность литьевой машины также влияет ее быстротаходность – машинное время, затрачиваемое на смыкание и размыкание

формы, перемещение шнека. Этот параметр зависит от конструкции машины, мощности и типа привода.

На качество изделий большое влияние оказывает время впрыска. Скорость впрыска расплава связана с производительностью гидравлических насосов и, соответственно, с мощностью привода машины и является основным фактором, определяющим энергоемкость машины. Оптимальным временем впрыска считается 1 – 3 с, а для изготовления тонкостенных изделий – до 1 с. Если скорость впрыска будет меньше, то возможно преждевременное застывание полимера в каналах формы, неполное заполнение формы и, как следствие, получение бракованного изделия.

Характеристикой термопластавтомата, ограничивающей возможность изготовления длинномерных изделий, является просвет между колоннами узла смыкания. Этот параметр определяет наибольшие габариты литьевой формы.

8.3. Узлы термопластавтомата

Как уже отмечалось, термопластавтомат состоит из двух основных узлов – пластикации, представляющего собой шнековый экструдер, и смыкания, выполненного обычно в виде колонного пресса.

Отличия указанных узлов от соответствующего специализированного оборудования заключаются в том, что узел впрыска (пластикации) типичной литьевой машины устанавливается на салазках и может перемещаться при работе машины на определенную регулируемую величину. Линейное движение шнека осуществляется от гидроцилиндра, вращательное – от аксиально-поршневого гидромотора.

Материальный цилиндр термопластавтомата в отличие от цилиндра экструдера имеет существенно большую толщину стенки, так как рабочее давление литья более чем на порядок выше давления экструзии. В остальном же можно отметить достаточно полную аналогию. Материальный цилиндр обычно обогревается электронагревателями, наиболее ответственные зоны (зона) могут и охлаждаться для точного поддержания температурного режима. Температура в зонах контролируется и поддерживается с помощью терморпар, вмонтированных в каждую зону, и терморегуляторами.

Шнек литьевых машин выполняет только транспортирующую функцию и из-за этого имеет низкую степень сжатия. Скорость вращения шнека может плавно регулироваться. Осевые нагрузки воспринимает упорный подшипник, установленный в гидропоршне.

Отличием узла смыкания от обычного гидравлического пресса для переработки пластмасс является наличие запирающей рычажной системы. Именно механическая рычажная система (замок), а не гидроцилиндр узла смыкания воспринимает нагрузку в рабочем состоянии, что позволяет снизить мощность привода узла и повысить его долговечность.

8.4. Литьевые формы

Конструкции литевых форм для термопластавтоматов достаточно разнообразны. Форма должна решать задачу рационального заполнения (без спаев), эффективного охлаждения и легкого извлечения изделия.

Литевые формы изготавливаются одногнездными, многогнездными, с одной, двумя и более плоскостями разъема. Фотография типичной литевой двухгнездной формы приведена на рис. 8.2. Изготавливают литевые формы из конструкционных сталей, а для повышения долговечности форм внутреннюю поверхность обычно хромируют.



Рис. 8.2. Двухгнездная литевая форма

Процесс заполнения формы достаточно ответственный. Конструкция формы должна обеспечивать удаление воздуха, для чего могут быть предусмотрены специальные воздушные каналы, как правило, с противоположной от литника стороны. Проектируют формы так, чтобы литник подходил к наиболее массивной части изделия. Для охлаждения изделия в форме могут быть выполнены специальные каналы для циркуляции воды.

Извлечение изделия в конце цикла обеспечивается специальными выталкивателями, которые при размыкании формы (обратном ходе подвижной плиты) остаются неподвижными, упираются в изделие и выталкивают его из формы.

8.5. Основные технологические факторы и режимы литья под давлением

Основные технологические факторы, определяющие процесс литья: подготовка материала, текучесть термопласта в процессе литья, температура термопласта в обогревательном цилиндре, температурный режим формы, давление в цилиндре и форме, продолжительность цикла.

Подготовка материала. Большинство термопластов не нуждается в предварительной обработке перед загрузкой в литьевую машину, если не считать окрашивания в нужный цвет. Полиамиды, полиэтилентерефталат и поликарбонат, способные при хранении увлажняться, необходимо подсушивать. При переработке увлажненных материалов образуются пузыри, пятна, серебристость на поверхности изделий. Подсушивание проводят непосредственно перед переработкой.

Поведение термопласта в процессе литья. Переход аморфных полимеров в вязко-текучее состояние происходит в широком интервале температур. Подобные термопласты перерабатываются без особых затруднений. Колебания температуры расплава не вызывают резкого изменения процесса литья; термопласт не вытекает через зазоры в форме. Усадка аморфных термопластов обычно 0,4 – 0,6 %.

Кристаллические термопласты (полиамид, полиэтилентерефталат) имеют узкий интервал температур перехода в вязко-текучее состояние, низкую вязкость и соответственно высокую текучесть. Это несколько усложняет их переработку, вызывает необходимость точнее поддерживать температуру расплава, делать запорные устройства к мундштуку, обеспечивать плотную посадку поршня в цилиндре.

Современные машины серии укомплектованы двумя мундштуками, один из которых – самозапирающийся – предназначен для впрыска жидко-текучих пластмасс. При отсутствии давления в цилиндре впрыска выходное отверстие мундштука под действием пружины закрыто клапаном. Во время впрыска пластицированная масса через каналы в корпусе поступает в полость гайки и давит на клапан. Клапан перемещается вправо, сжимая через планку и фланец пружину, и открывает выходное отверстие в гайке, через которое масса впрыскивается в форму. После впрыска давление в цилиндре падает, и пружина возвращает клапан в исходное положение,

предотвращая этим вытекание массы из мундштука. Второй мундштук служит для впрыска в пресс-форму пластицированных вязких пластмасс.

Термопласты кристаллического строения при затвердевании имеют значительно большую усадку, достигающую до 3 %. Чем выше температура термопласта, тем больший объем он занимает и тем больше усадка при охлаждении. Кроме термической усадки, может происходить усадка вследствие изменения структуры полимера. Усадка проявляется не только в изменении размеров, но и в появлении углублений, внутренних пустот. Чем ниже температура термопласта и чем выше давление в процессе литья, тем меньше усадка, тем больше плотность материала в изделии. Нагревательный (инжекционный) цилиндр является основным технологическим узлом машины, определяющим ее производительность и качество изделий. К нагревательному цилиндру предъявляют следующие требования: высокий коэффициент теплопередачи от источников нагрева к материалу при небольших разностях температур стенок цилиндра и материала, равномерный нагрев материала и отсутствие местных перегревов.

Тема 9

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ

9.1. Основные методы формования из листовых термопластов

Полые изделия из листовых термопластов можно изготавливать механической вытяжкой, вакуумным и пневматическим формованием, а также комбинированными методами. Перед формованием лист термопласта нагревают до температуры высокоэластичного состояния, а затем закрепленную по контуру заготовку устанавливают над формовочной камерой. Формование изделия происходит под действием перепада давлений, создающегося между внутренней и внешними поверхностями листа. При вакуум-формовании этот перепад равен разности давления окружающего воздуха и остаточного давления в форме. При пневмоформовании – это разность между давлением сжатого воздуха и атмосферным давлением.

В зависимости от конструкции формы и способа придания изделию окончательной конфигурации различают несколько основных методов формования:

- свободное формование, при котором нагретой заготовке придают сферическую форму, создавая перепад давлений на ее поверхности (рис. 9.1, а);

- негативное вакуум-формование, когда нагретая заготовка втягивается в форму под действием разности между атмосферным давлением и остаточным давлением в вакуумируемой полости формы (рис. 9.1, б);
- негативное вакуум-формование с предварительной вытяжкой пуансоном, при котором нагретую заготовку вначале вытягивают при помощи специального пуансона, а затем придают ей окончательную конфигурацию, создавая разрежение в полости формы (рис. 9.1, в);
- позитивное вакуум-формование, при котором нагретый лист прижимается к пуансону перепадом давлений, возникающим из-за разности давлений, действующих на противоположных сторонах листа (атмосферное на наружной и остаточное – на вакуумируемой) (рис. 9.1, г);
- позитивное с предварительной вытяжкой воздухом (рис. 9.1, д);
- позитивное с предварительной вытяжкой пуансоном (рис. 9.1, е).

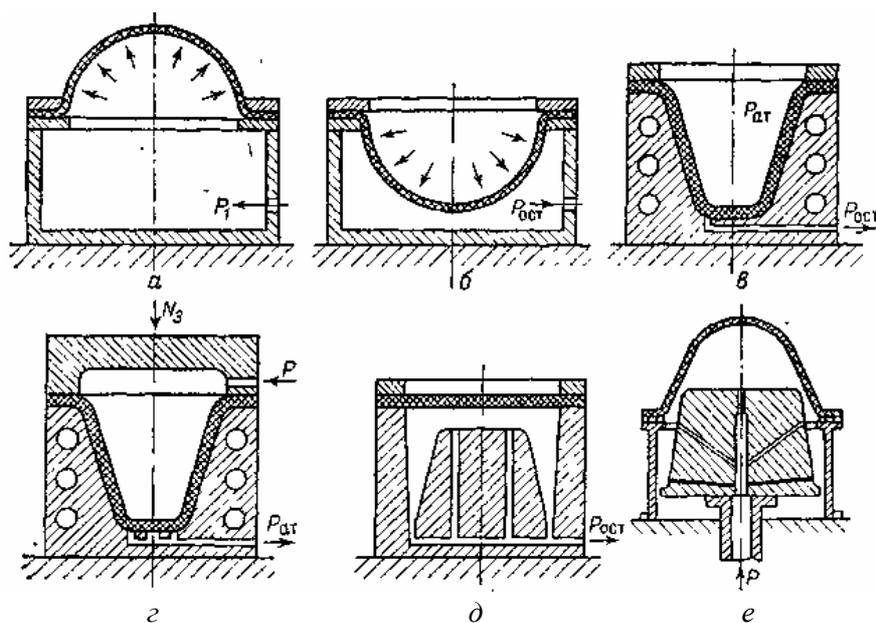


Рис. 9.1. Основные методы формования из листа

При негативном формовании толщина стенок изделия по мере приближения к основанию уменьшается. Применение предварительной механической вытяжки позволяет увеличить равномерность изделий с глубокой вытяжкой. Однако дно таких изделий будет иметь несколько увеличенную толщину, потому что в зоне контакта пуансона с заготовкой формируемый лист охлаждается и практически не растягивается. Если необхо-

димо получить равностенное изделие, то применяют формование с предварительной пневматической вытяжкой.

При позитивном формовании с предварительной механической вытяжкой лист термопласта зажимается в раме над расположенным под ней пуансоном. Пуансон поднимается, и нагретый до температуры формования лист плотно обтягивает его. Затем под листом создается разрежение, и атмосферное давление плотно прижимает лист к поверхности пуансона, точно воспроизводя его форму. Получаемые этим методом изделия имеют более толстое дно и равномерно вытянутые боковые стенки.

9.2. Классификация формующего оборудования

Основным параметром формовочной машины принято считать максимальный размер ее зажимного устройства и наибольшую глубину формования. Минимальные размеры зажимной рамы составляют 200х200 мм, а максимальные могут достигать 2 000х1 000 мм. Глубина формования составляет от 100 до 600 мм. Кроме размеров машины для термоформования классифицируют по следующим признакам:

- методу формования (механическое, пневматическое, вакуумное, комбинированное);
- виду перерабатываемого материала (лист, рулон);
- количеству позиций (одно-, двух- и многопозиционные);
- конструктивным признакам и виду управления;
- назначению (универсальные или специализированные).

9.3. Конструкция машин для термоформования

Однопозиционная универсальная машина для пневмовакуум-формования (рис. 9.2) состоит из вакуум-насоса 1, ресивера 2, инфракрасных нагревателей 3 и 4, верхнего пуансона 5, рамки 6 и формы 7. Лист термопласта закладывают при работе в рамку, которую затем перемещают на позицию нагрева между нагревателями 3 и 4. Рамку с нагретым до высокоэластического состояния листом устанавливают над формой 7 и приступают к формованию. Пуансон 5 может использоваться как для предварительной механической вытяжки, так и для позитивного формования. При использовании пневматической вытяжки или формовании с воздушной подушкой к пуансону через клапанный распределитель 10 подводят сжатый воздух. За-

тем открывается клапан 8, полость формы соединяется с ресивером и из нее быстро отсасывается воздух. Когда давления в ресивере и форме сравняются, клапан 8 закрывается и открывается клапан 9, соединяющий форму с вакуум-насосом 1, создающим в форме окончательное разрежение.

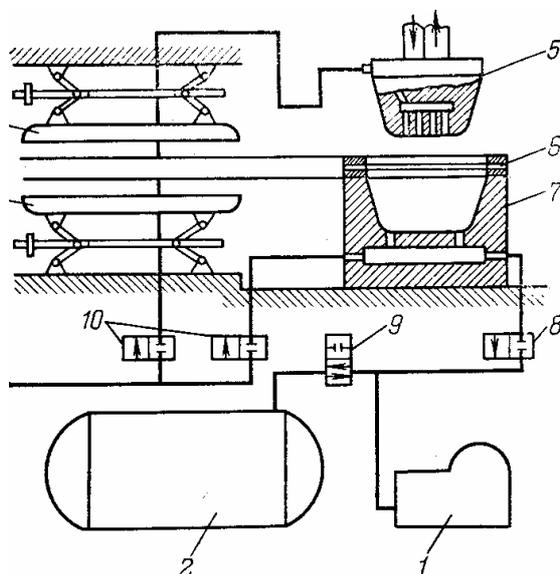


Рис. 9.2. Однопозиционная универсальная машина для пневмовакуум-формования

9.4. Оборудование для нагрева листовых заготовок

Нагрев листа до температуры формования может осуществляться инфракрасными нагревателями, расположенными с одной или обеих сторон нагреваемого листа. В качестве нагревателей используют элементы сопротивления, изготовленные из нихромовой проволоки, лент или стержней. Проволочные элементы выполняют в стеклянной или керамической изоляции. Максимальная температура проволоки со стеклянной изоляцией составляет 643 – 693 К. Удельная мощность таких нагревателей при максимальной температуре равна 2,2 – 3,3 Вт/см². Использование керамической изоляции позволяет повысить температуру поверхности проволоки до 873 К и довести удельную мощность до 6 Вт/см². Недостатком керамической изоляции является большая масса нагревателя.

Рабочая температура ленточных и стержневых нагревателей составляет 773 – 1 073 К. Их удельная мощность зависит от плотности монтажа отдельных элементов и может достигать 10 Вт/см².

На некоторых машинах в качестве нагревательных элементов используют трубчатые электронагреватели (ТЭНы). Они состоят из жаропрочных

металлических трубок, внутри которых расположена нихромовая спираль, изолированная от стенок трубки электроизоляционным материалом, обладающим хорошей теплопроводностью (например, оксидом магния). Рабочая температура трубчатых нагревателей достигает 1 023 – 1 273 К.

Применяют также кварцевые излучатели, трубка которых заполняется инертным газом. По оси трубки в дисковых изоляторах проходит вольфрамовая спираль, нагревающаяся при работе до температур выше 2 000 °С. Эти нагреватели работают в коротковолновом диапазоне инфракрасного излучения. Они обладают малой инерционностью и высоким КПД.

Инфракрасный нагреватель представляет собой металлический каркас, на котором укреплена батарея нагревательных элементов. Со стороны, противоположной нагреваемому термопласту, и с боков каркас обшит тонкой листовой сталью. Для уменьшения потерь энергии в окружающую среду между каркасом и обшивкой устанавливают теплоизоляцию из листового асбеста.

Конструкция нагревателя должна обеспечивать равномерную температуру по всей поверхности нагреваемого листа. Поэтому, если площадь обогреваемого листа превышает 0,5 м², нагреватель разбивают на несколько тепловых зон с индивидуальным регулированием температуры. В каждую зону, снабженную индивидуальным регулятором температуры, входит один или несколько нагревательных элементов. Группируя нагревательные элементы в тепловые зоны, необходимо придерживаться следующих правил.

Тепловые зоны должны располагаться таким образом, чтобы обеспечивать компенсацию потерь тепла на краях листа.

При наличии комплекта зажимных рамок, рассчитанных на формирование изделий с различной площадью обогрева, тепловые зоны должны располагаться таким образом, чтобы изменение поверхности обогрева, достигаемое отключением части элементов, обеспечивало ее соответствие поверхности любого зажимного устройства, входящего в комплект машины. Для нагрева жестких (полистирол, поликарбонат, полипропилен) и толстолистовых термопластов рекомендуется применять двухсторонний обогрев. Поэтому машины снабжают двумя нагревателями с одинаковой площадью нагрева, излучающие поверхности которых направлены навстречу друг другу. При этом в большинстве случаев мощность верхнего нагревателя в 1,5 раза больше мощности нижнего.

На одно- и двухпозиционных машинах чаще всего применяют подвижные нагреватели, перемещающиеся в горизонтальной плоскости; на многопозиционных обычно используют неподвижные нагреватели.

В некоторых конструкциях нагрев листовых заготовок производится в закрытых камерах. По принципу действия эти камеры можно разделить на следующие: с чисто конвективным обогревом, инфракрасными нагревателями и со смешанным лучисто-конвективным обогревом. В камерах с конвективным обогревом нагрев заготовки осуществляется потоком горячего воздуха, поступающего от воздуходувки через электрический калорифер. Недостатком таких камер является большая продолжительность нагрева, достигающая для толстолистовых заготовок 40 мин.

В камерах инфракрасного обогрева обычно используют двухсторонний нагрев. Применение таких камер полностью исключает влияние микроклимата цеха на скорость и равномерность нагрева, однако наличие камеры утяжеляет машину и увеличивает ее габариты. Наилучшие результаты дает применение комбинированных камер, сочетающих инфракрасный и конвективный нагрев.

Контроль температуры нагреваемого листа может производиться либо по продолжительности нагрева, либо по показаниям измерительных приборов. Применяют как контактные, так и бесконтактные методы замера. К контактным методам относится использование различных термодпар, чувствительный элемент которых соприкасается с поверхностью заготовки. Иногда прибегают к заделке спая в толщу листа. Бесконтактные методы замера температуры основаны на применении различных пирометров.

9.5. Основные узлы и агрегаты

Зажимные устройства. По принципу действия все зажимные устройства можно разделить на два типа: рамные и лепестковые. Устройство рамного типа состоит из двух рам, между которыми закрепляется лист. Нижняя часть рамы при раскрытии, как правило, остается неподвижной. Верхняя часть рамы при установке заготовки и съеме готового изделия или откидывается на шарнирах, или приподнимается параллельно нижней части рамы.

Для обеспечения безопасности работы оператора в зоне открытой рамы на машинах с ручным и полуавтоматическим циклом предусмотрены специальные блокирующие устройства, исключающие возможность защемления рамой рук оператора. Для этой цели применяют противовесы, пружины или подставки, удерживающие рамы в открытом состоянии.

В том случае, когда крепление листа осуществляется вручную, чаще всего применяют кулачковые зажимы. При пневматическом приводе для малых машин используют универсальные цилиндры, одновременно обес-

печивающие как раскрытие рам, так и зажим заготовки (рис. 9.3). На более тяжелых машинах устанавливают зажимные рамы со специальным цилиндром подъема (рис. 9.4). Подъем верхней рамы 2 производится цилиндром 1, а зажим заготовки осуществляется посредством четырех цилиндров 5 с помощью захватов 4, закрепленных на нижней раме 3.

Герметизация листа 3 в зажимной раме (рис. 9.3) осуществляется при помощи прокладки из теплостойкой пористой резины 2, укрепленной в пазу нижней рамы 1. Прижимной выступ верхней рамы 4 не должен иметь острых кромок, чтобы не прорвать тонкий лист. Температура зажимной рамы при работе должна поддерживаться постоянной и выбираться в зависимости от природы перерабатываемого материала. Так, листы из полиэтилена зажимают в холодной раме, так как полиэтилен прилипает к горячему металлу; при формовании ударопрочного полистирола температуру рамы следует поддерживать в пределах 323 – 343 К.

Рис. 9.3. Зажимная рама с общими цилиндрами подъема и крепления заготовки:

1 – качающийся цилиндр; 2 – формовочная камера; 3 – нижняя рама; 4 – верхняя рама; 5 – шарнир

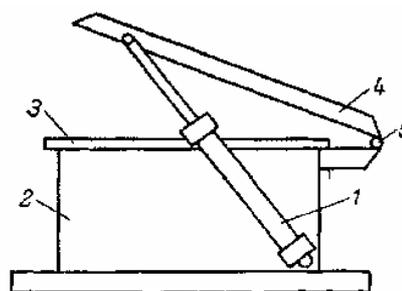
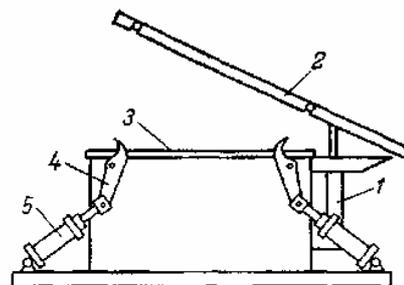


Рис. 9.4. Зажимная рама со специальным цилиндром подъема:

1 – цилиндр; 2 – верхняя рама; 3 – нижняя рама; 4 – захваты; 5 – цилиндры



Сила F , которая зажимает лист при формовании, определяется из условия

$$F = \frac{\sigma \cdot \delta \cdot \Pi}{f},$$

где σ – растягивающее напряжение, возникающее при формовании;
 δ – толщина листа;
 Π – периметр зажимаемого листа;
 f – коэффициент трения лист – резина.

Более удобны в работе, хотя и менее распространены, лепестковые зажимные устройства (рис. 9.5). Нижняя рама зажима 1 неподвижна, а его верхняя часть, состоящая из рейки 2 с рычагами 4, шарнирно закреплена на оси 3, на которой она может поворачиваться на 90°. Пружина 5, оттягивая рычаг 4, открывает зажим. После установки в нижнюю раму листовой заготовки шток шарнирно закрепленного пневмоцилиндра 6 нажимает на рычаг 4 и плотно прижимает лист 7 к установленному в нижней раме уплотнению 8. По окончании формования давление из рабочей полости цилиндра сбрасывается, и пружина 5 открывает зажим.

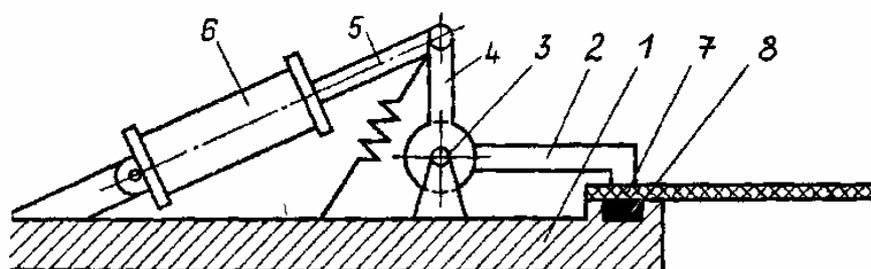


Рис. 9.5. Зажимное устройство лепесткового типа

В некоторых универсальных машинах, рассчитанных на мелкосерийный выпуск изделий различного размера, для крепления заготовки применяют резиновую мембрану (рис. 9.6). В таких машинах форма 3, размер которой всегда существенно меньше, чем размер рамы 1 устанавливается в вакуумной камере 2 так,

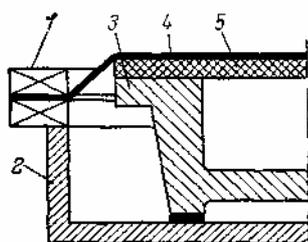


Рис. 9.6. Крепление заготовки при помощи резиновой мембраны

есть в вакуумной камере 2 так, чтобы верхняя плоскость формы была несколько выше плоскости разреза зажимной рамы. Листовая заготовка 5 укладывается на форму, нагревается, а затем быстро прижимается к форме опускающейся вместе с зажимной рамой резиновой мембраной 4, которая плотно прижимает заготовку к форме. Далее полость матрицы соединяется с вакуумной линией, и происходит формование листа, при котором мембрана деформируется совместно с заготовкой. Дополнительным преимуществом метода зажима резиновой мембраной является возможность формования изделий из перфорированной заготовки.

Пневмосистемы используют как для создания давления формования, так и для привода различных вспомогательных механизмов (привод механизмов перемещения нагревателей, смыкания зажимных рамок, перемещение столов и т.д.). Вакуум-системы используют, как правило, только для создания перепада давлений, обеспечивающего процесс формования.

Вакуум-системы обычно состоят из вакуум-насоса, ресивера, системы клапанов управления, трубопроводов и вакуумметра. В вакуум-формовочных машинах, как правило, применяют насосы низкого вакуума, создающие при нулевом расходе во всасывающем патрубке минимальное давление порядка $4 \cdot 10^{-3} - 1,3 \cdot 10^{-5}$ МПа (30 – 0,1 мм рт. ст.). Обычно для этой цели используют одно- и двухступенчатые поршневые, ротационные пластинчатые и двухроторные винтовые вакуум-насосы.

В качестве ресиверов применяют сварные цилиндрические резервуары с эллиптическими днищами, изготовленные из тонколистовой стали. Для упрочнения стенок ресиверов используют внутренние ребра. Вакуумные коммуникации внутри машины выполняют из бесшовных стальных труб, медных трубок и вакуумных резиновых шлангов. На машинах с автоматическим и полуавтоматическим управлением применяют вакуумные клапаны с электромагнитным управлением, на машинах с ручным управлением – одно- и многоходовые краны.

Все машины в зависимости от вида пневмосистемы можно разделить на две категории: имеющие собственный компрессор и ресивер и питающиеся сжатым воздухом из цеховой магистрали. Рабочее давление сжатого воздуха составляет 0,4 – 2,5 МПа. Наибольшее распространение в формовочных машинах получили поршневые компрессоры.

Ресиверы для сжатого воздуха по конструкции почти не отличаются от вакуумных, но рассчитаны на работу под внутренним давлением. В качестве пневмоприводов используют сварные стальные трубы, медные трубки и резиновые шланги, рассчитанные на работу под внутренним давлением. В системах управления автоматических машин применяют электромагнитные запорные клапаны, в машинах с ручным управлением – краны. Если в машине применяется сжатый воздух с различным давлением (например, в системе формования и в сети привода), то на каждой магистрали устанавливается свой редуктор.

При определении производительности вакуум-насоса исходят из того, что он при непрерывной работе во время вспомогательных операций создает разрежение в ресивере, а в завершающий момент формования, отключаясь от ресивера, отсасывает воздух из формы. При таком режиме работы часовая производительность насоса должна быть немного больше произведения объема рабочей полости формы на число циклов в час.

9.6. Многопозиционные вакуум-формовочные машины

Многопозиционные машины могут быть укомплектованы однородными позициями или позициями разного назначения. На машинах с однородными позициями однотипные технологические операции (например, формование, охлаждение изделия) проходят на нескольких (обычно двух или трех) позициях.

На многопозиционных машинах с позициями разного назначения на каждой позиции проводятся свои, присущие только этой позиции технологические операции.

Многопозиционные машины с позициями разного назначения в зависимости от характера движения перерабатываемого материала подразделяют на карусельные, ленточные и барабанные. Для переработки толстолистовых материалов (толщиной 2 – 15 мм) наибольшее распространение получили трехпозиционные карусельные машины.

Четырехпозиционная машина конвейерного типа (рис. 9.7) состоит из цепного транспортера 1 с гидравлическим или пневматическим приводом периодического действия, на котором укреплены четыре зажимные рамы 2. При движении транспортера каждая рама по очереди останавливается против одного из исполнительных механизмов.

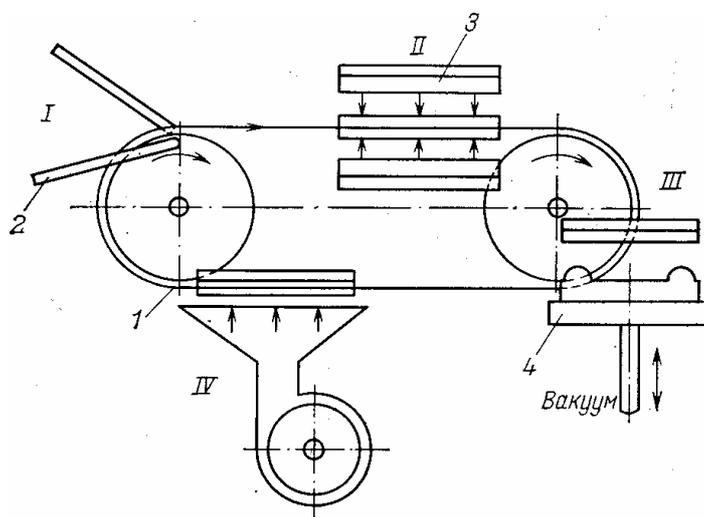


Рис. 9.7. Четырехпозиционная вакуум-формовочная машина конвейерного типа

На позиции I производится выгрузка готового изделия и установка новой заготовки. Затем рама с заготовкой перемещается на позицию II, где расположены двухсторонние инфракрасные нагреватели 3. Нагретая заго-

товка передвигается на позицию III, на которой установлен формующий механизм 4, осуществляющий формование изделия. Отформованное изделие переносится на позицию IV, где оно охлаждается воздушным потоком.

Тема 10

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЗИНОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

10.1. Общая характеристика резины

Резина представляет собой продукт вулканизации резиновой смеси (композиции, содержащей каучук, наполнители, пластификаторы, вулканизирующие агенты, ускорители и активаторы вулканизации и другие ингредиенты). Резина – конструкционный материал с уникальными свойствами. Важнейшее из них – высокая эластичность, т.е. способность к большим обратимым деформациям (до 1 000 %). Кроме того, резина хорошо сопротивляется истиранию, многократному растяжению и изгибу, часто обладает высокой стойкостью к действию масел и ряда других сред. Резина – хороший диэлектрик, газо- и гидронепроницаема, в невулканизированном состоянии обладает высокой способностью к формообразованию.

Различают резину общего и специального назначения. Изделия из резины общего назначения выпускаются в виде пластин-листов и рулонов. Из листовой резины изготавливают уплотнения неподвижных соединений для предотвращения трения между металлическими поверхностями, для восприятия ударных нагрузок в машинах и агрегатах. К резине общего назначения относится и «пищевая» резина, контактирующая с пищевыми продуктами.

Резину общего назначения применяют также для изготовления шин, ремней, рукавов, транспортной ленты, изоляции кабелей и различных изделий, для защиты металла от коррозии. Она может работать в среде воды, слабых растворах кислот и щелочей, на воздухе в интервале температур от 50 до 130 °С.

Резины специального назначения подразделяются на маслобензостойкие; теплостойкие и морозостойкие; магнитные и прозрачные; стойкие к газам и жидкостям.

Широко используется прорезиненная ткань с одной или двумя резиновыми обкладками или без них для изготовления плоских приводных ремней.

Применяется резина и для изготовления уплотняющих деталей. Это манжеты, уплотняющие цилиндры и штоков гидравлических устройств, валов, пневматических устройств и т.д.

Каждая марка резины предназначена для определенных условий работы, и под действием света, кислорода воздуха, озона, тепла в ней происходит старение – процессы окисления и другие, вызывающие изменение свойств и внешнего вида (например, образование складок, трещин и др.). Кроме того, резина обладает способностью разбухать. Поэтому при хранении резины соблюдают определенные правила: воздух должен быть сухим (влажность 40 – 60 %), температура в помещении 5 – 20 °С, изделия нельзя складывать стопкой.

10.2. Рецептура резиновых смесей

Необходимость разработки сложной и разнообразной рецептуры резиновых смесей вызвана разнообразием требований, предъявляемых к резиновым техническим изделиям, а также их широким ассортиментом. Рецепт резиновой смеси характеризует качественный и количественный состав смеси и отражает ее технологические свойства и технические качества резины из нее.

Состав резиновой смеси должен обеспечивать максимально возможное сохранение постоянства качества изделия при длительном хранении и гарантировать продолжительность срока службы. Составные части рецепта и их количественное соотношение необходимо подбирать таким образом, чтобы технологические свойства смеси и свойства готового изделия были наилучшими, чтобы присутствие одних ингредиентов не парализовало и не замедляло действия других.

Варьированием качественного и количественного состава резиновой смеси можно получать материалы, существенно различающиеся по физическим и эксплуатационным свойствам. Так, например, введение в резиновую смесь 3 массовых частей серы на 100 частей каучука позволяет получить эластичную резину, а 30 частей – эбонит. Введение в каучук технического углерода вызывает многократное увеличение прочности за счет образования цепочечных структур, добавление пластификаторов – повышение пластичности смеси.

Основным ингредиентом резины является каучук. Каучуки представляют собой природные или синтетические полимеры, которые обладают высокоэластичными свойствами.

Натуральный каучук получают из сока (латекса), извлекаемого из стволов каучуковых деревьев. Более широкое применение в технологии

резины получили синтетические каучуки, отличающиеся разнообразием свойств. Синтетические каучуки получают из спирта, нефти, попутных газов нефтедобычи, природного газа. Уровень свойств каучуков меняется в широких пределах, что оставляет большую свободу выбора технологам при получении различных резин.

Выбор каучука или комбинации каучуков в рецепте резиновой смеси основан на знании структуры каучуков, их химической природы, распределения активных наполнителей и вулканизирующих агентов, особенностей вулканизации каучуков и др.

Для уменьшения расхода каучука в смесь вводят порошкообразные (тальк, мел, сажу и др.) или тканевые (корд, ткани) наполнители.

В зависимости от воздействия на каучук различают наполнители: активные (сажа, цинковые белила и др.) – повышают механические свойства; неактивные (тальк, мел и др.) – увеличивают объем и удешевляют резину; специальные (каолин и бест) – придают резине химическую стойкость.

Светлые резины получают при добавлении в смесь наполнителей в виде белой сажи, а окрашенные – красителей.

Красители (минеральные или органические соединения) в ряде случаев защищают резину от старения.

Содержание наполнителей должно быть оптимальным. Например, при использовании технического углерода (сажи) следует учитывать способность каучука к кристаллизации. Для кристаллизующихся каучуков дозировки технического углерода значительно меньше, чем для некристаллизующихся. Оптимальные дозировки наполнителей для обеспечения максимальной прочности составляют 20 – 30 % масс.

Для улучшения технологических свойств резиновых смесей и физико-механических показателей вулканизаторов часто применяют комбинации наполнителей.

Выбор вулканизирующей группы определяется выбором каучука. Дозировки вулканизирующей группы корректируются в зависимости от выбранного наполнителя. В качестве вулканизирующего вещества чаще всего используют серу в количестве до 4 % от массы каучука. Процесс вулканизации ускоряют введением окиси свинца и магния от 0,5 до 2,5 %.

Противостарители предназначены для предохранения резиновых изделий от старения (окисления каучука), ухудшающего ее эксплуатационные свойства (теряется эластичность, появляется хрупкость).

Противостарители выбирают в соответствии с требованиями к изделию. Для повышения сопротивления тепловому старению и озоностойкости резин из стереорегулярных каучуков в смеси вводят противостарители и антиозонанты.

Пластификаторы (битумы, парафин, масла) улучшают эластичность резины, повышают ее морозостойкость.

Пластификаторы с бутилкаучуком применяют, в основном, для улучшения технологических свойств смесей. Наилучшие результаты получены введением 2 – 5 % масс. парафина, вазелина, вазелинового масла и петролатума. Вазелиновое масло минимально снижает механические свойства резин, поэтому его наиболее широко используют в промышленности. Стеариновая кислота является диспергатором наполнителей, активатором ускорителей и применяется в дозировке 1 – 3 % масс.

Для уменьшения стоимости изделий и экономии каучука в резины добавляют регенерат – продукт переработки утилизированных резиновых изделий и отходов.

Для удовлетворения разнообразных требований, предъявляемых к резиновым смесям и изделиям из них, при разработке рецептуры резиново-технических изделий (РТИ) используется много других ингредиентов, обладающих специфическими свойствами.

Таким образом, основная проблема при разработке рецептуры резиновых смесей заключается в определении количественного соотношения компонентов, обеспечивающего получение резины с требуемыми свойствами.

Для решения этой задачи применяется метод планирования эксперимента, позволяющий строить интерполяционные уравнения, связывающие состав резиновых смесей с их основными физико-механическими показателями.

10.3. Оборудование для получения резиновых смесей

Процесс получения резиновых изделий протекает в такой последовательности: пластификация каучука и приготовление резиновой смеси; формование из смеси заготовок или изделий; вулканизация изделий.

Резиновую смесь, как правило, приготавливают на резиносмесителях периодического типа или на вальцах. Предварительно на весах, обеспечивающих необходимую точность, взвешивают компоненты, согласно выбранной рецептуре.

Каучуки развешиваются индивидуально или централизованно (зависит от организации технологического процесса) на полуавтоматических ленточных весах, которые загружают вручную.

Технический углерод подается к смесительному оборудованию с помощью шнековых транспортеров или вакуумно-пневматических установок. Скребокковый и шнековый способы, предназначенные для гранулиро-

ванных материалов, редко используют в производстве РТИ, так как некоторые виды технического углерода выпускают в виде порошка: гранулы легко разрушаются (до 40 %) при транспортировании в скребковых и шнековых транспортерах. Ленточный и пневматический способы пригодны для транспортирования технического углерода в любом виде, однако при ленточном способе необходимы конвейерные ленты специальной конструкции с отбортованной лентой. Вакуумно-пневматическая подача является беспыльной и более экономичной, чем механическая, и применяется на большей части заводов РТИ. Развешивают технический углерод индивидуально у каждого смесителя.

На заводах РТИ используется более 100 наименований ингредиентов резиновых смесей, которые резко различаются по свойствам. В тех случаях, когда ингредиенты поступают в некондиционном виде, необходима предварительная подготовка. Светлые ингредиенты (например, мел, каолин) подвергают струйно-воздушной сушке в процессе пневмотранспортирования и воздушной сепарации (отсеиванию).

Ингредиенты резиновых смесей, которые расходуются в значительных количествах – мел, каолин, – целесообразно подавать со склада к расходным бункерам с помощью пневмотранспорта.

Для подачи материалов, использующихся в меньших количествах, чем мел и каолин, удобно использовать контейнеры.

Микрокомпоненты – ингредиенты, навески которых невелики (от нескольких десятков граммов до 3 – 5 кг), – развешивают централизованно в полиэтиленовые пакеты на развесочно-упаковочных автоматах. Материалы в пакетах загружают в смесители, причем полиэтилен в процессе смешения плавится и входит в состав смеси. Однако полиэтилен совместим не со всеми каучуками. Кроме того, температура плавления полиэтилена 108 – 110 °С, поэтому при низких температурах он может не расплавиться. При изготовлении смеси на вальцах загружать материал в пакетах нельзя.

Мягчители подают к смесителям по трубопроводам с помощью насосов. Трубопроводы для вязких и густых мягчителей обогреваются при помощи паровых рубашек. Дозирование проводят весовым методом.

На заводах применяется, как правило, прерывное смешение в резиносмесителях (рис. 10.1) периодического действия по одно- или многостадийному режиму.

Некоторые типы резиновых смесей изготавливают на вальцах. Под резиносмесителями устанавливается обычно двое вальцов. Иногда вместо листовальных вальцов ставят мощные шприц-машины – слабберы.

Совершенствование существующего или создание нового оборудования, механизация и автоматизация подачи и загрузки ингредиентов в смеситель – все это способствует интенсификации процесса.

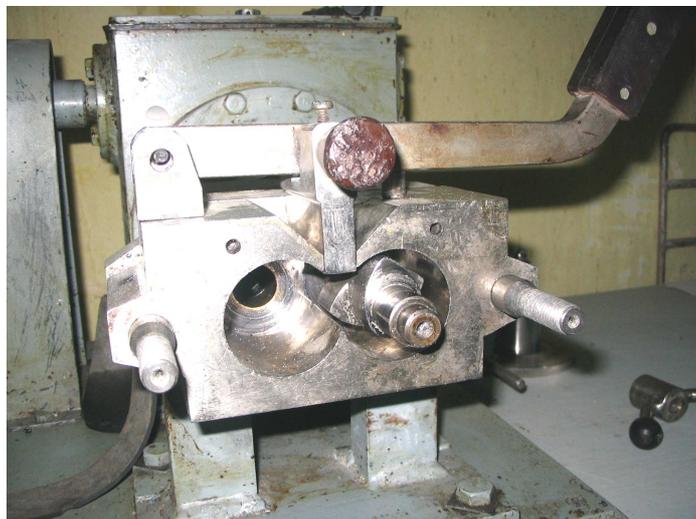


Рис. 10.1. Резиносмеситель

На рис. 10.2 показана схема двухстадийного смешения. Ручной труд используется только на участке 9, где дорабатывают смеси после введения в резиносмеситель 7 ускорителей и серы на второй стадии смешения. При такой схеме достигается высокая степень механизации и автоматизации процессов приготовления резиновых смесей.

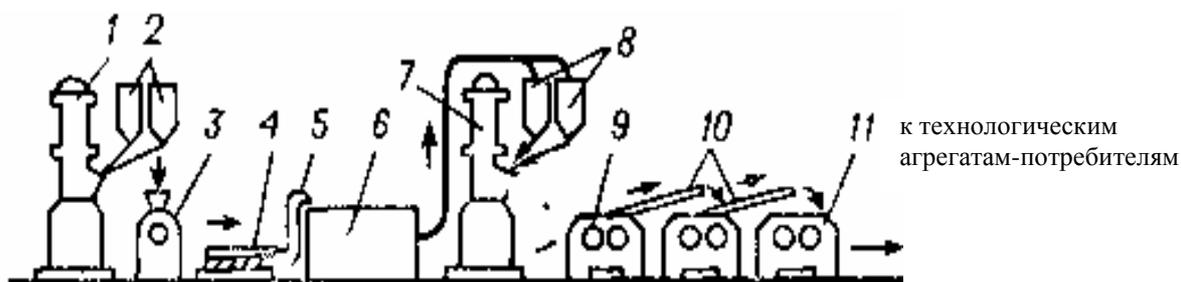


Рис. 10.2. Схема двухстадийного смешения:

1, 7 – резиносмесители первой и второй стадий смешения соответственно; 2, 8 – расходные бункеры; 3 – гранулятор; 4 – вибротранспортер; 5 – элеватор; 6 – охлаждающая камера; 9, 11 – вальцы; 10 – транспортеры

На заводах РТИ применяются двухстадийные процессы смешения, т.к. смеси приготавливают по разным рецептам в небольших количествах и не во всех случаях применим поточный метод производства. Двухстадийный режим смешения целесообразен при изготовлении смесей с сильными

ускорителями и смесей массового потребления. Дальнейшее совершенствование процессов приготовления смесей невозможно без внедрения непрерывных процессов смешения, для которых применяют червячные машины новой конструкции – трансфермиксы.

На рис. 10.3 показан вариант перспективной схемы автоматизированного процесса смешения. На первой стадии смешения используют резиносмеситель 2 периодического действия. Под ним устанавливают агрегат 4 типа «Трансфермикс» с гранулирующей головкой. В трансфермиксе смесь по мере движения еще и дорабатывается. Это дает возможность сократить время на смешение в резиносмесителе, что имеет большое значение для увеличения производительности поточно-автоматической линии приготовления резиновых смесей.

В последнее время проводится работа по изготовлению резиновых смесей на основе дробленых каучуков. Установлено, что при этом не только увеличивается производительность процесса смешения, но и улучшается качество смесей.

Последней стадией процесса смешения является охлаждение. От него зависит качество смесей, поступающих на переработку. В производстве РТИ прямые потоки используются редко, поэтому смеси необходимо охладить и хранить до подачи в конфекционные цехи.

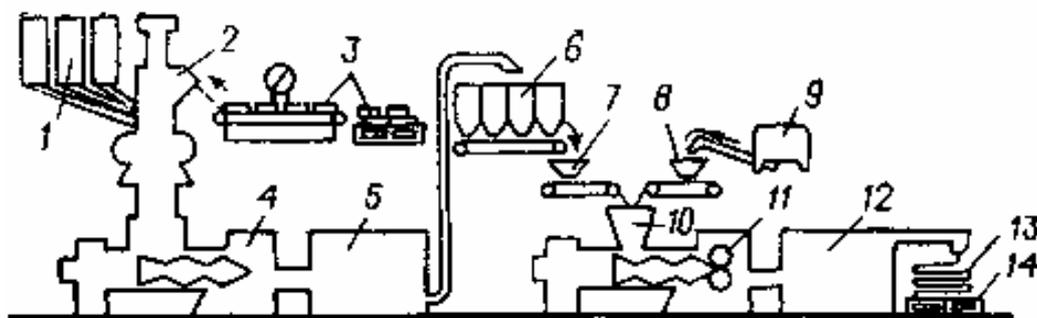


Рис. 10.3. Схема автоматизированного процесса смешения:

1, 6 – расходные бункеры; 2 – резиносмеситель периодического действия; 3 – установка для развески каучуков; 4 – червячный агрегат типа «Трансфермикс»; 5 – охлаждающая камера для гранул; 7, 8 – автоматические весы; 9 – установка для питания весов ускорителями и вулканизирующим агентом; 10 – червячная машина для второй стадии смешения; 11 – валковая головка червячной машины; 12 – установка для охлаждения резиновой ленты; 13 – резиновая лента; 14 – поддон

Применяют самые различные способы охлаждения: обычные ванны, карусели с вешалами, ванны с ленточным транспортером и др. Но все они плохо механизированы. Более совершенны охлаждающие устройства с подвесным цепным конвейером и душирующей системой; фестонные ох-

лаждающие устройства, которые отбирают, охлаждают, режут лист резины и наматывают на бобины без участия рабочего.

Температура охлаждающей воды должна быть 8 – 10 °С, однако в промышленности часто используется вода с температурой выше 16 °С, что приводит к преждевременной вулканизации резиновых смесей. При отсутствии артезианской воды необходимо использовать специальные холодильные установки, что особенно важно для интенсификации процесса смешения.

На каждом виде оборудования свой режим изготовления смесей, который характеризуется: величиной навески, порядком загрузки ингредиентов, временем смешения по стадиям и температурой смешения.

Эти параметры подбираются опытным путем и зависят от типа каучука и состава смеси.

От качества изготовления смесей зависят их технологические показатели и свойства готового изделия.

Полученная в результате смешивания масса подвергается каландрованию или другой формообразующей операции.

Каландрование резиновых смесей проводят на каландрах и получают в результате сырую резину в виде листов или лент определенной толщины. По конструкции каландры представляют трехвалковую клеть листопркатного стана. Резиновая масса, проходя в зазоре между верхними валками, нагревается, обволакивает средний валок и выходит через зазор между средним и нижним валками. Листы каландрованной сырой резины (не вулканизированной) наматывают на деревянные бобины, предварительно разделив полиэтиленовой пленкой, и тем самым, предотвращая их слипание. В таком виде сырая резина может сохраняться до трех месяцев.

10.4. Формообразование в технологии резины

К основным приемам выполнения заготовок РТИ относятся: дублирование, резка, склеивание деталей, профилирование, формование, литье под давлением.

Дублирование – соединение двух или более каландрованных листов резины или слоев прорезиненной ткани в одну пластину большей толщины или соединение резиновых и тканевых слоев в различных комбинациях по числу и очередности. Дублирование применяют при изготовлении транспортерных лент, приводных ремней и технических пластин. Этот процесс осуществляют на каландрах или перекрестным наложением листов с последующей прикаткой.

Резка заготовок резиновой смеси и прорезиненной ткани. В производстве РТИ применяют различные виды резки: продольную, поперечную, под углом и фасонную.

Продольную резку производят дисковыми ножами, которые прижимают к валку каландра. Такую резку ткани на полосы осуществляют на плоскорезательных машинах, в которых ткань проходит под или над ножами при перекатке с одного ролика на другой.

Поперечную резку выполняют ножом, установленным на барабане над отборочным транспортером, или с помощью металлических планок с режущими выступами. В этом случае планку крепят к отборочному транспортеру на определенном расстоянии. Нажимной валик соприкасается с резиновым листом. Отрезание производится давлением на резиновый лист валика в момент прохождения под ним планки транспортера. Ткани или резину, свернутые в рулон, разрезают на токарных станках.

Резку под углом (обычно 45°) осуществляют следующим образом. Под углом 45° закраивают ткань для рукавов и ремней и режут на диагонально-резательной машине (ДРМ).

Фасонная резка применяется для сложных фасонных заготовок, которые вырубают посредством штанцевых ножей или вырезают с помощью закройных шаблонов.

Склеивание деталей – ручная операция, которая сохранилась в мелкосерийном производстве. Склеивание производят на дорнах или моделях.

Профилированием на червячных прессах изготавливают заготовки для шнуров, трубок, рукавов, различных профилей, прокладок и т.д.

Формование – выполнение заготовок для формовых изделий. Их готовят из каландрованных или дублированных полос или профилированных полос и шнуров. Выполнение этих заготовок обязательно сопровождается контролем их массы.

Литье под давлением при изготовлении изделий значительных габаритов или сложной конфигурации более удобно, чем формование. В этом случае форма заполняется предварительно разогретой пластичной сырой смесью под давлением 30 – 150 МПа. Резиновая смесь приобретает форму, соответствующую рабочей полуформе. Прочность резиновых изделий увеличивается при армировании стенок стальной проволокой, сеткой, капроновой или стеклянной нитью. Созданы червячные литьевые агрегаты, прессы-агрегаты, позволяющие выпускать заготовки и вулканизовать изделия в одном потоке.

Сложные изделия – автопокрышки, гибкие бронированные шланги – получают методом последовательной намотки на полый металлический

стержень слоев резины и изолирующих и армирующих материалов. Их сборку выполняют на специальных станках.

10.5. Вулканизация

При любом методе изготовления изделия подвергают вулканизации в процессе или после их изготовления.

Вулканизация – завершающая операция технологического процесса, в результате которой формируются физико-механические свойства резины. Вулканизация разделяется на горячую (процесс проводится в присутствии серы при 120 – 150 °С), холодную (изделие на 0,5 – 3 мин погружают в раствор полухлористой серы в бензине) и газовую (изделие попеременно обрабатывают сернистым газом SO_2 и сероводородом H_2S). Вулканизацию ведут в специальных котлах с паровым обогревом, гидравлических прессах с электрическим и паровым обогревом пресс-форм, индивидуальных вулканизаторах.

Основной параметр вулканизации – время – определяется составом сырой резины, температурой вулканизации, формой изделий, природой вулканизационной среды и способом нагрева.

При вулканизации линейная структура каучука превращается в трехмерную (пространственную). Процесс ведется с обязательным введением вулканизирующих добавок (серы, оксидов металлов), а для увеличения скорости вулканизации – ускорителей. Для устойчивости резины против старения в состав смеси добавляют фенолы, воск и другие компоненты, которые реагируют с кислородом воздуха с большей скоростью, чем каучук, предохраняя его от окисления. Получению однородной массы способствуют каучук и ингредиенты-мягчители в виде вазелина, парафина и жирных кислот.

Наиболее распространенным и испытанным периодическим способом является вулканизация в прессах, котлах и автоклав-прессах.

Вся формовая техника вулканизуется на этажных прессах с паровым или электрическим обогревом плит. Прессовое оборудование обладает высокой производительностью, универсальностью и возможностью быстрого перехода на выпуск другого изделия. Но при этом способе имеются значительные потери резиновой смеси в выпрессовках и большие потери теплоты; кроме того, уровень механизации процесса невысок, т.к. процесс связан с применением тяжелого ручного труда.

Литье резиновых смесей под давлением является одним из наиболее перспективных способов: сокращается время вулканизации, особенно при

изготовлении толстостенных изделий, благодаря разогреву смеси в процессе впрыска ее в форму; отпадает необходимость приготовления заготовок для формования; сокращаются трудовые затраты на отделку вулканизаторов благодаря получению безоблойных изделий.

В настоящее время одна из основных задач технологов – вулканизация смесей в производстве формовых РТИ по ускоренным режимам. Одним из самых простых способов сокращения времени вулканизации является повышение температуры вулканизации. Испытания данного метода показали, что температуры 143 – 151 °С, обычно принятые при прессовой вулканизации в формах, можно повысить до 170 – 190 °С, – это, в свою очередь, дает сокращение времени вулканизации изделий толщиной 4 – 6 мм до 1 – 5 мин.

На ротационных и барабанных машинах осуществляют непрерывную вулканизацию лент, пластин, ковров, ремней. Вулканизация проходит за счет нагретого барабана и дополнительного нагревания через прессующую ленту (рис. 10.4). Изделие поступает в зазор между поверхностями барабана 1 и ленты 5. По мере движения изделие нагревается и вулканизуется. С целью интенсификации нагревания изделия через ленту на новых вулканизаторах устанавливают инфракрасные излучатели 8.

Вулканизатор с двумя лентами и двумя обогреваемыми барабанами значительно производительнее. Вулканизуемый материал поступает в зазор между барабаном, лентой и нижним прижимным валком, огибает вместе с лентой барабан, проходит к зазору между барабаном и верхним валком и затем направляется в приемно-закаточное устройство. Для повышения температуры вулканизации по дуге вулканизационной зоны барабана расположены нагревательные элементы.

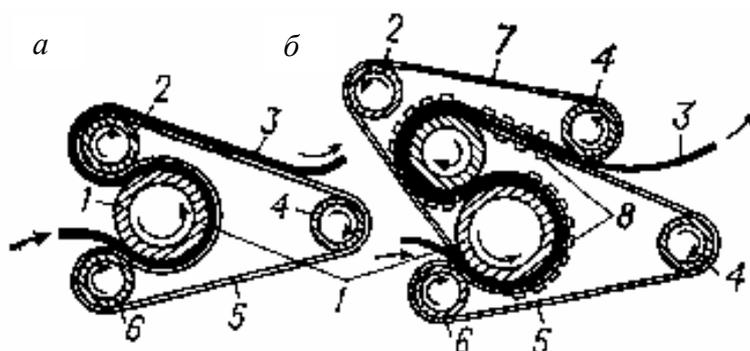


Рис. 10.4. Схема барабанного вулканизатора с одной (а) и с двумя (б) лентами: 1 – обогреваемый барабан; 2, 6 – прессующие барабаны; 3 – изделие; 4 – натяжной барабан; 5, 7 – ленты; 8 – инфракрасный излучатель

Новые конструкции барабанных вулканизаторов снабжены зоной довулканизации, расположенной между верхним и задним валками. В этом случае в вулканизационной зоне осуществляется подвулканизация изделия под давлением стальной ленты, а завершается вулканизация в зоне довулканизации уже без давления.

Для вулканизации клиновых ремней созданы специальные барабанные вулканизаторы (рис. 10.5).

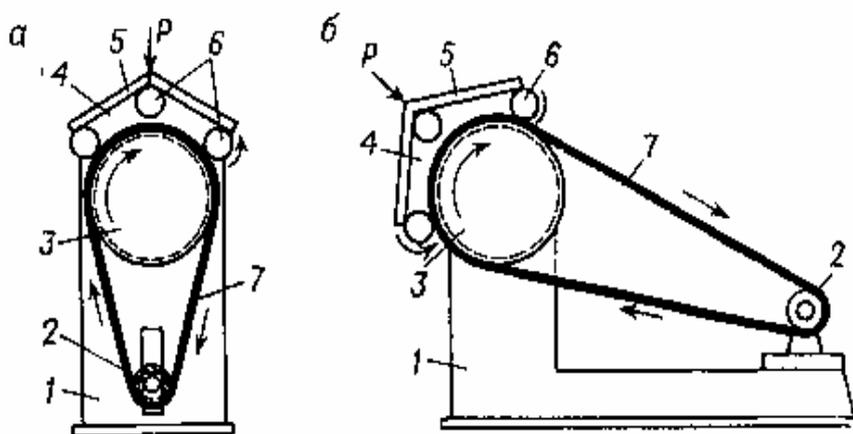


Рис. 10.5. Схема барабанного вулканизатора для вулканизации коротких (а) и длинных (б) клиновых ремней:

1 – станина; 2 – натяжной барабан; 3 – обогреваемый барабан; 4 – стальная лента; 5 – крышка; 6 – ролики; 7 – клиновые ремни

К методу непрерывной вулканизации с одновременным формированием изделий можно отнести непрерывную вулканизацию профилей. Из головки шприц-машины изделие направляется в зазор между двумя движущимися навстречу лентами-полуформами, которые смыкаются с помощью прижимных валков. Зажатое между полуформами изделие поступает в обогреваемую камеру, вулканизуется там и выходит с противоположного конца установки.

Основной проблемой при использовании непрерывной вулканизации без давления являлось порообразование по сечению изделия. Создание и освоение шприц-машин с вакуумированием резиновой смеси дали возможность внедрить в производство длиномерных резиновых изделий процесс непрерывной вулканизации в различных теплоносителях без давления. К жидким теплоносителям относятся: расплавы солей, шлаков, металлов, жидкости типа глицерина; к газообразным – горячий воздух. Промежуточное положение между ними занимает псевдооживленный или «кипящий» слой сыпучего материала.

Вулканизацию проводят также в ваннах, где в качестве теплоносителя используют расплавы солей. Процесс ведут при температурах 250 °С и выше. Наиболее распространенным теплоносителем является сплав солей следующего состава: 54 % KNO_3 + 7 % NaNO_3 + 40 % NaNO_2 .

Технологический процесс осуществляется в следующем порядке: шприцованный профиль от шприц-машины с вакуум-отсосом поступает на приемный транспортер, который подает его в вулканизатор. В ванне вулканизатора профиль попадает под ленточный транспортер, который погружает профиль в расплав солей. Пройдя ванну, профиль вулканизуется и, выходя из нее, поступает в устройство для отмывки от солей водой. Далее очищенный профиль поступает на охлаждение и сушку.

Процесс этот эффективен, и его применяют для изготовления шприцованных изделий и губки.

При вулканизации в псевдооживленном слое камера содержит слой нагретых псевдооживленных частиц, через который можно легко пропускать шприцованные резиновые заготовки непрерывным способом. Слой пескообразного материала (стеклянные шарики) подвергается электрообогреву, а псевдооживление производится пропусканием через этот слой воздуха или перегретого пара. Рабочие температуры достигают 240 °С, что обеспечивает очень короткий вулканизационный цикл.

В псевдооживленном слое лучше всего вулканизовать полые профили. Время вулканизации профилей составляет 2 – 10 мин.

На рис. 10.6 показана схема линии вулканизации в псевдооживленном слое губчатых резиновых изделий.

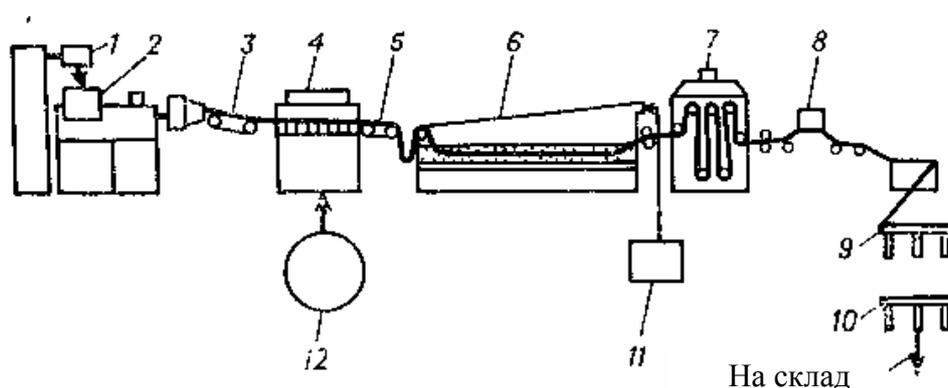


Рис. 10.6. Схема линии вулканизации в псевдооживленном слое:

1 – питатель; 2 – шприц-машина; 3 – приемный транспортер; 4 – машина для опудривания; 5 – отборочный транспортер; 6 – вулканизатор; 7 – устройство для охлаждения; 8 – станок для резки; 9 – контроль; 10 – комплектовка; 11 – газодувка; 12 – склад вспомогательных материалов

Хранение и транспортирование резиновой смеси производится в условиях, предохраняющих смеси от загрязнения, при 20 °С.

Катушка с резиновой лентой со склада резиновых смесей поступает к шприц-машине холодного питания с устройством автоматического питания и устанавливается на питателе. Питание пресса осуществляется холодной резиновой смесью.

Резиновую смесь шприцуют через шайбы с профилирующими отверстиями соответствующей конфигурации. Шприцевание резиновой смеси на основе наирита проводят при следующих температурах: I зона – 60 – 70; II зона – 70 – 80; головка шприц-машины – 55 – 60 °С.

Частота вращения червяка должна обеспечить постоянную скорость шприцевания синхронно с вулканизатором.

Непосредственно из шприц-машины профиль поступает на приемный пластинчатый цепной транспортер, расположенный под углом 20° к горизонтали. Для удобства обслуживания головки шприц-машины приемный транспортер выполнен откидным.

Шприцованный профиль подвергают антиадгезионной обработке тальковой суспензией при температуре последней 70 ± 5 °С. В процессе работы суспензию периодически добавляют в ванну с барботирующим устройством. Профиль, обработанный тальковой суспензией, обдувают горячим воздухом из установки. Температура воздуха в этом случае 200 – 210 °С, скорость воздуха для сушки профиля – не менее 3,0 м/с.

Профиль поступает на отборочный транспортер, который конструктивно аналогичен приемному; работают они синхронно. Синхронность достигается регуляторами скоростей, находящимися на пульте управления.

На приводном валу отборочного транспортера вмонтирована приводная звездочка к протаскивающему устройству вулканизатора. Электромагнитная муфта позволяет отключать привод протаскивающего устройства при ручном протаскивании профиля через вулканизатор. Опудренный профиль вручную заправляют в зажим и затем протаскивают через вулканизационную камеру. При подходе профиля к выходу из вулканизатора подается звуковой предупредительный сигнал. Профиль освобождают от зажима и заправляют в отборочное устройство, при помощи которого происходит последующее протаскивание его через вулканизатор.

Температура вулканизации губчатых профилей из резиновой смеси на основе наирита следующая: I зона – 200 ± 3 °С; II – V зоны – 230 ± 3 °С.

Время вулканизации в зависимости от конфигурации изделия 1,6 – 3,0 мин. При этом скорость движения отборочного транспортера равна 8 – 10 м/мин. Свулканизованный профиль, выходя из вулканизационной

ванны, охлаждается воздухом и очищается от теплоносителя вращающимися щетками в специальной закрытой камере. Температура изделия после охлаждения не должна превышать 60 °С. Первоначальную заправку профиля через охлаждающее устройство производят вручную с последующей заправкой его в тянущие ролики станка для резки.

Очищенный от теплоносителя и охлажденный профиль подают на станок для резки, где его режут по заданным длинам. Затем он поступает на контроль и упаковку. Упакованные изделия поступают на склад готовой продукции.

С этой системой разрабатываются линии непрерывной вулканизации рукавов. Установки с псевдооживленным слоем применяют также для непрерывного процесса термофиксации текстильных материалов и в шинной промышленности.

Конечный выбор способа непрерывной вулканизации определяется многими факторами и, в первую очередь, ассортиментом резиновых изделий, преобладающим на данном предприятии, а также производственными площадями и капиталовложениями.

Во многих случаях перспективна комбинированная линия, включающая СВЧ-вулканизатор, туннельный воздушный вулканизатор и установку с псевдооживлением. Возможны также другие варианты сочетания в одном потоке вулканизационного оборудования. При одинаковой стоимости оборудования такая линия может иметь определенные преимущества и большую маневренность по сравнению с однотипной крупногабаритной вулканизационной установкой.

Тема 11

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Процесс измельчения материалов в химической промышленности имеет большое значение. Измельчением увеличивают поверхность фазового контакта действующих масс, что особенно важно для химических процессов. Только в тонкоизмельченном состоянии применяют такие материалы, как пигменты и наполнители. Измельчению подвергают природные материалы, сырье, полуфабрикаты и товарную продукцию. Измельчаемые материалы могут быть твердыми, мягкими, хрупкими, вязкими, липкими, термически неустойчивыми, нейтральными, химически активными, огне- и взрывоопасными, вредными и безвредными для окружающих.

В химической технологии применяют все виды измельчения, начиная от самого крупного, когда размер получаемых кусков материала достигает 300 мм, и заканчивая коллоидным, когда размер частиц составляет доли микрона. Разнообразие типов и размеров измельчителей объясняется масштабами и характером химических производств. Производительность измельчителей может варьироваться от килограммов до тысяч тонн в час. К наиболее производительным относятся щековые, конусные, валковые и молотковые дробилки; дезинтеграторы и дисмембраторы; барабанные, шаровые, стержневые, жерновые, кольцевые, вибрационные, струйные и коллоидные мельницы; бегуны и другие типы измельчителей.

В зависимости от крупности исходного сырья и требований к конечному продукту измельчение материала производят либо в один прием (в одном измельчителе), либо в несколько приемов (в измельчителях, установленных последовательно). Характер исходного сырья и требуемая степень измельчения определяют число ступеней измельчения и тип измельчающего оборудования. Процесс ведут в открытом цикле, когда перерабатываемое сырье вторично не возвращается в измельчитель, из которого оно вышло, или в замкнутом цикле с классификатором (грохот, сепаратор, гидравлический классификатор), когда крупные частицы, не удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к размеру конечного продукта, вновь возвращаются в тот же измельчитель для дальнейшей обработки.

На ступенях тонкого измельчения часто практикуют измельчение твердого материала в смеси с жидкостью, так называемое мокрое измельчение. Этот процесс распространен и в тех случаях, когда стремятся избежать пыления или когда измельченный материал подвергают последующей обработке в виде суспензии, как, например, в производстве двуокиси титана. Измельчение в атмосфере инертного газа или в жидкой среде производят также и в том случае, когда материалы в тонкодисперсном состоянии могут образовывать с кислородом воздуха взрывчатые смеси.

В различных химических производствах удельный объем процесса измельчения неодинаков. В одних измельчение играет доминирующую роль (производство сернистого бария или ультрамарина), в других – менее заметную. Однако там, где химической переработке подвергают твердое минеральное сырье или процесс должен идти в гетерогенной среде, а также в том случае, когда товарный продукт поставляют потребителю в виде порошков или пудры, измельчение твердого материала обязательно.

Процесс измельчения требует больших энергетических затрат и сопряжен с безвозвратной потерей металла из-за износа рабочих элементов измельчителя.

С развитием химической промышленности увеличивается объем перерабатываемого минерального сырья, полуфабрикатов и товарной продукции, а следовательно, возрастает и потребность в процессах измельчения и необходимом оборудовании.

Дробление и измельчение (помол) – процессы разрушения под действием внешних сил упругохрупкого тела от первоначальной крупности до требуемой. Условно принято считать дроблением такой процесс разрушения, в результате которого получают продукты крупностью более 5 мм, измельчением – менее 5 мм. В зависимости от конечной крупности кусков материала различают следующие основные виды этих процессов:

Класс измельчения	Размер кусков после измельчения d_k , мм
Дробление:	
крупное	100 – 350
среднее	4 – 100
мелкое	5 – 40
Измельчение:	
грубое	5 – 0,1
тонкое	0,1 – 0,05
сверхтонкое	< 0,05

Отношение размеров кусков до измельчения и после измельчения называют степенью измельчения. Различают линейную ($i = d_n / d_k$) и объемную ($a = v_n / v_k$) степени измельчения. Здесь d и v – размер и объем кусков до (с индексом «н») и после измельчения (с индексом «к»). Чаще всего значения этих величин устанавливают по размеру наибольшего куска. Практически размер наибольших кусков определяется отверстием сита, через которое проходит сыпучий материал. При этом форма отверстия сит для исходного и измельченного материалов должна быть одинаковой (круглой, квадратной, прямоугольной и т.п.).

Крупность кускового и порошкообразного материалов с указанием линейных размеров наибольшего и наименьшего кусков может быть охарактеризована одним из следующих способов.

1. Нижний (+ d) и верхний (– d) пределы крупности. Верхний предел крупности означает «не крупнее d »; нижний предел крупности означает «не мельче d ». При этом указываются размеры наибольшего и наименьшего кусков материала.
2. Фракционный (гранулометрический) состав материала, выраженный в долях или процентах.
3. Удельная поверхность материала, т.е. поверхность частиц, приходящаяся на единицу массы или объема материала.

Материал также можно охарактеризовать допустимым процентным содержанием какой-либо фракции: крупной, средней или мелкой.

11.1. Способы измельчения

Твердый материал можно разрушить и измельчить до частиц желаемого размера раздавливанием, раскалыванием, разламыванием, резанием, распиливанием, истиранием, ударом и различными комбинациями этих способов.

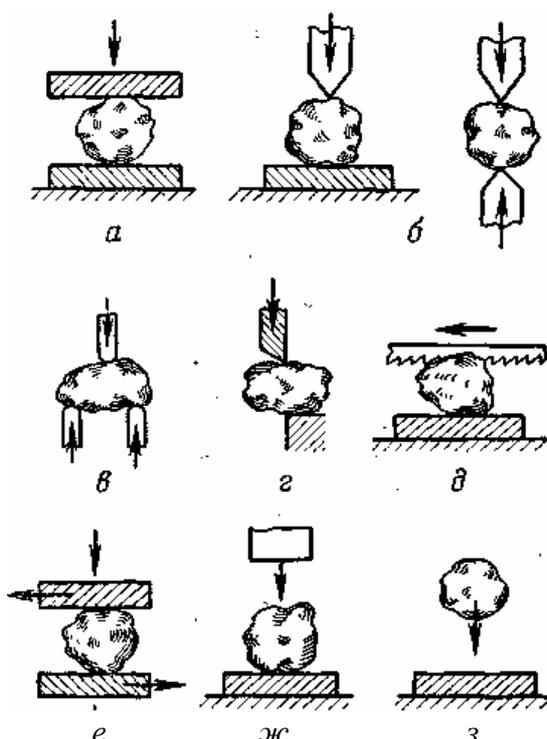


Рис. 11.1. Способы измельчения:
a – раздавливание; *б* – раскалывание;
в – разламывание; *г* – резание; *д* – распиливание; *е* – истирание; *ж* – стесненный удар; *з* – свободный удар

Раздавливание (рис. 11.1, а) – тело под действием нагрузки деформируется по всему объему и, когда внутреннее напряжение в нем превысит предел прочности сжатию, разрушается. В результате такого разрушения получают частицы различного размера и формы.

Раскалывание (рис. 11.1, б) – тело разрушается на части в местах концентрации наибольших нагрузок, передаваемых клинообразными рабочими элементами измельчителя. Образующиеся при этом частицы более однородны по размерам и форме, хотя форма, как и при раздавливании, непостоянна. Способ раскалывания по сравнению с раздавливанием позволяет регулировать крупность получаемых частиц.

Разламывание (рис. 11.1, в) – тело разрушается под действием изгибающих сил. Размеры и форма частиц, получающихся при разламывании, примерно такие же, как и при раскалывании.

Резание (рис. 11.1, г) – тело делится на части заранее заданных размеров и формы. Процесс полностью управляемый.

При распиливании (рис. 11.1, д) результаты получаются такие же, как и при резании. Процесс полностью управляем, и частицы имеют заранее заданные размер и форму.

Истирание (рис. 11.1, е) – тело измельчается под действием сжимающих, растягивающих и срезающих сил. При этом получают мелкий порошкообразный продукт.

Удар (рис. 11.1, ж) – тело распадается на части под действием динамической нагрузки. При сосредоточенной нагрузке получается эффект, подобный тому, что происходит при раскалывании, а при распределении нагрузки по всему объему эффект разрушения аналогичен раздавливанию.

Различают разрушение тела стесненным и свободным ударом. При стесненном ударе (см. рис. 11.1, ж) тело разрушается между двумя рабочими органами измельчителя. Эффект такого разрушения зависит от кинетической энергии ударяющего тела. При свободном ударе (см. рис. 11.1, а) разрушение тела наступает в результате столкновения его с рабочим органом измельчителя или другими телами в полете. Эффект такого разрушения определяется скоростью их столкновения независимо от того, движется разрушаемое тело или рабочий орган измельчителя.

Из перечисленных способов пригодными для промышленного измельчения оказались раскалывание, разламывание, раздавливание, истирание и удар.

Раскалывание применяют для получения кусковых материалов, разламывание обычно сопутствует другим способам при крупном, среднем и мелком измельчении, а разрезание и распиливание применяют в тех случаях, когда нужно получить куски материала определенного размера и заданной формы.

Истирание применяют для тонкого измельчения мягких и вязких материалов. При этом его всегда комбинируют с раздавливанием или ударом. Истирание улучшает процесс тонкого измельчения и перемешивания материалов, но при этом увеличиваются расход энергии и износ рабочих элементов измельчителя. Продукты износа попадают в измельченный материал, а это нежелательно как с точки зрения ведения самого процесса, так и получения продуктов измельчения высокой чистоты.

В работе подавляющего большинства современных измельчителей использованы способы раскалывания, раздавливания и удара, а также сочетание этих способов с разламыванием и истиранием.

11.2. Теоретические основы измельчения

Основным вопросом теории измельчения является установление связи между затратами энергии и размерами конечных и начальных кусков материала, их формой, взаимным расположением, физико-механическими свойствами и т. п. Многофакторность изучаемого явления затрудняет анализ, в связи с чем существующие теории измельчения характеризуют энергозатраты в общем виде с учетом лишь наиболее важных параметров процесса и материала.

В 1867 г. П. Риттингер выдвинул гипотезу о том, что работа A при измельчении материала пропорциональна площади вновь образованной поверхности ΔF :

$$A = K_1 \cdot \Delta F,$$

где K_1 – коэффициент пропорциональности.

Площадь вновь образованной поверхности можно выразить через начальные и конечные размеры кусков измельчаемого материала. Пусть куски имеют кубическую форму с размерами ребер d_n до и $d_k = d_n / i$ после измельчения (рис. 11.2); площадь начальной поверхности куба (куска материала) $F_n = 6 \cdot d_n^2$, конечной – $F_k = 6 \cdot (d_n / i)^2$. Следовательно, с учетом общего числа вновь образованных частиц $d_n^3 / (d_n / i)^3 = i^3$ найдем

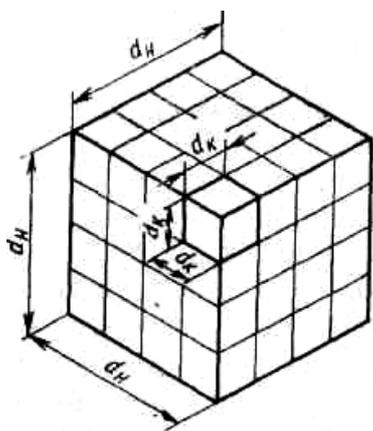


Рис. 11.2. Схема к расчету вновь образованной поверхности при измельчении

$$\begin{aligned} \Delta F &= F_k - F_n = i^3 \cdot 6 \cdot (d_n / i)^2 - 6 \cdot d_n^2 = \\ &= 6 \cdot d_n^2 \cdot (i - 1). \end{aligned}$$

Если дроблению подвергается Q м³ материала со средним размером кусков d_n , то общее число измельчаемых частиц составит Q / d_n^3 и работа дробления $A = 6 \cdot K_1 \cdot Q \cdot (i - 1) / d_n$.

При массе измельчаемого материала Q_m , кг,

$$\begin{aligned} A &= 6 \cdot K_1 \cdot Q_m \cdot (i - 1) / (\rho \cdot d_n) = \\ &= K_R \cdot Q_m \cdot (i - 1) \cdot d_n, \end{aligned}$$

где ρ – плотность материала;

K_R – коэффициент пропорциональности между затраченной работой и вновь образованной поверхностью.

Теория Риттингера не учитывает изменения формы тел при измельчении и поэтому плохо описывает процессы дробления в случаях, когда продукты измельчения имеют малые удельные поверхности.

В 1874 г. В.Л. Кирпичев и в 1885 г. Ф. Кик предложили считать, что энергия, необходимая для одинакового изменения формы подобных и однородных тел, пропорциональна их объемам. Действительно, в соответствии с законом Гука работа упругих сил при одноосной деформации тела

$$A = 0,5 \cdot P \cdot \Delta l = 0,5 \cdot (P/F) \cdot F(P \cdot l / E \cdot F) = 0,5 \cdot \sigma^2 \cdot V / E,$$

где P – усилие, вызывающее деформацию Δl ;

l и F – соответственно длина и площадь сечения деформируемого элемента;

σ и E – соответственно напряжение и модуль продольной упругости;

$V = F \cdot l$ – объем элемента.

Приняв за деформируемый элемент куб с ребром d_n , получим $V = d_n^3$ и $A = K_2 \cdot d_n^3$, где K_2 – коэффициент пропорциональности. Если измельчению подвергается Q_m кг материала со средним размером кусков d_n , то общее количество измельчаемых кусков составит $Q_m / (\rho \cdot d_n^3)$; соответственно работа измельчения

$$A = K_2 \cdot Q_m / \rho = K_3 \cdot Q_m.$$

В случаях, когда степень измельчения i достигается за n стадий дробления и в каждой стадии степень измельчения j_n неизменна, то $i = j_n$. Работа измельчения на всех стадиях одинакова, т.е.

$$A_1 = A_2 = \dots = A_n = K_3 \cdot Q_m$$

и суммарная работа

$$A = n \cdot K_3 \cdot Q_m.$$

Поскольку $n = \lg i / \lg j$ или $n = \lg(d_n / d_k) / \lg j$, то

$$A = K_k \cdot Q_m \cdot \lg(d_n / d_k),$$

где $K_k = K_3 / \lg j$.

П.А. Ребиндер в 1940 г. и Ф. Бонд в 1951 г. предложили определять энергетический расход при дроблении с учетом работы как деформации кусков A_d , так и образования новых поверхностей A_n :

$$A = A_d + A_n = k \cdot \Delta V + \sigma \cdot \Delta F,$$

где k – коэффициент пропорциональности, равный работе деформирования единицы объема твердого тела;

ΔV – изменение объема разрушаемого куска;

σ – коэффициент пропорциональности, равный работе, затрачиваемой на образование единицы новой поверхности твердого тела;

ΔF – величина вновь образованной поверхности.

11.3. Классификация измельчителей

Для измельчения твердых материалов создано много типов измельчителей различных размеров, однако поиски более совершенных конструкций машин продолжают по следующим причинам:

- громоздкости современных измельчителей и низкого коэффициента их полезного действия;
- возрастающей потребности в тонкоизмельченных материалах (размер частиц до нескольких микрометров или даже долей микрометра);
- появления новых синтетических материалов с особыми физико-механическими свойствами, нуждающихся в измельчении;
- повышения требований к чистоте продуктов измельчения;
- стремления уменьшить расход энергии и металла на единицу измельченного материала.

Это особенно важно на стадии тонкого измельчения. При сравнительно крупной тонине помола (минус 100 мкм) энергозатраты составляют 20 – 30 кВт·ч/т, а потери металла вследствие износа машины около 1 кг/т; при получении продукта с дисперсностью частиц меньше 10 мкм расход энергии увеличивается до 150 кВт·ч/т и более. Возрастают соответственно и потери металла.

По способу измельчения все измельчители можно разделить на следующие основные группы:

1. раскалывающего и разламывающего действия;
2. раздавливающего действия;
3. истирающе-раздавливающего действия;
4. ударного действия;
5. ударно-истирающего действия;
6. коллоидные измельчители.

В основу принятой классификации измельчителей положен главный способ, с помощью которого измельчается материал. При необходимости измельчать тот или иной материал до частиц определенного размера пред-

варительно решают: каким вообще способом измельчения можно достигнуть такого результата, а затем уже подбирают тип и размер измельчающей машины. С этой точки зрения указанная классификация измельчителей является наиболее удобной. Конечно, главному способу измельчения всегда сопутствуют другие, второстепенные. Например, в раздавливающем или ударном измельчителе происходит и истирание, но оно не является основным способом работы измельчителя, а возникает произвольно и трудно поддается количественной оценке. Очевидно, и в измельчителях истирающе-раздавливающего действия возможно измельчение ударом при внезапных скачках катков. Однако такое измельчение сопутствующее и не характерно для данной группы измельчителей.

В литературе встречается классификация измельчителей по крупности получаемых частиц. В соответствии с этой классификацией измельчители делят на дробилки крупного, среднего и мелкого дробления и мельницы тонкого и коллоидного измельчения. Недостатками такой классификации является отсутствие указания на способ измельчения, лежащий в основе работы измельчителя, а также то, что дробилку одного и того же типа в зависимости от ее размера можно отнести к дробилкам и крупного, и среднего, и мелкого дробления.

11.4. Измельчители раскалывающе-раздавливающего действия

Измельчители раскалывающе-раздавливающего действия применяются, как правило, для крупного дробления. Наибольшее распространение в строительной и добывающей отраслях получили щековые, конусные и валковые дробилки.

11.4.1. Щековые дробилки

Щековые дробилки используют для крупного и среднего дробления материалов. Степень измельчения обычно $i = 3...5$.

В щековой дробилке (рис. 11.3) материал измельчается путем раздавливания в сочетании с раскалыванием и изгибом между неподвижной 1 и подвижной 2 щеками. Подвижная щека 2 приближается (при рабочем ходе) или отходит (при холостом ходе) от неподвижной щеки 1 при вращении эксцентрикового вала 3.

Во время рабочего хода происходит дробление, а во время холостого – выгрузка дробленого материала вниз под действием собственного веса. Щеке 2 движение передается шатуном 4, подвижно соединенным с эксцентриковым валом 3, и двумя шарнирно закрепленными распорными плита-

ми – передней 5 и задней 6. Тяга 7 и пружина 8 создают в движущейся системе натяжение и способствуют холостому ходу подвижной щеки. Путем взаимного перемещения клиньев 9 регулируется ширина выпускного отверстия и, следовательно, степень измельчения.

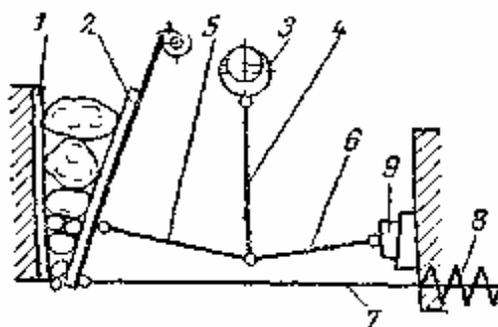


Рис. 11.3. Схема щековой дробилки с верхним подвесом щеки:

1 – неподвижная щека; 2 – подвижная щека; 3 – эксцентриковый вал; 4 – шатун; 5 – передняя распорная плита; 6 – задняя распорная плита; 7 – тяга; 8 – пружина; 9 – регулировочный клин

В зависимости от расположения оси подвижной щеки различают щековые дробилки с верхним и нижним подвесом этой щеки.

При верхнем подвесе качающаяся щека имеет наибольший размах вблизи места выхода дробленого продукта, ширина разгрузочного отверстия при этом переменна. Нижний подвес (ось подвижной щеки у разгрузочного отверстия) обеспечивает постоянную ширину разгрузочного отверстия, что гарантирует определенную максимальную крупность куска в дробленом продукте, но ограничивает производительность таких дробилок по сравнению с дробилками с верхним подвесом подвижной щеки.

На рис. 11.4 представлен общий вид щековой дробилки с верхним подвесом подвижной щеки. Дробилки этого типа наиболее широко распространены в промышленности. Корпус 1 дробилки, передняя стенка которого является неподвижной щекой, выполняется обычно из стального литья, а щеки футеруются стальными плитами 2 с рифленой рабочей поверхностью. Эти плиты наиболее сильно изнашиваются, поэтому они выполняются съемными и изготавливаются из износостойкого материала.

Дробящее усилие в дробилке передается через распорные плиты 3. Поэтому вкладыши 4, в которые входят концы плит, делаются сменными из материала большой твердости. Задняя распорная плита используется для предохранения дробилки от поломок при попадании в рабочее пространство недробимых предметов. Эта плита изготавливается с пониженной прочностью и ломается при попадании в дробилку случайных метал-

лических предметов, после чего она подлежит замене. С помощью клиньев 5 регулируется ширина загрузочной щели (в дробилках больших размеров регулировка производится заменой распорных плит). Щековые дробилки приводятся в движение от электродвигателя через клиноременную передачу в маховик 6.

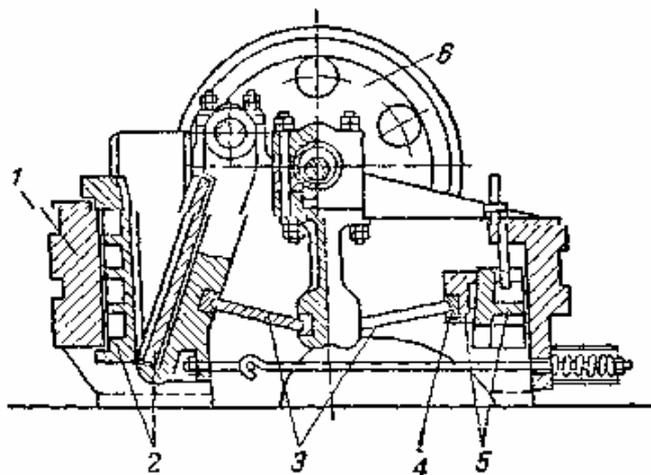


Рис. 11.4. Общий вид щековой дробилки:

- 1 – корпус; 2 – сменные плиты; 3 – распорные плиты; 4 – вкладыш;
5 – регулировочные клинья; 6 – маховик

Описанные выше дробилки являются машинами с простым качанием подвижной щеки. В некоторых конструкциях дробилок подвижная щека не только приближается к неподвижной и отходит от нее, но во время рабочего хода еще и движется вниз, в сторону загрузки материала (совершает сложное движение). При этом происходит не только раздавливание, но и истирание материала, за счет чего производительность этих дробилок по сравнению с дробилками других типов несколько увеличивается, а расход энергии уменьшается.

Основные детали дробилки изготавливают из следующих конструкционных материалов: станина – сталь 25Л, ВСтЗ; эксцентриковый вал, ось подвижной щеки – сталь 45, 40Х; шатун и подвижная щека – сталь 35Л, 35ГЛ; дробящие и боковые футеровочные плиты – сталь 110Г13Л; распорные плиты, шкив, маховик – чугун СЧ18; сменные элементы распорных плит – чугун СЧ25; сухари – сталь 45; 5ХНВ; ползун и клинья регулировочного устройства – сталь 35Л, 35ГЛ; тяга – сталь СтЗ; замыкающая пружина – сталь 60С2, 65Г.

Распорную плиту в случае, если она служит предохранительным элементом, рассчитывают по условию разрушения в специально ослаблен-

ном сечении при превышении усилия дробления на 50 %, т.е. расчет ведут не по допускаемому напряжению, а по пределу прочности материала плиты на сжатие или изгиб в зависимости от характера нагружения.

Опорные поверхности распорной плиты и сухарей проверяют на контактную прочность.

Подшипники качения выбирают по эквивалентной нагрузке, т.е. с учетом изменения радиального усилия, воспринимаемого подшипником при рабочем и холостом ходе внутри цикла.

11.4.2. Конусные дробилки

Конусные дробилки по технологическому назначению делят на дробилки крупного дробления (ККД), которые обеспечивают степень измельчения $i = 5...8$; дробилки среднего (КСД) и мелкого (КМД) дробления (степень измельчения i до 20...50). Эти машины отличаются высокой производительностью. В химической промышленности в основном используют дробилки КСД и КМД.

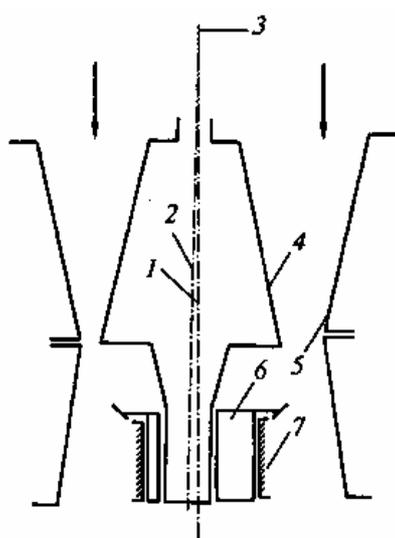


Рис. 11.5. Схема конусной дробилки

На рис. 11.5 приведена кинематическая схема конусной дробилки.

Рабочее пространство дробилки образовано подвижным (вращающимся) 4 и неподвижным дробящим 5 конусами. Ось 1 неподвижного и ось 2 подвижного конусов лежат в одной плоскости и пересекаются в точке 3, называемой точкой гирации. Вал, на котором крепится подвижный конус, своим нижним концом установлен в эксцентрике 6. При вращении эксцентрика 6, находящегося в центральной расточке 7 корпуса дробилки, ось 2 подвижного

конуса вращается вокруг оси 1 дробилки, сообщая подвижному конусу гирационное движение. В результате при сближении конусов 4 и 5 происходит дробление материала, а при удалении конусов друг от друга – его разгрузка.

По конструктивному признаку – способу опирания вала дробящего конуса – различают дробилки с подвешенным валом, опорным пестом и с консольным валом. Последнюю конструкцию используют в машинах КСД и КМД.

В дробилках первого типа вал дробящего конуса в верхней точке, совпадающей с точкой пересечения осей конусов, подвешен к опоре, воспринимающей осевую и радиальную нагрузки. Нижний конец вала размещен в эксцентрике, опоры которого также воспринимают радиальную нагрузку дробящего конуса. Для привода эксцентрика во вращение применяют коническую зубчатую передачу. Аналогичную систему привода эксцентрика используют и в конусных дробилках других типов.

В дробилке с опорным пестом осевая нагрузка дробящего конуса с пяты вала передается на пест и далее на плунжер гидроцилиндра, который уравнивается давлением жидкости. Такая система позволяет оперативно регулировать ширину выходной щели.

В дробилках с консольным валом, в которых дробящий конус является пологим, осевая нагрузка воспринимается сферической пятой, а радиальная – опорой эксцентрика.

Типоразмер дробилок ККД определяется шириной приемного отверстия (от 500 до 1 500 мм), дробилок КСД и КМД – диаметром основания подвижного конуса (от 600 до 2 200 мм).

Типы, параметры и размеры дробилок, предъявляемые к ним технические требования, методы испытаний, маркировка, упаковка, условия транспортирования и хранения дробилок определены ГОСТом 6937-81. К нормированным параметрам конусных дробилок с подвешенным валом и опорным пестом относятся: наибольший размер кусков питания, номинальная ширина разгрузочной щели, производительность при номинальной ширине разгрузочной щели, мощность электродвигателя, габаритные размеры, масса дробилки. Для дробилок с консольным валом указывают диапазон регулирования ширины разгрузочной щели в фазе сближения профилей (вместо номинальной ширины разгрузочной щели).

Угол гирации в дробилках КСД и КМД обычно 2 – 2,5°. Зазор между броней и корпусом дробящего конуса заливают цементным раствором или цинком. Опорное кольцо прижато к фланцу станины системой пружин, равномерно расположенных по окружности кольца; пружины установлены с натягом, обеспечивая нераскрытие стыка опорного кольца с фланцем станины при дроблении. При попадании недробимых предметов усилие, действующее на неподвижный конус и, следовательно, на опорное кольцо, превышает расчетное, пружины сжимаются, опорное кольцо с неподвижным конусом приподнимается и пропускает недробимый предмет.

Для изготовления деталей конусных дробилок используют следующие конструкционные материалы: станина, корпус конуса, распределительная плита – сталь 35Л; броня конусов – сталь 110Г13Л; вал конуса –

стали 45, 40Х; корпус эксцентрика – чугуны СЧ30, ВЧ45–5, сталь 40; втулка эксцентрика – сталь 35ГЛ, бронза БрОЦС 5–5–5; подпятник сферический – бронза БрАЖ9–4Л, текстолит 60; пест – сталь 5ХНМ; опорная часть песта, втулки верхней опоры дробилок – сталь ШХ15СГ; пружины – сталь 60С2; эксцентрики дробилок – стальное литье с заливкой или наплавкой на внутренней и, частично, наружной поверхности баббита Б-16.

11.4.3. Валковые дробилки

Валковые дробилки применяют для среднего и мелкого дробления материалов высокой и средней прочности, а также для измельчения пластичных и хрупких материалов.

В зависимости от вида поверхности валков различают дробилки с гладкими, рифлеными и зубчатыми валками. Дробилки могут быть одновалковыми, двухвалковыми и многовалковыми.

В одновалковых дробилках (с зубчатыми валками) куски материала поступают в пространство между валком и неподвижной дробящей плитой; они измельчаются раздавливанием, раскалыванием и, частично, истиранием.

В двухвалковых дробилках с гладкими валками измельчаемый материал подается сверху на валки одинакового диаметра, вращающиеся навстречу один другому. Куски захватываются под воздействием сил трения. Измельчение происходит, в основном, раздавливанием и, частично, истиранием; степень измельчения $i = 3...5$. Для увеличения истирающего действия при обработке влажных и вязких материалов валкам сообщают разную угловую скорость; для удаления налипшего на валки материала устанавливают скребки.

Многовалковая, например, четырехвалковая, дробилка представляет собой сочетание в одном агрегате двух двухвалковых дробилок; дробление материала происходит последовательно.

Рифленые и зубчатые валки позволяют измельчать более крупные куски материала, чем гладкие валки.

В валковых дробилках происходит однократное сжатие материала, что позволяет избежать переизмельчения продукта дробления.

Типоразмер валковых дробилок определяется диаметром и длиной валков. Изготавливают двухвалковые дробилки ДГ с гладкими валками для среднего и мелкого, сухого и мокрого дробления материалов с пределом прочности при сжатии до 350 МПа; двухвалковые дробилки ДР с рифлеными валками для дробления материалов с пределом прочности при сжатии до 250 МПа; двухвалковые дробилки ДГР с гладкими и рифлеными

валками; четырехвалковые дробилки Д4Г с гладкими валками для мелкого дробления кокса.

Нормированы следующие параметры и размеры валковых дробилок: диаметр и длина валков, наибольший размер загружаемых кусков при наименьшей ширине щели, частота вращения валков, усилие на 1 см длины валка, мощность двигателя, производительность, габаритные размеры и масса дробилки. Государственный стандарт устанавливает технические требования к конструкции дробилок, комплектности, правилам приемки, методам испытаний, маркировке, упаковке, транспортированию и хранению, технике безопасности, гарантиям изготовителя.

Двухвалковая дробилка с гладкими или рифлеными валками (рис. 11.6) состоит из станины 1 рамной конструкции, сваренной из прокатных профилей или отлитой из чугуна или стали.

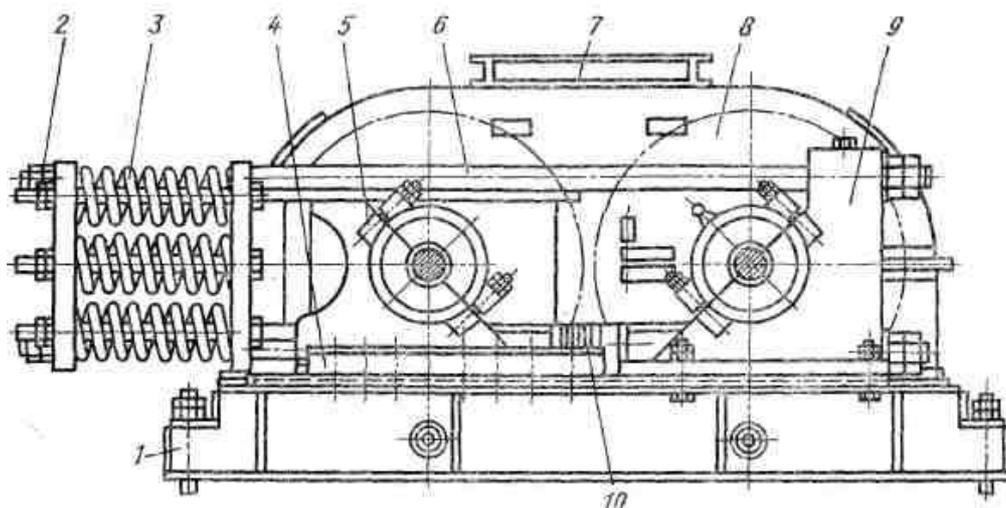


Рис. 11.6. Двухвалковая дробилка

Валок 8 установлен на подшипниках, размещенных в разъемных корпусах 9, которые неподвижно закреплены на станине; корпуса 5 подшипников другого валка установлены в направляющих 4 и могут перемещаться по ним вдоль станины. Для регулирования ширины выпускной щели (зазора между валками) предназначен набор прокладок 10, установленных между корпусами неподвижных и подвижных подшипников. Подвижный валок прижимается к неподвижному системой верхних 6 и нижних тяг с пакетом пружин 3. Предварительное натяжение пружин, создаваемое гайками 2, обеспечивает суммарное усилие на валок, обеспечивающее дробление материала. При попадании недробимого тела подвижный валок отходит от неподвижного, пропуская тело. Дробящие валки закрыты кожухом с приемной воронкой 7.

Валки выполняют составными: ступицу отливают из чугуна, а сменный бандаж – из углеродистой или высокомарганцовистой стали. Для крепления бандажа к ступице используют шпонки, стяжные шпильки или винты; последний вариант – при составных зубчатых бандажах в виде сегментов.

Привод валков можно осуществлять от одного электродвигателя через клиноременную и зубчатую передачи, которые сообщают вращение валку с неподвижными опорами, и через зубчатую передачу с удлиненными зубьями, вращающую валок с подвижными опорами. Передача обеспечивает сохранение зацепления зубчатых колес как при регулировании ширины щели, так и при попадании между валками недробимого предмета. Применяют и другие виды привода: через редуктор с карданными валами, от индивидуальных электродвигателей для каждого валка.

Производительность валковой дробилки рассчитывают в предположении, что из выпускной щели выходит непрерывная лента измельченного материала толщиной d_k и шириной, равной рабочей длине валка $L_p \approx 0,9 \cdot L$ (зона подачи материала на валки ограничена загрузочной воронкой).

11.4.4. Расчет угла захвата дробилок

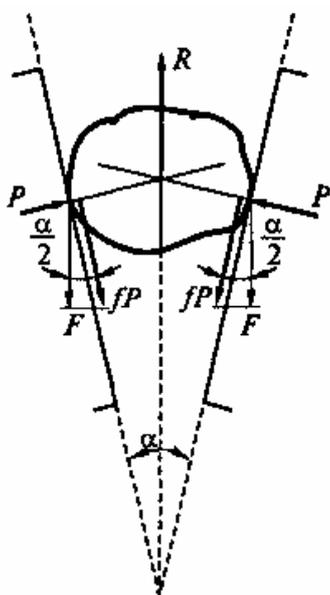


Рис. 11.7. Расчетная схема щековой дробилки

У щековой дробилки угол захвата α – угол между неподвижной и подвижной щеками (рис. 11.7), который должен обеспечивать «захват» куска (а не выталкивание его вверх) и разрушение материала при сжатии.

На кусок, зажатый между щеками, действуют усилия P и равнодействующая R , причем $R = 2 \cdot P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$.

Силы трения, вызванные сжимающими усилиями, равны $f \cdot P$ и действуют на кусок материала против направления выталкивающей силы, т.е. направлены вниз, как показано на рис. 11.7.

При сжатии кусок материала не будет выталкиваться вверх, если силы F , вызываемые силами трения, будут больше или равны выталкивающей силе R :

$$2 \cdot F \geq R.$$

Учитывая, что $F = f \cdot P \cdot \cos \frac{\alpha}{2}$, а $R = 2 \cdot P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$, получаем

$$f \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \geq \sin \frac{\alpha}{2} \text{ или } f \geq \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Так как коэффициент трения f равен $\operatorname{tg} \varphi$ (где φ – угол трения), то $\operatorname{tg} \varphi \geq \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$ или $2\varphi \geq \alpha$.

Значит, нормальное дробление возможно, если угол захвата равен двойному углу трения или меньше его.

Коэффициент трения скольжения камня по металлу равен 0,3, что соответствует углу трения около 16° . Следовательно, угол захвата щековых дробилок может достигать 32° . Фактически у существующих машин α не превышает 24° , а для дробилок со сложным движением оптимальным считается угол захвата 19° .

Для обеспечения процесса дробления в валковых дробилках необходимо, чтобы куски дробимой породы втягивались в пространство между валками. Это условие осуществляется, если сумма сил, направленных вниз, будет больше суммы сил, направленных вверх (рис. 11.8), т.е. если выполняется неравенство

$$2 \cdot P \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \leq 2 \cdot F \cdot \cos \frac{\alpha}{2},$$

где P – сила, действующая на дробимое тело, направленная нормально к окружности валка;

$F = f \cdot P$ – сила трения камня о валок, направленная по касательной к окружности валка;

α – угол захвата.

Проведя преобразования, получим

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \leq f,$$

где f – коэффициент трения камня о поверхность валка.

Из рис. 11.8 следует

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{R+e}{R+r} = \frac{D+2 \cdot e}{D+2 \cdot r},$$

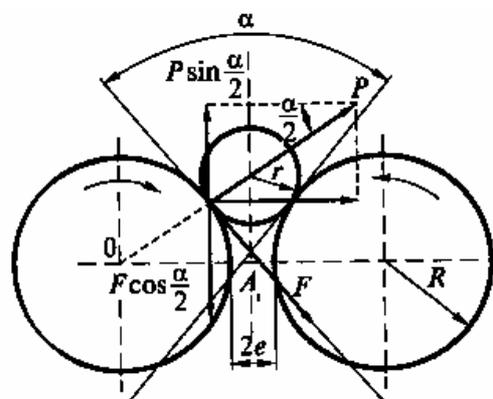


Рис. 11.8. Схема к расчету угла захвата валковых дробилок

Откуда

$$\frac{D}{d} = \frac{\cos \frac{\alpha}{2} - \frac{2 \cdot e}{d}}{1 - \cos \frac{\alpha}{2}},$$

где D – диаметр валка;

d – диаметр камня;

$2 \cdot e$ – расстояние между валками.

Приняв $f = 0,3$ и $\alpha \approx 18^\circ$ и учитывая, что степень измельчения в валковых дробилках с гладкими валками $i \approx 4$, т.е. $\frac{2 \cdot e}{d} = \frac{1}{4}$, получаем для гладких валков $\frac{D}{d} \approx 18$.

Практически принимается $D = (18...25) \cdot d$ для гладких валков, $D = (10...12) \cdot d$ для рифленых валков.

11.5. Измельчители ударного действия

В измельчителях ударного действия измельчение материала производится вследствие ударных нагрузок. Эти нагрузки могут возникнуть при падении измельчающих тел на материал, столкновении летящего материала с неподвижной поверхностью, столкновении материала и измельчающих тел в полете, столкновении в полете самих измельчающихся частиц друг с другом.

Различают стесненный и свободный удар. При стесненном ударе материал разрушается между двумя ударяющимися поверхностями и осколки разрушаемого тела свободно разлетаются только в боковые стороны. В этом случае разрушающий эффект зависит от массы ударяющего тела и скорости его движения в момент удара. Кинетическая энергия ударяющего тела в момент удара по измельчаемому материалу определяется по известной формуле

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot g},$$

где m – вес ударяющего тела;

v – скорость движения тела в момент удара.

На разрушение материала расходуется часть энергии E . При упругом ударе часть энергии возвращается обратно ударившему телу, которое после удара отскакивает от измельчаемого материала.

Если обозначить кинетическую энергию тела после удара через E_p , то энергия, переданная измельчаемому материалу, будет равна

$$\Delta E = E - E_p, \quad E_p = \frac{m \cdot v_p^2}{2 \cdot g},$$

где $v_p = \varepsilon \cdot v$ – скорость тела, которую оно имеет после удара.

Для разрушения измельчаемого тела энергия ΔE должна быть достаточной для преодоления внутренних сил сцепления между частицами тела.

Сопротивление разрушаемого тела ударной нагрузке можно охарактеризовать работой упругих деформаций этого тела при статической нагрузке.

Ударом измельчают твердые и хрупкие материалы, у которых после снятия статической нагрузки отсутствует остаточная деформация. При стесненном ударе частицы материала разрушаются преимущественно в местах сосредоточения наибольших усилий, а при свободном ударе они разрушаются в основном по наиболее слабым, смятам.

При свободном ударе разрушающий эффект зависит, главным образом, от скорости столкновения тел и не зависит от того, какое из них движется – разрушающее или разрушаемое.

К измельчителям ударного действия относятся молотковые, центробежные, центробежно-шаровые, барабанные, пневматические и струйные измельчители, схемы которых изображены на рис.11.9.

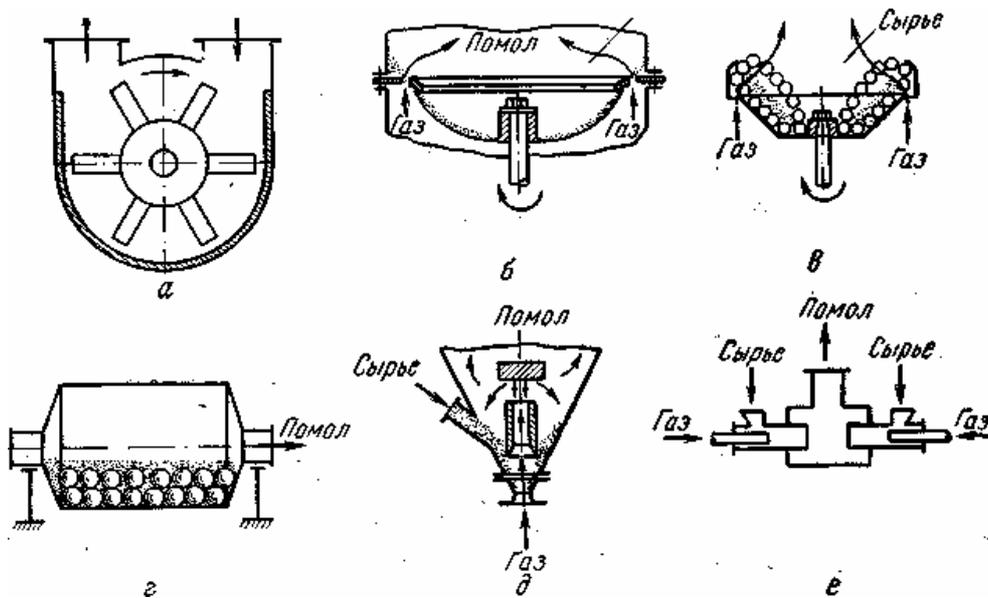


Рис. 11.9. Схемы измельчителей ударного действия:
 а – молотковые; б – центробежные; в – центробежно-шаровые; г – барабанные;
 д – пневматические; е – струйные

11.5.1. Молотковые дробилки

Основными рабочими элементами молотковых измельчителей являются ротор с молотками и статор-корпус. Измельчение материала в этих машинах производится свободным или стесненным ударом. К числу молотковых измельчителей относятся молотковые дробилки, аэробильные и шахтные мельницы.

На рис. 11.10 представлена молотковая дробилка, которая состоит из корпуса 1, футерованного стальными плитами 2. На вращающемся горизонтальном валу 3 насажены диски 4, между которыми шарнирно подвешены молотки 5. Материал дробится под действием ударов быстровращающихся (с окружной скоростью 30 – 55 м/с) молотков. Дробление происходит также при ударах кусков материала, отбрасываемых молотками, о плиты 2. Наконец, материал дополнительно измельчается путем удара, раздавливания и некоторого истирания на колосниковой решетке 6, через которую измельченный материал разгружается, падая вниз. Степень измельчения $i = 10 - 15$. Молотки, плиты и решетка изготавливаются из углеродистой или марганцовистой стали.

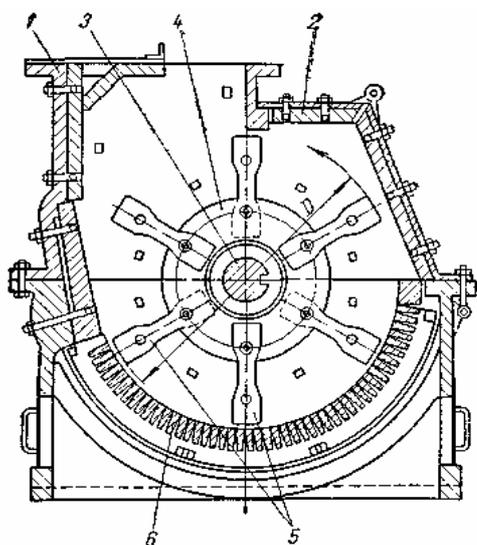


Рис. 11.10. Однороторная молотковая дробилка:

1 – корпус; 2 – отбойная плита;
3 – вал; 4 – диск; 5 – молотки; 6 – колосниковая решетка

Выпускаются также дробилки с жестко закрепленными молотками, а также с несколькими параллельными рядами молотков (многорядные дробилки).

Молотковые дробилки используются и для крупного дробления. Они отличаются высокой производительностью, пониженным расходом энергии на дробление и высокой степенью измельчения по сравнению со щековыми и конусными дробилками. Недостатками молотковых дробил-

лок являются значительный износ молотков и плит, сложность монтажа (балансировки ротора).

Кроме однороторных молотковых дробилок применяются двухроторные (с двумя валами), для которых степень измельчения достигает $i = 30 - 40$.

Молотковые дробилки широко применяются для дробления хрупких, волокнистых и других материалов, а также материалов умеренной твердости и малой абразивности (уголь, гипс, известняк и др.). При измельчении глинистых и вязких материалов молотковые дробилки работают без колосниковой решетки, что приводит к некоторому недоизмельчению материала.

11.5.2. Роторные дробилки

Типовая схема роторной дробилки показана на рис. 11.11.

По лотку 1 в корпусе 2, установленном на станине 5, исходный материал поступает на вращающийся ротор 3 с билами 4 и отбрасывается ими на шарнирно подвешенные отражательные плиты 6. Дробление осуществляется при ударах бил 4 по материалу и при ударах кусков материала об отражательные плиты 6, футерованные износостойким материалом.

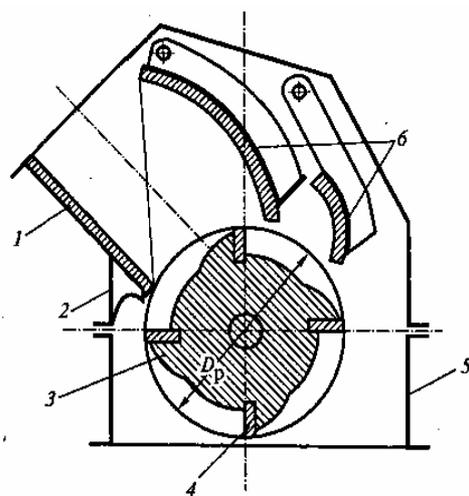


Рис. 11.11. Схема роторной дробилки

Кроме того, отраженные от плит 6 куски на большой скорости сталкиваются (соударяются) с кусками материала, отброшенными ротором. При этом происходит дополнительное самоизмельчение материала.

Роторные дробилки бывают крупного, среднего и мелкого дробления. Они разделяются относительной (к диаметру ротора) крупностью кусков. У дробилок крупного дробления это отношение составляет более 0,3; среднего дробления – 0,1 – 0,3; мелкого дробления – менее 0,1.

По конструктивным признакам роторные дробилки делятся на следующие группы:

- по числу роторов: однороторные, двух- и трехроторные. В свою очередь роторы по числу бил бывают двух-, трех-, четырех- и шестибильные;

- по способу разгрузки готового продукта: со свободной разгрузкой, с разгрузкой через контрольную колосниковую решетку, которая охватывает всю нижнюю полуокружность ротора;
- по характеру исполнения отражательных устройств: с отражательными плитами; с отражательными колосниковыми решетками;
- по числу камер дробления: однокамерные, многокамерные. Чаще всего число камер соответствует количеству отражательных плит;
- по способу подвески отражательных устройств: с жесткой подвеской, с шарнирной подвеской;
- по направлению вращения ротора: реверсивные и нереверсивные;
- по характеру отражательной поверхности: с гладкой, рифленой или зубчатой поверхностью.

11.5.3. Дезинтеграторы и дисмембраторы

На рис. 11.12 изображен дезинтегратор, представляющий собой дробилку ударного действия, рабочим органом которой являются два вращающихся в разные стороны ротора.

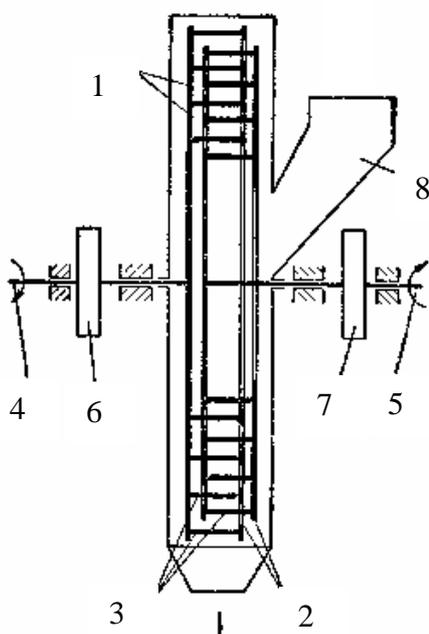


Рис. 11.12. Схема дезинтегратора:
1, 2 – вращающиеся диски; 3 – пальцы;
4, 5 – валы; 6, 7 – шкивы; 8 – загрузочная воронка

Каждый ротор состоит из дисков 1, соединенных с кольцевыми дисками 2 стальными цилиндрическими пальцами 3, и закреплен с помощью ступиц на отдельных валах 4, 5. Валы роторов приводятся во вращение от индивидуальных электродвигателей через шкивы 6 и 7. Пальцы на дисках роторов размещены по концентрическим окружностям так, что каждый ряд пальцев одного ротора входит между двумя рядами другого. Окружная скорость пальцев, расположенных по внешней окружности, составляет 22 – 37 м/с.

Дробимый материал подается через загрузочную воронку 8 к центру ротора. Пальцы, расположенные по внутренней окружности, дробят материал и отбрасывают его куски к следующему концентрическому ряду, вращающемуся в противоположном направлении. Та-

ким путем материал последовательно и многократно дробится пальцами ротора. Расстояние между пальцами последнего (наружного) ряда определяет максимальный размер кусков раздробленного продукта. Одновременно с дроблением происходит хорошее перемешивание компонентов дробимого материала.

Степень измельчения i в дезинтеграторе обычно не превышает 10 и регулируется скоростью вращения роторов. В отличие от дезинтеграторов дисмембраторы имеют один ротор. Внутренняя стенка корпуса выполняет роль второго (неподвижного) диска, т.е. является статором. Пальцам дисмембратора, установленным на статоре и роторе, часто придают форму ножей для измельчения материала срезом и разрывом. Число оборотов ротора дисмембратора примерно вдвое превышает число оборотов дисков дезинтегратора.

11.6. Измельчители истирающе-раздавливающего действия

11.6.1. Жерновые измельчители

Основными рабочими элементами жернового измельчителя (рис. 11.13) являются два каменных круга 3 и 4 – жернова, которые размещаются в кожухе 7. Нижний жернов крепится на опорном колесе 9 и приводится во вращение от вала 10 (частота вращения достигает 3 000 об/мин и более), который нижним концом опирается на подпятник 11. Верхний жернов остается неподвижным и своим весом, а также с помощью пружин 8 через бандаж 5 прижимается к подвижному жернову.

Измельчаемый материал через воронку 6 поступает внутрь верхнего жернова и затем центробежными силами, а также с помощью специальных насечек на рабочих поверхностях жерновов затягивается между последними и измельчается. Измельченный материал выбрасывается в кожух 7 и выходит через штуцер 2. Крупность помола регулируется установочным устройством 1, позволяющим перемещать один из жерновов в осевом направлении.

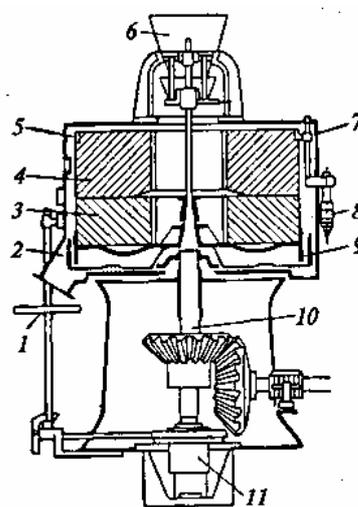


Рис. 11.13. Жерновая мельница

В химической промышленности жерновые мельницы применяются для размалывания и истирания красителей. Главным их достоинством является инертность материала мелющих элементов – жерновов. Дело в том, что при измельчении и растирании материалов рабочие поверхности измельчителя частично изнашиваются и загрязняют измельчаемый материал. Загрязнение красителей частицами металла приводит к изменению цвета красителя, неустойчивости его при воздействии света, теплоты или атмосферных осадков. Такая опасность уменьшается, если рабочие поверхности измельчителя изготовлены из инертного материала. В современных жерновых мельницах жернова изготавливаются из корунда.

11.6.2. Бегуны

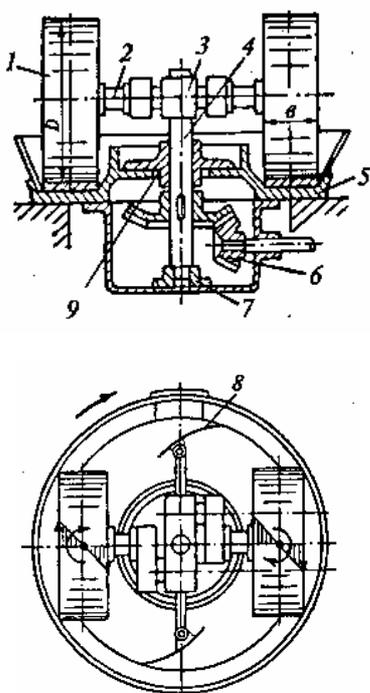


Рис. 11.14. Бегуны

Бегуны (рис. 11.14) состоят из массивных катков 1, закрепленных на полуосях 2, шарнирно соединенных с водилом 3. Водило установлено на валу 4, опирающемся на подпятник 7 и через втулку 9 на чашу 5. Привод вала осуществляется через коническую зубчатую пару 6. Водило 3, вращаясь, увлекает за собой катки 1, заставляя их бегать (отсюда «бегуны») по дну чаши.

Сырье подается в чашу, где измельчается катками до частиц нужного размера (0,04 мм и менее). В процессе измельчения центробежные силы сдвигают материал к наружной стенке чаши, откуда его возвращают снова под катки с помощью специальных скребков 8. При попадании кусков под тяжелые катки происходит раздавливание, а при поворачивании катков относительно вертикальной оси – истирание.

Существуют различные конструкции бегунов для сухого и мокрого измельчения, но основной принцип их работы такой же, как у рассмотренных бегунов.

11.7. Машины для тонкого и сверхтонкого измельчения

В барабанных и кольцевых мельницах, широко применяемых для тонкого измельчения, материал с кусками размером 2 – 10 мм измельча-

ется до размера наибольших его частиц 0,075 – 2 мм под одновременным действием раздавливающих, ударных и истирающих усилий.

11.7.1. Барабанные мельницы

Барабанные мельницы – это машины, в которых материал измельчается внутри вращающегося корпуса (барабана) под воздействием мелющих тел или самоизмельчением. Мелющими телами служат металлические шары или стержни. При вращении барабана мелющие тела увлекаются под действием центробежной силы и силы трения вместе с поверхностью стенок на определенную высоту, а затем свободно падают и измельчают материал ударом, раздавливанием и истиранием. Помимо этого материал измельчается между мелющими телами, а также между этими телами и внутренней поверхностью мельницы.

Барабанная мельница (рис. 11.15) состоит из горизонтального цилиндрического корпуса (барабана) 1, закрытого торцовыми крышками 2 и 3 с пустотелыми цапфами, установленными в подшипниках 4. Мельница приводится во вращение через зубчатый венец 5 от шестерни приводного вала. Барабан и крышки мельницы футерованы стальными плитами 6, поверхность которых для уменьшения проскальзывания мелющих тел часто выполняется волнообразной или ступенчатой. Материал в мельницу подается питателем через загрузочную цапфу 7. Измельченный материал удаляется через разгрузочную цапфу 8 на другом конце аппарата.

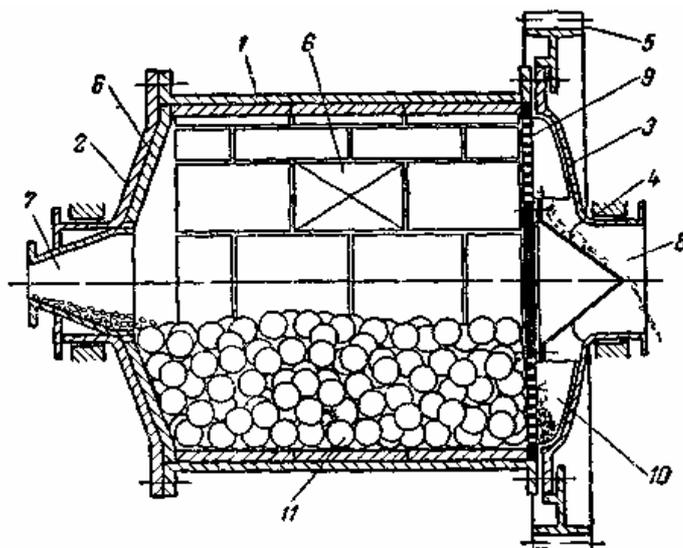


Рис. 11.15. Схема шаровой диафрагмовой мельницы:

1 – корпус (барабан); 2, 3 – торцовые крышки; 4 – подшипник; 5 – зубчатый венец; 6 – плиты; 7 – загрузочная цапфа; 8 – разгрузочная цапфа; 9 – диафрагма; 10 – лифтеры; 11 – шары

По способу разгрузки продукта различают мельницы с разгрузкой через решетку, из которых продукт выходит через решетчатую диафрагму 9 у разгрузочного конца, и с центральной разгрузкой через полулю цапфу (без решетки). В мельницах первого типа разгрузочная решетка 9 снабжена радиальными ребрами (лифтерами) 10, принудительно разгружающими измельченный продукт.

Недостатки таких мельниц: уменьшение рабочего объема и увеличение веса машины (за счет диафрагмы и лифтеров), возможность забивания отверстий решетки изношенными мелющими телами.

11.7.2. Ролико-маятниковые мельницы

В такой мельнице (рис. 11.16) материал измельчается между неподвижным кольцом 1 и быстровращающимися роликами 2, шарнирно подвешенными к крестовине 3, закрепленной на вертикальном валу 4. При вращении вала ролики центробежной силой инерции прижимаются к рабочей поверхности неподвижного кольца

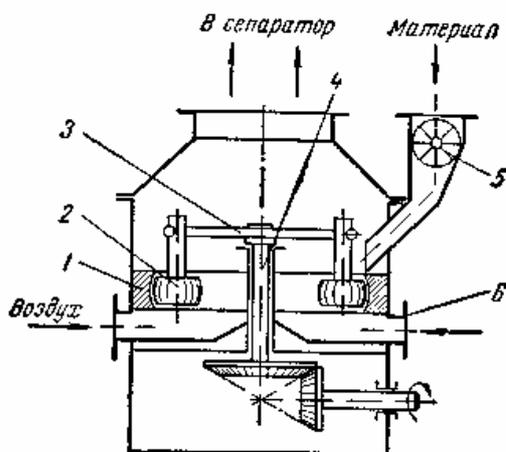


Рис. 11.16. Схема кольцевой ролико-маятниковой мельницы:

1 – кольцо; 2 – ролик; 3 – крестовина; 4 – вал; 5 – питатель; 6 – газовый коллектор

и, вращаясь вокруг своей оси, измельчают материал, подаваемый в мельницу питателем 5. Измельченный материал струей воздуха (или инертных газов), поступающей из коллектора 6, уносится в воздушный сепаратор. Грубая фракция из сепаратора возвращается в мельницу на доизмельчение, а тонкая (готовый продукт) улавливается в циклонах. Очищенный газ из циклонов посредством вентилятора возвращается в мельницу.

При сверхтонком измельчении материала разрушение происходит не по поверхности трещин, пересекающих всю толщу частиц, а, главным образом, путем «отшелушивания» (усталостного разрушения) вследствие поверхностной трещиноватости измельчаемых частиц. При этом увеличивается доля затрат энергии на образование новых поверхностей по сравнению с энергией упругих деформаций частиц измельчаемого материала.

Поэтому наиболее эффективно и с наименьшими затратами энергии сверхтонкое измельчение осуществляется при высокочастотном воздействии на материал посредством сравнительно слабых ударов.

Сверхтонкое измельчение производят в вибрационных, струйных и коллоидных мельницах, в которых частицы материала измельчаются приблизительно от 0,1 – 10 мм до $1 \cdot 10^{-4}$ – $75 \cdot 10^{-5}$ мм.

11.7.3. Струйные мельницы

В струйных мельницах энергия, необходимая для измельчения материала, сообщается струей энергоносителя (воздуха, перегретого пара, инертного газа), подаваемой из сопел со звуковыми и сверхзвуковыми скоростями.

Для сверхтонкого измельчения применяются струйные мельницы с плоской и трубчатой помольными камерами.

В мельнице с плоской помольной камерой (рис. 11.17) энергоноситель из распределительного коллектора 1 через сопла 2 отдельными струями поступает в помольно-разделительную камеру 3.

Оси сопел расположены под некоторым углом α относительно соответствующих радиусов камеры, вследствие чего струи газа пересекаются, образуя вокруг вертикальной оси камеры вращающийся с окружной скоростью 100 – 150 м/с многоугольник. Материал на измельчение подается инжектором 4, увлекается струями газа, получает ускорение и измельчается под действием многократных соударений и частично истиранием частиц в точках пересечения струй.

По мере уменьшения размера и массы частицы испытывают все меньшее воздействие центробежной силы инерции во вращающемся по-

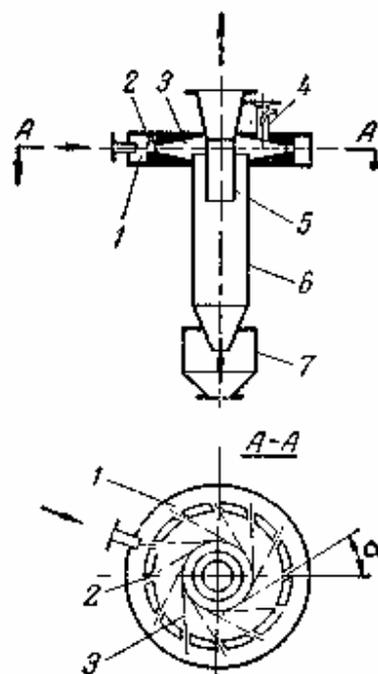


Рис. 11.17. Схема струйной мельницы с плоской помольной камерой:

- 1 – коллектор энергоносителя;
- 2 – сопла;
- 3 – помольная камера;
- 4 – инжектор;
- 5 – выхлопная труба;
- 6 – осадительная трубка;
- 7 – приемник

токе и, измельчившись до определенного размера, попадают вместе с газовым потоком в кольцевую щель между трубами 5 и 6. В поле центробежных сил, возникающих в нисходящем вихревом потоке в трубе 6, около 80 % частиц осаждаются на внутренней поверхности трубы и удаляются в приемник 7. Наиболее мелкие частицы, составляющие ~20 %, уносятся по трубе 5 и улавливаются в дополнительных циклонах и матерчатых фильтрах.

Мельница с вертикальной трубчатой помольной камерой (рис. 11.18) представляет собой замкнутый трубчатый контур 1, в нижнюю часть которого через систему сопел 2 поступает энергоноситель.

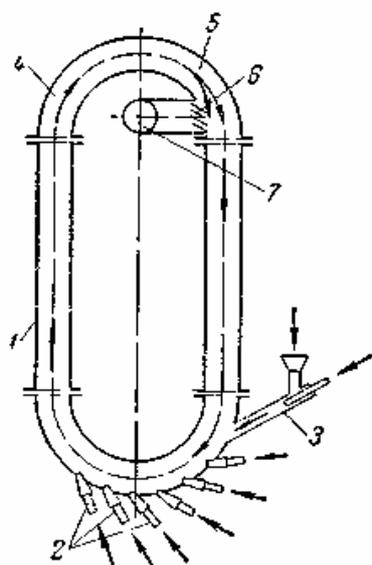


Рис. 11.18. Схема струйной мельницы с трубчатой помольной камерой:

1 – трубный контур; 2 – сопла; 3 – инжектор; 4, 5 – колена трубы; 6 – жалюзийный пылеразделитель; 7 – выхлопная труба

измельченного материала по крупности частиц происходит в поле центробежных сил при поворотах потока в коленах 4 и 5 трубы.

Крупные частицы отбрасываются к внешней стенке трубы и по правой вертикальной трубе вновь попадают в зону измельчения. Мелкие частицы, движущиеся у внутренней стенки трубы, выходят вместе с энергоносителем через жалюзи 6 инерционного пылеразделителя в трубу 7 и далее во внешнюю систему улавливания (циклоны и матерчатый фильтр). В пылеразделителе крупные частицы, обладающие относительно большей кинетической энергией, отражаются лопатками жалю-

зную часть которого через систему сопел 2 поступает энергоноситель. Материал на измельчение подается с помощью инжектора 3. Сопла устанавливаются попарно таким образом, чтобы каждая пара струй пересекалась в вертикальной плоскости на некотором расстоянии от противоположной стенки трубы.

Для создания дополнительной циркуляции газа сопла располагают под некоторым углом к вертикальной плоскости. Как и в плоской помольной камере, материал измельчается при многократных соударениях частиц в точках пересечения струй и в общем вихревом потоке. Разделение

зей, а более мелкие частицы проходят между лопатками вместе с уходящим газовым потоком. По сравнению с мельницами с плоской камерой в трубчатых мельницах достигается большая однородность измельченного продукта.

Достоинства струйных мельниц: высокая эффективность измельчения, отсутствие вращающихся деталей и мелющих тел, возможность сочетания помола и классификации с другими технологическими процессами. Недостатки: большой расход энергоносителя и, следовательно, высокая энергоемкость процессов, необходимость равномерного питания материалом и поддержания постоянного аэродинамического режима работы мельницы.

Тема 12

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПО КРУПНОСТИ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

В строительном производстве и химической технологии достаточно часто применяют твердые материалы в виде дискретных материалов. При этом имеет важное значение не только абсолютный размер частиц материала, но и однородность частиц по размерам.

Особенности конкретного технологического процесса могут предъявлять различные требования по пределам крупности. В некоторых случаях требуется удалить из сырья мелкие (пылящие) фракции. Иногда необходимо обеспечить возможно минимальный размер частиц (лакокрасочная промышленность).

Применяют различные способы разделения сыпучих материалов на фракции. Из них наибольшее распространение имеют следующие:

- разделение просеиванием (грохочением) через сита и решетки;
- разделение под действием гравитационно-инерционных сил;
- разделение под действием гравитационно-центробежных сил.

Грохочение или просеивание через разделительную перегородку осуществляется в поле гравитационных сил, при этом необходимо еще обеспечить перемещение частиц по разделительной поверхности, а желательно еще и перемешивание. Способов для обеспечения этих условий существует несколько. Это и движение разделяемого материала по наклонной плоскости, интенсифицировать которое может изменение угла наклона, и применение вибрационного воздействия.

Необходимая крупность материала для производственных целей определяется технологическим процессом, а для других – назначением и условиями его потребления. Так, для осуществления процессов в кипящем слое крупность частиц должна быть не ниже 0,1 мм, а для лакокрасочного производства – должна измеряться единицами микрометров, причем, чем меньше частицы, тем лучше.

При добыче и измельчении твердых материалов редко удается сразу получить продукт требуемого состава. Обычно продукты измельчения состоят из частиц различных размеров и формы, и из них приходится выделять нужные фракции.

12.1. Разделение просеиванием через сита и решетки

Способ разделения порошкообразных материалов на фракции просеиванием их через сита является самым распространенным и простым. Суть его состоит в том, что материал пропускают через сито с определенным размером отверстий d . Частицы, размер которых меньше размера отверстия в сите, проходят через него (фракция $-d$), а более крупные задерживаются (фракция $+d$).

Применяя сита с разными отверстиями, можно разделить зернистый материал практически на любое число фракций.

Промышленность выпускает сита с отверстиями, имеющими размер стороны от 40 мкм и выше.

Площадь в свету по отношению ко всей площади сита для всех сит остается постоянной и составляет около 36 %.

В США распространена дюймовая шкала сит. Употребляемое в технике американское понятие «меш» означает количество отверстий в сите на один линейный дюйм (25,4 мм). Например, сито, имеющее 10 отверстий на 1 дюйм, называют ситом в 10 меш.

Размер стороны ячеек проволочных сит, выпускаемых отечественной промышленностью, стандартизован в соответствии с нормальным рядом чисел в машиностроении и составляет 0,04 – 100 мм.

Номер сита соответствует числу отверстий на один линейный сантиметр. Если обозначить длину стороны отверстия через l , число отверстий на линейный сантиметр через m и площадь поперечного сечения в свету 1 см² сита $F_{св}$ в мм², то

$$l \cdot m = \sqrt{F_{св}} = \sqrt{36} = 6.$$

Эта зависимость позволяет по номеру сита найти размер стороны отверстия или по стороне отверстия найти номер сита.

Советской системой сит сетки по сечению делятся на следующие классы (площадь отверстия, мм²):

Наимельчайшая	до 0,025
Мельчайшая	0,025 – 0,25
Мелкая	0,25 – 1
Средняя	1 – 25
Крупная	25 – 625
Очень крупная	свыше 625

По способу изготовления, определяющему также и форму ячеек, сетки бывают тканые, плетеные, крученые, сварные, стержневые, вязаные и сборные (рис. 12.1).

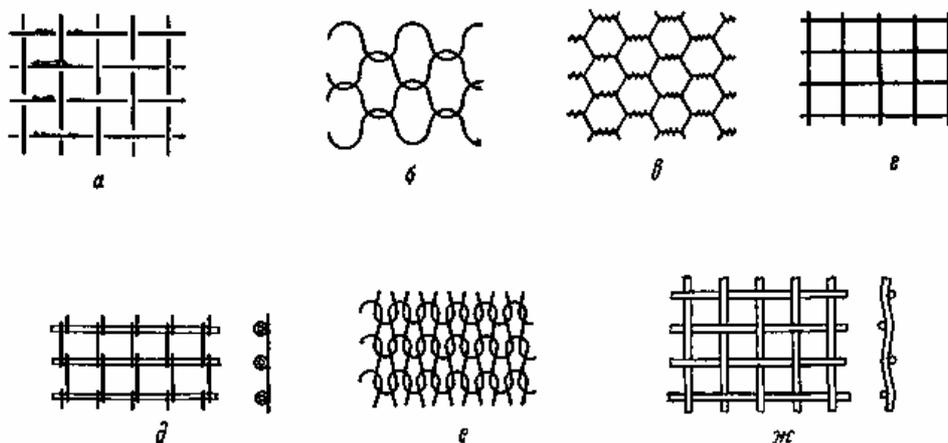


Рис. 12.1. Виды сеток:

a – тканые; *б* – плетеные; *в* – крученые; *г* – сварные; *д* – стержневые;
е – вязаные; *ж* – сборные

Кроме проволочных сеток применяют перфорированные решетки, изготовленные из листов и имеющие отверстия разной формы.

Проволочные и перфорированные сетки в зависимости от их назначения и условий, в которых они должны работать, изготавливают из разных материалов. Все сетки стандартизованы, и их подробную характеристику можно найти в ГОСТах и справочниках по цветным и черным металлам.

Процесс разделения сыпучих материалов с помощью сит носит название «рассеивание» или «грохочение», а устройства, в которых идет этот процесс, называют ситами или грохотами. Термины «рассеивание» и «сита» употребляют в случае разделения мелкозернистых сыпучих мате-

риалов, а «грохочение» и «грохот» – при разделении крупнозернистых и кусковых материалов.

В многотоннажных производствах для разделения сыпучих материалов применяют сита и решетки с отверстиями размером не менее 100 мкм в поперечнике. Сито с более мелкими ячейками используют для рассеивания порошкообразных материалов только в мелкотоннажных производствах и для контрольных анализов.

Создано много типоразмеров грохотов, которые можно разделить на две группы: плоские и барабанные.

12.2. Плоские грохоты

К числу плоских грохотов относятся колосниковые, валковые и ситовые.

12.2.1. Колосниковый грохот

Неподвижный колосниковый грохот (рис. 12.2) состоит из колосников 1, собранных на стяжках 2 на некотором расстоянии друг от друга. Это расстояние фиксируется дистанционными трубками 3, длина которых определяется крупностью кусков материала, подлежащего выводу из основного потока сырья.

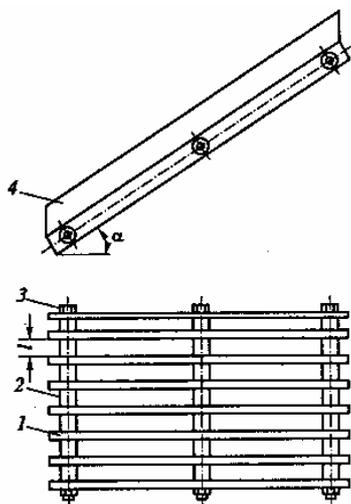


Рис. 12.2. Неподвижный колосниковый грохот:

1 – колосники; 2 – стяжки; 3 – дистанционные трубки; 4 – борт

Борт 4 удерживает материал на грохоте и является направляющим элементом. Такой грохот обычно устанавливают перед дробилками крупного дробления, чтобы выводить из потока сырья фракцию материала, не подлежащую дроблению. Угол наклона α должен быть таким, чтобы материал свободно скатывался вниз по колосникам; обычно $\alpha = 30 - 50^\circ$. Колосники изготавливаются литыми или из стальных балок. Чтобы уменьшить или совсем исключить возможность

застревания кусков материала между колосниками, последние выполняют трапецевидного или Т-образного сечения и устанавливают широким осно-

ванием вверх. Обычно применяют грохоты с расстоянием между колосниками не менее 50 мм. Даже при такой ширине отверстия не исключается возможность забивки грохота при попадании на него сырых глинистых руд.

Необходимая поверхность грохота для обеспечения заданной производительности обычно рассчитывается, исходя из опытной удельной производительности, принимаемой по сырому материалу и равной $30 \text{ м}^3/\text{м}^2$ грохота.

Производительность грохота пропорциональна скорости движения материала и возрастает с увеличением угла наклона грохота. Чем круче установлен грохот, тем больше его производительность, но тем труднее отделяется мелкая фракция от общего потока.

12.2.2. Валковый грохот

К грохотам с подвижными колосниками относятся валковые грохоты, просеивающей поверхностью которых являются диски, насаженные на вращающиеся горизонтальные валы, установленные параллельно друг другу. Рассеиваемый материал движется по дискам, при этом просев проваливается в зазоры между дисками, а отсев разгружается в конце грохота. Эти грохоты более производительны и по сравнению с неподвижными колосниковыми грохотами обеспечивают повышенную эффективность грохочения. Износ дисков – основной недостаток этих грохотов. При грохочении глинистых материалов на валки и диски налипают глины, и работа грохота ухудшается.

12.2.3. Ситовые грохоты

Из всех известных грохотов наиболее распространенными являются ситовые (рис. 12.3). Ситовые грохоты применяют как для классификации, так и для промывки, обезвоживания или освобождения кусковых и зернистых материалов от шлама. Подлежащий грохочению материал (рис. 12.3, а) поступает в короб 1 с ситом 2 и под действием гравитационных и инерционных сил продвигается по ситам к выходному концу короба. Короб грохота с ситом закреплен на раме 4 на подвесках 3 и с помощью приводного механизма 5 совершает возвратно-поступательное движение.

При классификации на ситовом грохоте материал делится на число фракций, равное числу сит, плюс единица, т.е. число получаемых фракций на единицу больше числа сит. Границы раздела сыпучего материала на фракции определяются размером отверстий в ситах грохота.

Для разделения материала на несколько фракций изготавливают многоситовые грохоты. При этом сита компонуются либо по высоте (рис. 12.3, б), либо по длине (рис. 12.3, в). В обоих случаях эффективность классификации и производительность грохота примерно одинакова, но вертикальная компоновка сит занимает меньше места в плане и больше по высоте, а при горизонтальной – наоборот.

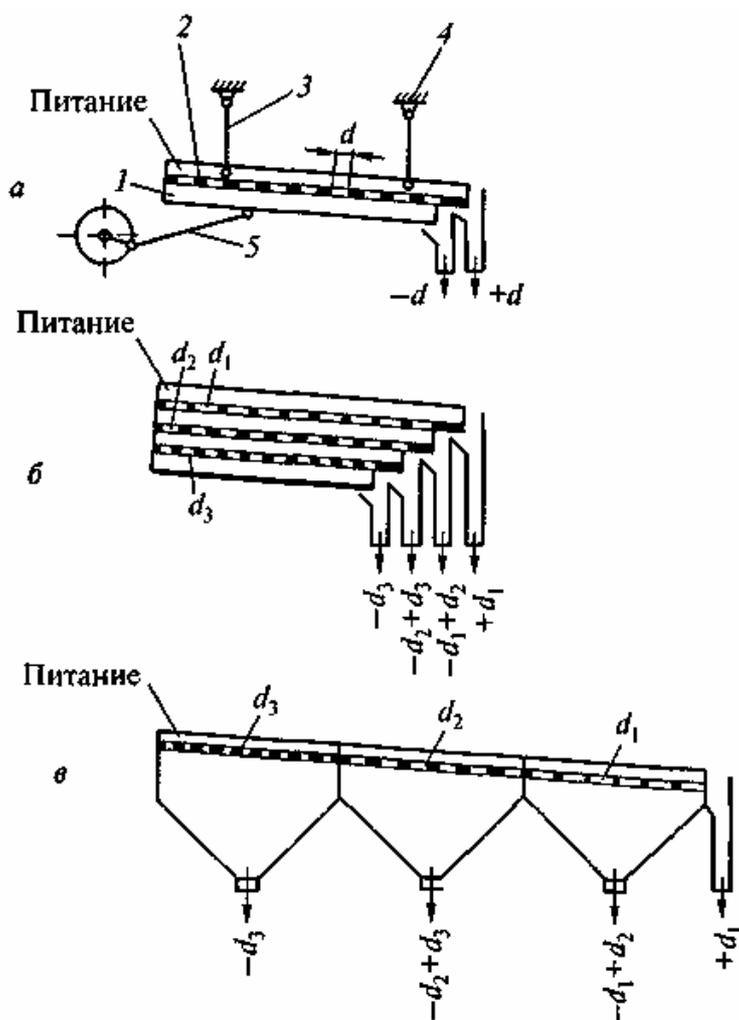


Рис. 12.3. Схемы ситовых грохотов:

a – односитовой; *б* – многоситовой с вертикальной компоновкой сит;
в – многоситовой с горизонтальной компоновкой сит

В случае промывки, обезвоживания и обесшламливания кускового материала (без классификации) применяют штампованные сита с небольшими отверстиями щелевидной формы, назначение которых пропускать воду и шлам и задерживать куски материала.

Ситовые грохоты по конструктивным особенностям и устройству привода делятся на качающиеся, гирационные и вибрационные.

12.2.3.1. Качающиеся грохоты

На рис. 12.4 представлены схемы различных по устройству качающихся грохотов, просеивающая поверхность которых с помощью приводного механизма совершает возвратно-поступательное движение, обусловленное жесткой кинематической связью приводного эксцентрика 1 с коробом 2, закрепленным на шарнирных подвесках 3 (рис. 12.4, а), либо на шарнирных опорах 4 (рис. 12.4, б), либо на пружинных опорах (рис. 12.4, в), либо на кривошипных опорах 5 (рис. 12.4, г – е).

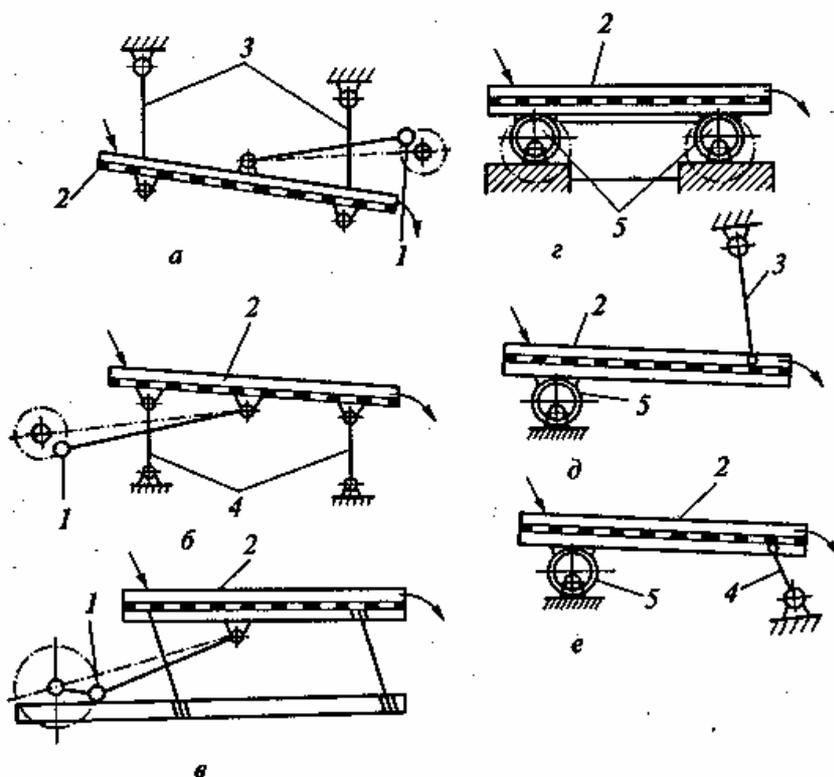


Рис. 12.4. Схемы качающихся грохотов:

а – наклонный на шарнирных подвесках; *б* – наклонный на шарнирных опорах; *в* – горизонтальный на пружинных опорах; *г* – наклонный на кривошипных опорах; *д* – наклонный на кривошипной опоре и шарнирной подвеске; *е* – наклонный на шарнирной и кривошипной опорах

Во всех случаях материал движется по сити к выходному концу и рассеивается на фракции или промывается в зависимости от технологических требований. Достоинствами плоских качающихся грохотов являются высокая производительность и эффективность грохочения, компактность и удобство обслуживания. К недостаткам можно отнести неуравновешенность конструкции и быстрый выход из строя опорных элементов.

12.2.3.2. Гиравционные грохоты

Эти грохоты получили название от гиравционного (жирационного) привода (ГГ или ГЖ). Основной частью гиравционного грохота (рис. 12.5) является короб 6 с одним или двумя ситами 1, совершающий в вертикальной плоскости круговые движения с помощью эксцентрикового вала 7, который получает вращение от шкива 8. Сито грохота за оборот вала перемещается параллельно самому себе. Концы корпуса сит соединяются с неподвижной рамой 4 пружинными амортизаторами 5. Центробежные силы инерции, возникающие при движении корпуса, уравниваются контргрузами 3 на симметрично расположенных дисках 2.

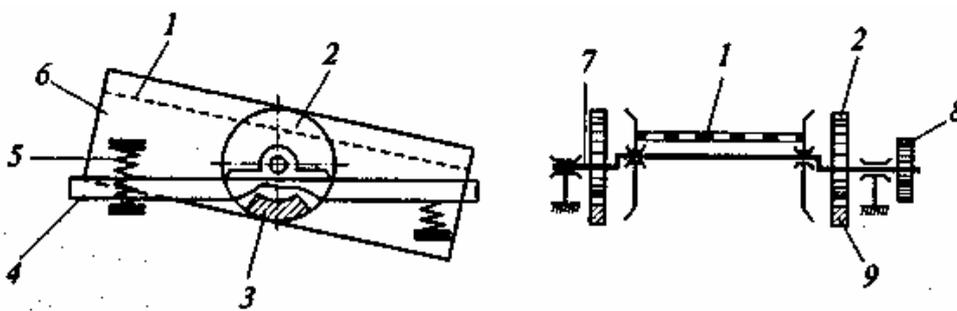


Рис. 12.5. Схема гиравционного грохота:

1 – сита; 2 – диски; 3 – контргрузы; 4 – рама; 5 – пружинные амортизаторы; 6 – короб;
7 – эксцентриковый вал; 8 – шкив; 9 – контргрузы

12.2.3.3. Вибрационные грохоты

Эти грохоты получили название от инерционного привода.

Вибрационные грохоты, так же как и гиравционные, изготавливают с одним, двумя и тремя ситами различных размеров, производительности и назначения. Особенностью этих грохотов является приводной механизм и обязательная установка короба на пружинящих опорах или пружинящих подвесках.

Вибрационный грохот (рис. 12.6) состоит из опорной рамы 1, пружинящих опор или подвесок 2, короба с ситом 3, вала 4 с дебалансом 5, маховика 6 с регулятором дебаланса 7, называемым балансиром, шкива 8 и подшипников 9.

Вибрация короба 3 с ситом происходит вследствие неуравновешенности масс вращающихся дебаланса 5 и балансира 7. Амплитуда колебания зависит от общего дебаланса. Сортируемый материал непрерывно подбрасывается на наклонно установленном сите, при этом мелкие куски проваливаются через отверстия сит, а крупные – перемещаются к нижнему концу короба.

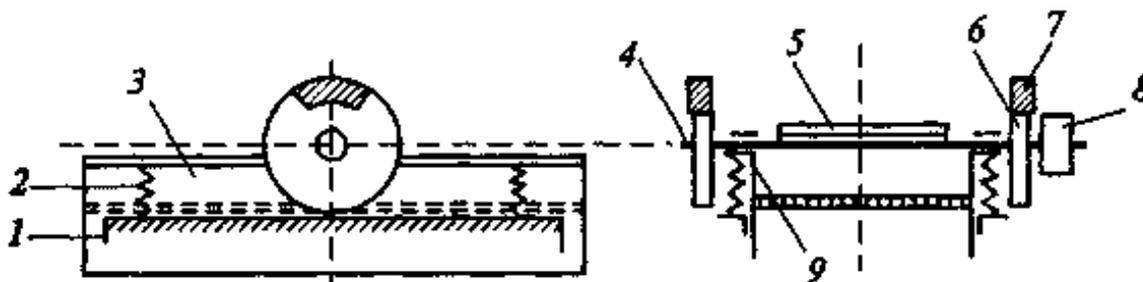


Рис. 12.6. Схема вибратонного грохота:

1 – опорная рама; 2 – опоры; 3 – короб с ситом; 4 – вал; 5 – дебаланс; 6 – маховик;
7 – регулятор дебаланса; 8 – шкив; 9 – подшипники

Особенность этих грохотов связана с наличием приводного вибратонного механизма, который является сборочной единицей и включает в себя вал с дебалансом, маховик с балансиром, шкив и подшипники.

12.3. Барабанные грохоты

Барабанный грохот (рис. 12.7) состоит из дырчатого вращающегося барабана 3, опорного устройства 1 и приводного механизма 4. Подлежащий фракционированию материал, поступающий через воронку 2, при вращении барабана под действием силы трения поднимается на некоторую высоту, затем сползает вниз. Так как барабан устанавливают с наклоном $3 - 8^\circ$ в сторону приемного бункера 5, частицы материала, двигаясь вниз, собираются у выходного конца барабана. При движении и происходит разделение материала на фракции. Нижняя фракция, пройдя через отверстия сита, собирается в бункере 6, а верхняя (крупная) поступает в бункер 5.

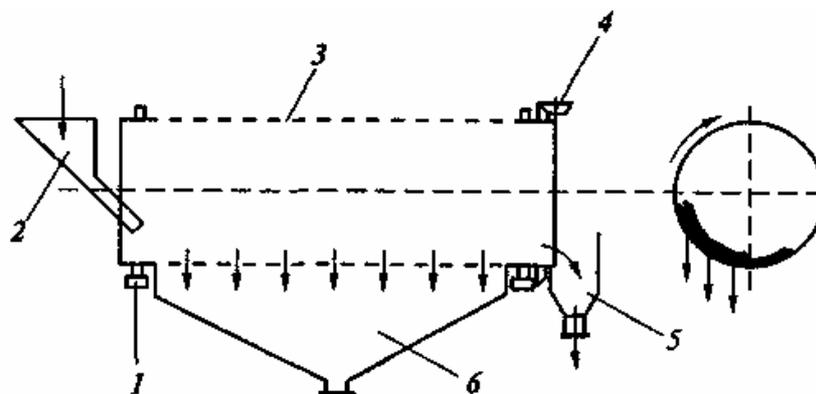
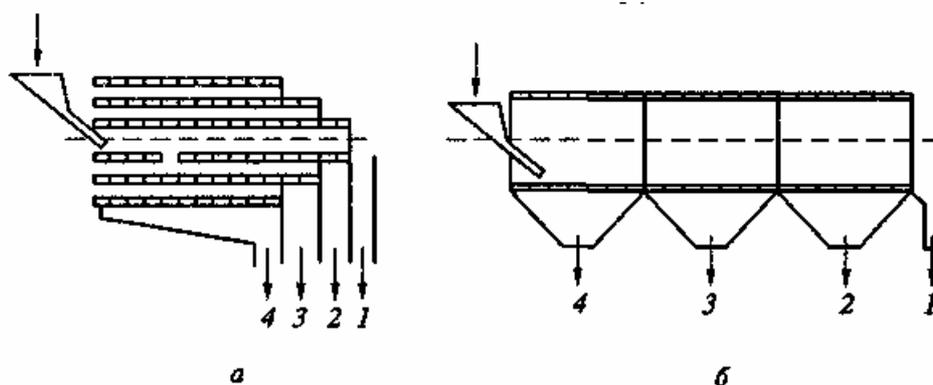


Рис. 12.7. Схема барабанного грохота:

1 – опорная рама; 2 – питающая воронка; 3 – барабан; 4 – приводной механизм;
5 – бункер крупной фракции; 6 – бункер мелкой фракции

При разделении материала на большое число фракций используют барабанные грохоты с несколькими ситами, собранными концентрично или последовательно друг за другом.

При концентрическом расположении сит (рис. 12.8, а) материал сначала поступает на внутреннее сито с самыми большими отверстиями. Здесь задерживается крупная фракция, которая собирается в бункере 1. Нижняя фракция первого сита попадает на второе и делится также на две фракции, верхняя из которых выводится в бункер 2, а нижняя, пройдя через второе сито, попадает на третье, где снова делится на две фракции, верхняя из которых попадает в бункер 3, а нижняя – в бункер 4. При последовательном расположении сит (рис. 12.8, б) исходный материал сначала поступает на мелкое сито, где отбирают самую мелкую фракцию. По мере продвижения материала вдоль барабанного грохота размер отверстий в ситах увеличивается и соответственно возрастает крупность отделяемых фракций.



Барабанные грохоты просты по конструкции, у них нет качающихся масс, как у плоских грохотов, поэтому они являются динамически уравновешенными аппаратами. Однако барабанные грохоты громоздки, имеют малую удельную производительность и низкую эффективность грохочения. Эти недостатки обусловлены низким коэффициентом использования поверхности сит. При заполнении барабана на 15 – 18 % объема поверхность сит используется всего на 20 – 30 %. Поэтому барабанные грохоты применяются значительно реже плоских.

Тема 13

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Непрерывно действующие измельчители, грохоты и сепараторы могут работать без аварий и с высокой производительностью только тогда, когда питание их исходным сырьем будет регулярным во времени и равномерным по рабочей зоне. Если питание нерегулярно, то машина при излишнем питании окажется под завалом, что может привести к ее поломке, либо при недостатке питания будет работать на холостом ходу. Если питание неравномерно по ширине дробилки или грохота, то будет работать какая-либо одна сторона машины, что вызовет усиленный односторонний износ, перекос и поломку деталей, а также нежелательные изменения качества продукции. Для регулярного и равномерного питания машин и применяют специальные устройства, называемые питателями.

Создано большое число типоразмеров питателей различного назначения, из которых в технике измельчения уже нашли применение цепные, шнековые, пластинчатые, ленточные, тарельчатые и барабанные.

13.1. Цепные питатели

Цепные питатели применяют для равномерной подачи крупно- и среднекусковых материалов. Питатель (рис. 13.1) состоит из опорной рамы 7, кулачков барабана 3 или вала с цепными звездочками и ряда бесконечных сварных цепей 4, надетых на барабан и связанных между собой дистанционными распорками, лотка 2 и приводного механизма 5.

Подлежащий измельчению материал из приемного бункера поступает на лоток и удерживается на нем тяжестью свисающего конца цепного полотна. При вращении барабана (звездочек) цепное полотно приводится в движение и своим нижним ручьем продвигает материал к выходу.

Низ лотка в зависимости от назначения питателя выполняют в виде сплошного дна или набирают из колосников, подобно колосниковому грохоту. Последний тип лотка применяют в случае подачи материала в измельчитель и необходимости вывода мелкой фракции из потока. Высота бортов лотка примерно в два раза больше размера самого крупного куса в подаваемом материале. Угол наклона лотка должен быть равным или несколько большим угла трения материала по днищу лотка. Если убрать цепь, материал может свободно спускаться по лотку вниз. Длину цепи вы-

бирают такой, чтобы ее свободный конец ложился на материал, прижимая куски к низу лотка, и препятствовал его сползанию. Геометрические размеры профиля питателя определяются размерами максимальных кусков подаваемого материала и конкретными условиями его работы.

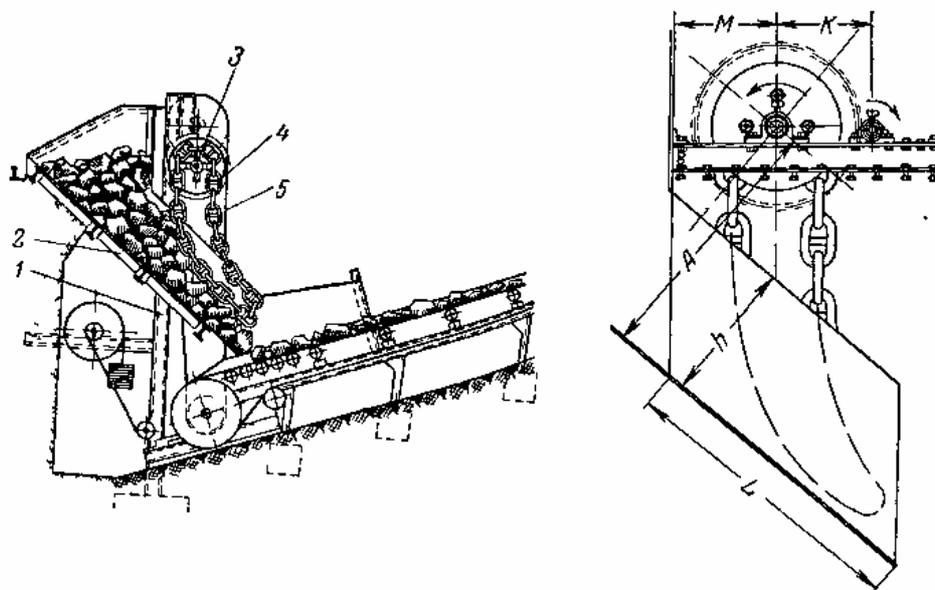


Рис. 13.1. Цепной питатель:
1 – опорная рама; 2 – лоток; 3 – кулачковый барабан; 4 – цепное полотно;
5 – приводной механизм

13.2. Шнековые питатели

Для равномерной подачи мелкокусковых и порошкообразных материалов, но боящихся перемалывания, применяют шнековые или винтовые питатели, устройство которых показано на рис. 13.2.

Питатель состоит из литого или сварного корпуса 1, имеющего приемный 4 и отводной 7 штуцер, винта 5, выполненного в виде отливки или сварного, опорного 6 и упорного 2 подшипников и приводного механизма 3.

Поступающий через штуцер 4 сыпучий материал продвигается вдоль корпуса питателя вращающимся винтом и выбрасывается через штуцер 7. Чтобы исключить давление материала на опорный подшипник, винт имеет 1 – 1,5 обратных витка со стороны этого подшипника, которые не дают материалу заходить за выводной штуцер. Такие питатели обычно устанавливают под бункером, но иногда шнек или винт вводят непосредственно в бункер.

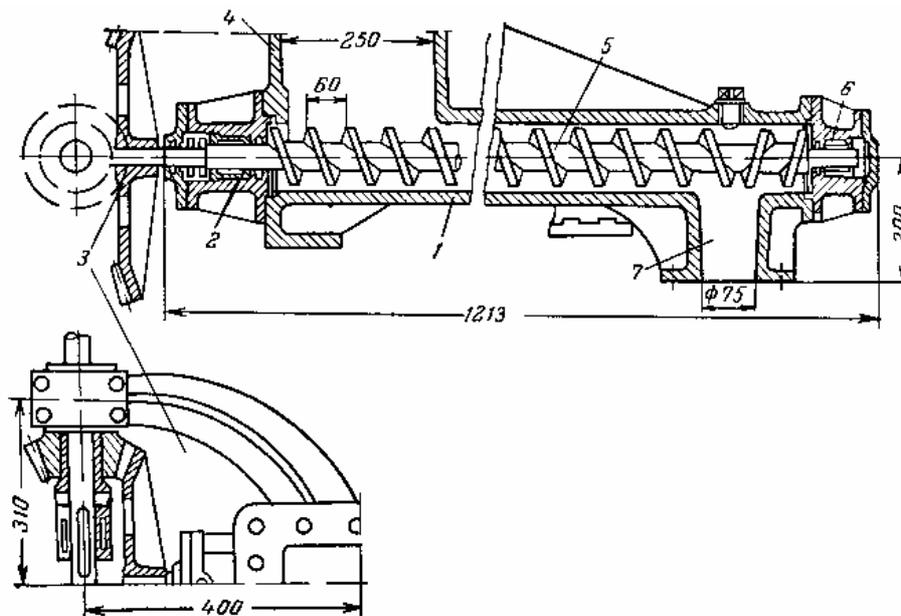


Рис. 13.2. Шнековый питатель:

1 – корпус; 2 – упорный подшипник; 3 – приводной механизм; 4 – приемный штуцер;
5 – винт; 6 – опорный подшипник; 7 – отводной штуцер

13.3. Пластинчатые питатели

На рис. 13.3 показан пластинчатый питатель, предназначенный для равномерной подачи кусковых материалов крупностью до 500 мм. Питатель имеет следующую конструкцию. На опорной, сваренной из сортовой стали раме 10 в подшипниках 9 вращаются пара натяжных 1 и пара приводных 7 звездочек. На звездочки натянуты две цепи 4, к которым прикреплены набегающие друг на друга стальные пластины 6, образующие непрерывную гибкую ленту. Между звездочками цепи опираются своими роликами на поддерживающие рельсы 2. Рельсы предотвращают прогиб нагруженной ветви ленты.

Натяжение цепей производится путем перемещения подшипников натяжных звездочек. Приводные звездочки поворачиваются храповым механизмом 5, а последний приводится в движение от электродвигателя 11 через редуктор 12, кривошип 3 и шатун 8. Материал движется по верхней ветви пластинчатой ленты в направлении от натяжных к приводным звездочкам. Чтобы куски транспортируемого материала не падали с ленты, питатель снабжен боковыми стенками. Конструкция кривошипа позволяет менять его радиус, а следовательно, и угол поворота храпового колеса, связанного с ведущими звездочками. Такое устройство дает возможность изменять скорость движения ленты и производительность питателя.

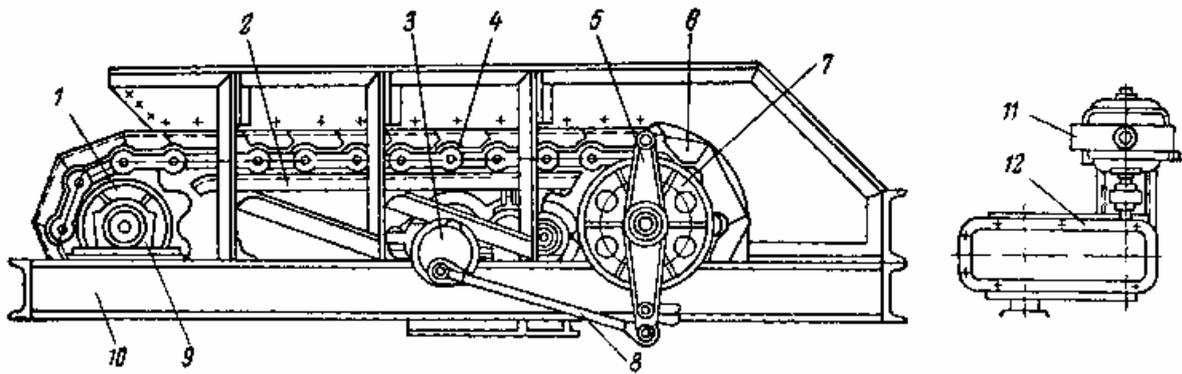


Рис. 13.3. Пластинчатый питатель:

1 – натяжная звездочка; 2 – рельсы; 3 – кривошип; 4 – цепь; 5 – храповой механизм; 6 – пластины; 7 – приводная звездочка; 8 – шатун; 9 – подшипники; 10 – опорная рама; 11 – двигатель; 12 – редуктор

13.4. Тарельчатые питатели

На рис. 13.4 показан тарельчатый питатель модели ПТ (питатель тарельчатый), предназначенный для подачи легкосыпучего материала крупностью до 125 мм (в зависимости от диаметра диска).

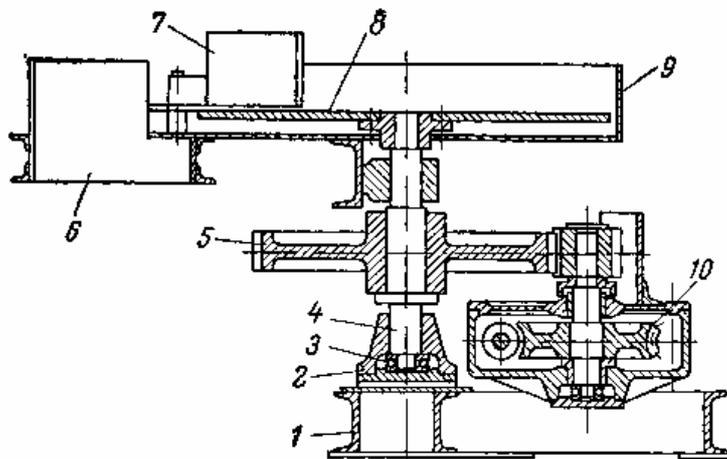


Рис. 13.4. Питатель тарельчатый:

1 – опорная рама; 2 – стойка; 3 – опорный подшипник; 4 – вал; 5 – цилиндрический редуктор; 6 – отводной штуцер; 7 – сбрасывающий нож; 8 – диск (тарелка); 9 – кожух; 10 – червячный редуктор

Питатель состоит из сварной опорной рамы 1, литой стойки 2, вертикального вала 4, стоящего на опорном подшипнике 3, диска 8, посаженного на конец вала, кожуха 9 с отводным штуцером 6, сбрасывающего ножа 7

и приводного механизма, включающего электродвигатель, червячный редуктор 10 и цилиндрическую зубчатую пару 5, малое колесо которой посажено на ось червячного колеса, а большое – на вертикальный вал 4.

13.5. Барабанные питатели

Барабанные питатели применяют для равномерной подачи и выгрузки из бункера мягких сыпучих материалов с крупностью кусков до 30 мм.

Питатель (рис. 13.5) состоит из трех основных узлов: литого или сварного корпуса 1, ячейкового барабана 2 и приводного механизма. Подлежащий подаче материал заполняет находящиеся вверху ячейки барабана через верхний штуцер корпуса, а когда эти ячейки переходят вниз, материал высыпается и попадает в нижний, отводной штуцер. Таким образом, подача материала осуществляется непрерывно.

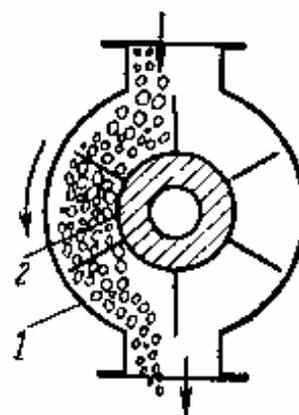


Рис. 13.5. Схема барабанного питателя:

1 – корпус; 2 – ячейковый барабан

Тема 14

СМЕСИТЕЛИ ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Во многих отраслях промышленности часто возникает задача усреднения (смешения) отдельных партий материалов, а также задача введения малых добавок в большие объемы смеси. В химической промышленности это относится к производству полимерных материалов, красителей, минеральных удобрений и т.д.

14.1. Центробежные смесители

Центробежные смесители эффективны для смешения сыпучих материалов и одновременного разрушения агломератов.

Центробежный лопастной смеситель периодического действия (рис. 14.1) состоит из смесительной камеры, представляющей собой верти-

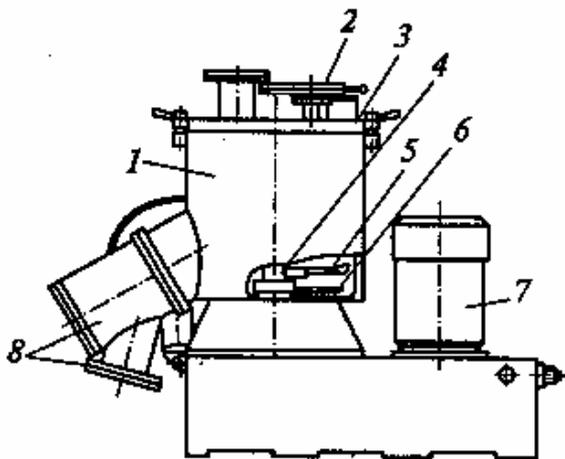


Рис. 14.1. Центробежный лопастной смеситель

кальный цилиндрический корпус 1 с рубашкой и плоским отбортованным днищем. Рабочий объем смесительной камеры составляет от 0,1 до 0,4 м³. Сверху корпус закрыт крышкой 3 со штуцером 2 для загрузки материала. Внутри смесительной камеры размещен рабочий орган, состоящий из лопастной мешалки 5 и скребка 6, установленных на общем вертикальном валу 4. Вал вращается с частотой 720 – 560 об/мин. Привод вала осуществляется от электродвигателя 7 через клиноременную передачу. Готовый продукт выгружается через разгрузочный клапан в штуцере 8.

14.2. Конусные смесители

Интенсивная циркуляция сыпучего материала, необходимая для эффективного смешения, достигается в смесителях центробежного действия с вращающимся конусом (рис. 14.2).

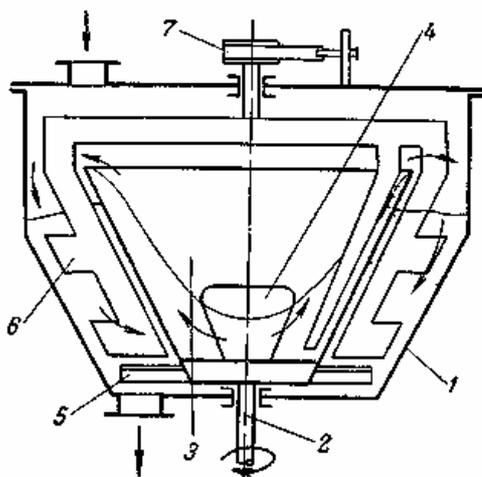


Рис. 14.2. Схема смесителя с вращающимся конусом:

1 – корпус; 2 – вал; 3 – конус; 4 – окно; 5 – лопастная мешалка; 6 – рама; 7 – тормоз

В корпусе 1 аппарата на валу 2 вращается полый усеченный конус 3 с двумя симметрично расположенными окнами 4. При вращении конуса 3 частицы материала под действием центробежных сил движутся по внутренней поверхности конуса вверх, сбрасываются в пространство между конусом и корпусом и через окна 4 вновь поступают в конус 3. Проходу материала через окна 4 способствует лопастная мешалка 5, вращающаяся вместе с конусом.

Процесс смешения осуществляется при подъеме материала по конусу вследствие разных скоростей его частиц, а также в пространстве между конусом и корпусом при падении частиц и при перемешивании их лопастной мешалкой. Для материалов с плохой сыпучестью в корпусе устанавливают раму 6; последняя движущимся материалом вовлекается в свободное вращение, скорость которого регулируют ленточным тормозом 7. Рама 6 создает дополнительные завихрения в движущемся материале, что способствует лучшему его смешению. Загрузка и разгрузка материала производится через люки соответственно в крышке и днище корпуса.

14.3. Шнековые смесители

В шнековых лопастных смесителях рабочими смешивающими органами являются валы-шнеки с Т-образными (рис. 14.3), винтовыми лопастями или лопастями другой формы.

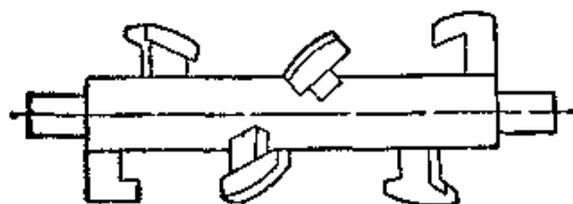


Рис. 14.3. Лопастной (шнековый) вал с Т-образными лопастями

Большинство лопастных смесителей имеют один вал, вращающийся в корытообразном корпусе. Для улучшения качества смешения в некоторых конструкциях одновальных смесителей используют привод, который осуществляет вращение и одновременно возвратно-поступательное движение вала.

14.4. Планетарно-шнековые смесители

На рис. 14.4 показан планетарно-шнековый смеситель периодического действия, предназначенный для смешения и усреднения партий сыпучих материалов с размером частиц не более 5 мм и насыпной плотностью не более $1\,300\text{ кг/м}^3$.

Смеситель представляет собой конический корпус 1, установленный основанием конуса вверх. Внутри корпуса расположены два шнека – центральный 2, смонтированный консольно по оси смесительной камеры, и наклонный 5, установленный вдоль образующей конуса. Частота вращения шнеков составляет 63 об/мин. Наклонный шнек верхним концом с помощью муфты соединен с валом водила и в результате помимо вращения вокруг собственной оси совершает движение вдоль образующей конуса.

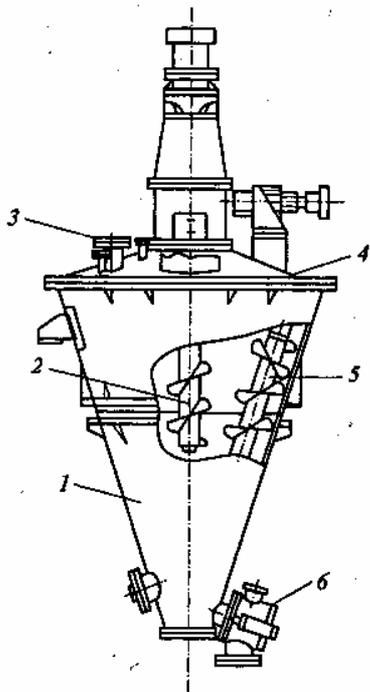


Рис. 14.4. Планетарно-шнековый смеситель

Частота вращения водила составляет 2,3 об/мин. Индивидуальные приводы шнеков расположены на крышке 4 корпуса.

Вращение шнеков вокруг собственных осей осуществляется от привода, состоящего из мотор-редуктора или электродвигателя и редуктора; вращение водила – от мотор-редуктора через муфту и червячную передачу. Материал загружают через штуцер 3; выгрузка продукта производится через штуцер 6 с разгрузочным клапаном.

14.5. Пневматические смесители

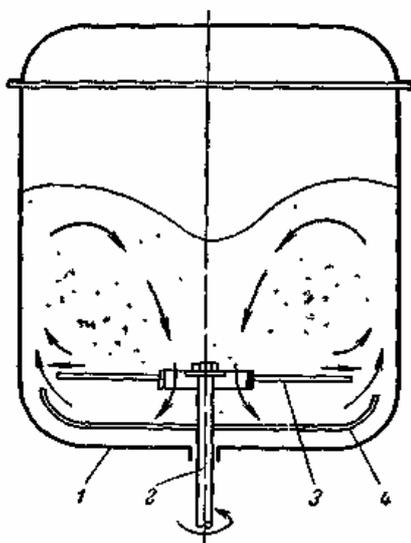


Рис. 14.5. Схема смесителя с псевдоожижением материала вращающимся ротором:

1 – корпус; 2 – вал; 3 – верхний диск; 4 – нижний диск

Высокоэффективными аппаратами для смешения сыпучих материалов являются непрерывно действующие смесители с псевдоожижением материала быстровращающимся ротором.

В корпусе 1 аппарата (рис. 14.5) на консольном валу 2 быстро вращается ротор, состоящий из верхнего диска 3 (с центральным отверстием) и нижнего диска 4 (с загнутыми кверху краями). При вращении ротора с окружной скоростью, превышающей 5 – 8 м/с (по наружному диаметру дисков), в аппарате создается интенсивная циркуляция сыпучего материала (направление циркуляции показано стрелками), который переходит в состояние,

близкое к псевдоожижению. В промышленных аппаратах такого типа применяют различные конструкции быстровращающихся роторов.

К пневмосмесителям относятся аппараты, в которых смешение осуществляется в слое псевдооживленного газом (например, воздухом) зернистого материала. Такие аппараты отличаются высокой эффективностью и малым временем смешения, отсутствием вращающихся деталей, но требуют установки пылеулавливающих устройств при смешении тонкодисперсных материалов.

14.6. Ленточные смесители

Ленточные смесители предназначены для смешения сыпучих материалов насыпной плотностью не более 1500 кг/м^3 , а также сыпучих материалов с небольшим количеством жидких компонентов, вводимых в распыленном состоянии, с получением готового продукта в виде сыпучей смеси.

Лопастным рабочим органом (рис. 14.6) ленточного смесителя является вращающийся в цилиндрическом или корытообразном корпусе вал, на котором смонтированы стержни 1 с укрепленными на их вершинах плоскими лентами 2,

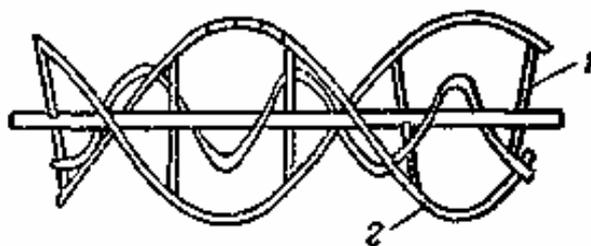


Рис. 14.6. Лопастной вал ленточного смесителя:
1 – стержень; 2 – лента

изогнутыми по винтовым линиям. В ряде случаев корпус ленточного смесителя снабжают рубашкой для обогрева или охлаждения перемешиваемой массы. Смешение в таких аппаратах нередко совмещают с другими технологическими операциями (например, с подсушкой материала), присоединяя корпус смесителя к источнику вакуума.

Тема 15

СМЕСИТЕЛИ ДЛЯ ПАСТООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Пастообразные материалы характеризуются очень высокой вязкостью, в связи с чем основным требованием к таким смесителям является обеспечение рационального движения перемешиваемой массы. Этому требованию в значительной мере отвечают двухроторные смесители с рабочими органами Z-образной формы, размещенными в горизонтальной смесительной камере. Отечественной промышленностью и иностранными

фирмами выпускается много типоразмеров таких смесителей, наиболее универсальных для паст различной вязкости. Фактически они могут решить практически любую технологическую задачу.

15.1. Смесители с Z-образными лопастями

Такие смесители предназначены для приготовления пастообразных смесей с динамической вязкостью $200 \cdot 10^5$ Па·с.

Смеситель (рис. 15.1) представляет собой смесительную камеру 1 корытообразной формы с рубашкой 4 для нагрева или охлаждения смеси. Внутри смесительной камеры размещены два ротора 3 с Z-образными лопастями, у которых различные частота и направление вращения. Быстроходный ротор получает вращение от мотор-редуктора 9 через цепную передачу 10 либо от электродвигателя через редуктор и муфту. Частота вращения быстроходного ротора колеблется от 32 до 60 об/мин.

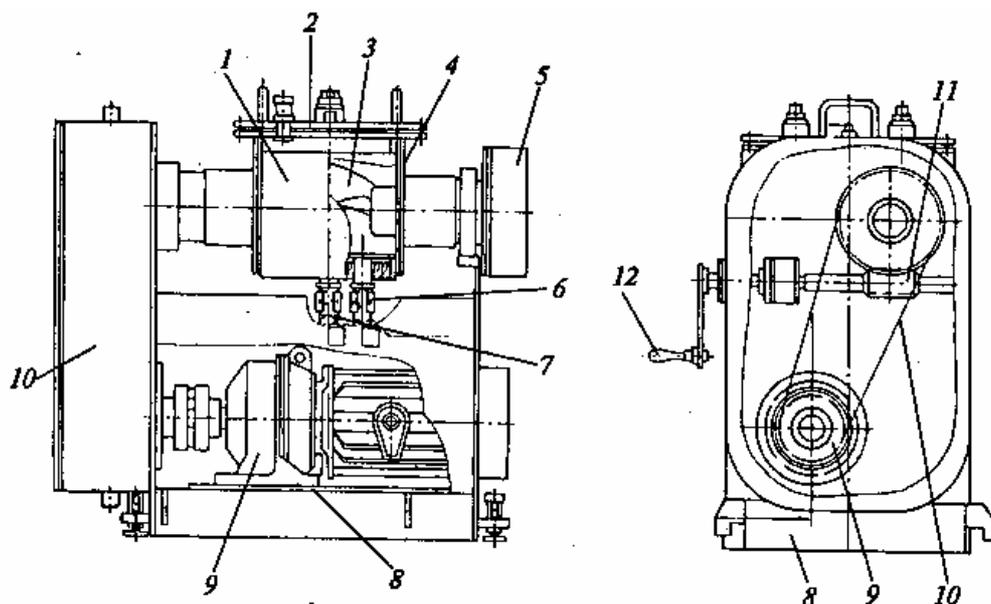


Рис. 15.1. Смеситель периодического действия с Z-образными лопастями

Исходный материал загружают в смесительную камеру через шарнирно прикрепленную к корпусу крышку 2 либо через штуцер в крышке. Степень заполнения смесительной камеры достигает 60 – 70 % ее номинального объема. Выгрузка продукта осуществляется через те же устройства при опрокидывании смесительной камеры. Угол опрокидывания составляет 110° . Для смесителей объемом 0,01 и 0,025 м³ опрокидывание производится с помощью червячного механизма 11 посредством рукоятки

12. В смесителях большого объема для опрокидывания используется гидравлический механизм. Все узлы смонтированы на станине 8, устанавливаемой на фундаменте. Подвод и отвод теплоносителя происходит по гибким шлангам через штуцеры 6 и 7.

В результате усовершенствования смесителей были созданы новые конструкции, в частности, снабженные дополнительным рабочим органом – шнеком, выполняющим после завершения смешения роль разгрузочного механизма.

15.2. Планетарно-лопастные смесители

Планетарно-лопастные смесители используются для приготовления легкоподвижных пастообразных смесей с вязкостью не более 50 – 200 Па·с.

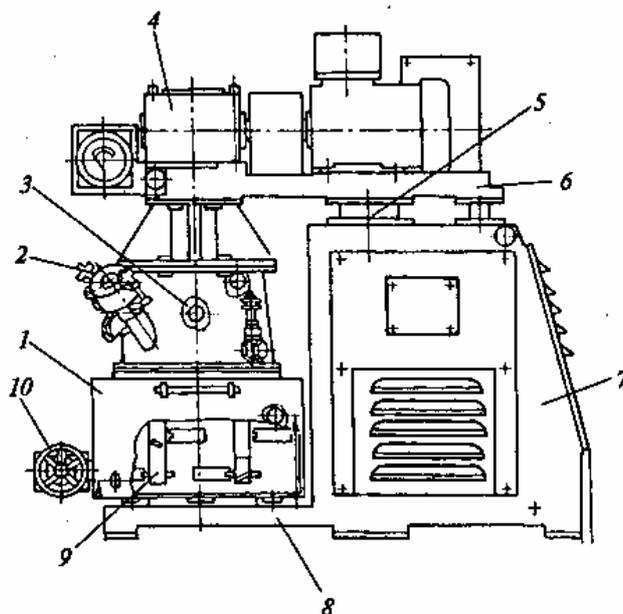


Рис. 15.2. Планетарно-лопастной смеситель

Смеситель (рис. 15.2) состоит из смесительной камеры 1 с затвором 10 для выгрузки готовой смеси, мешалок 9, планетарной зубчатой передачи 4, а также штуцеров 2 и 3 для загрузки сыпучих и жидких компонентов. Мешалки вращаются вокруг собственной оси с частотой 104 – 84 об/мин и вокруг оси смесительной камеры с частотой 55 – 36 об/мин. Привод мешалок закреплен на верхней плите 6, которая может подниматься и опускаться.

Механизм подъема размещен в стойке 5. Привод механизма подъема осуществляется от электродвигателя через редуктор, которые установлены на станине 8 и заключены в кожух 7.

15.3. Смесители непрерывного действия для пастообразных материалов

В химических производствах и в других отраслях промышленности они составляют небольшую часть общего объема выпуска всех типов смесителей. На рис. 15.3 представлен смеситель непрерывного действия типа СНД-1500 (производительностью 1 500 кг/ч), предназначенный для приготовления пастообразных смесей вязкостью $200 \cdot 10^5$ Па·с.

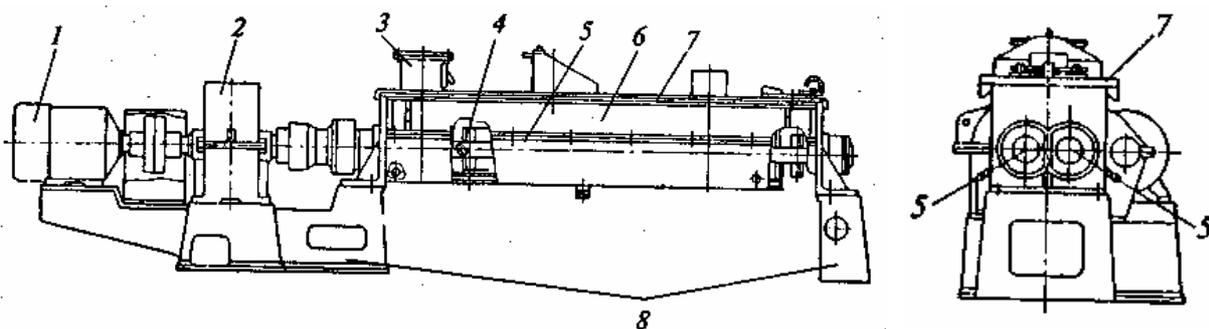


Рис. 15.3. Смеситель непрерывного действия

Смеситель состоит из смесительной камеры 6 корытообразной формы с рубашкой. Внутри смесительной камеры размещены два ротора 5, представляющих собой валы с закрепленными на них лопастями 4. Все узлы смонтированы на раме 8. Частота вращения роторов составляет 21 об/мин. Их привод осуществляется от электродвигателя 1 через редуктор 2 и муфту. На плоской крышке 7 расположены технологические штуцеры, в том числе штуцер 3 для загрузки материала. Выгрузка материала осуществляется через окно в торцовой стенке корпуса.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторная работа № 1 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ ПРЕССОВАНИЕМ

Цель работы: изучение конструкции колонного пресса и технологии переработки полимеров методом прессования.

Общие сведения

Прессование – способ получения изделий из полимеров в замкнутой форме с фиксацией геометрических размеров охлаждением (термопласты) или отверждением (термореактопласты). Обычно готовое изделие получается в одну стадию прессования (прямое или компрессионное). Однако существуют способы прессования, когда требуются и дополнительные стадии (спекание или вспенивание).

Исторически прессование было одним из первых способов переработки полимеров, но в настоящее время оно практически вытеснено из технологии полимеров более производительными методами и сохранилось лишь там, где его пока заменить не удалось. Значительный удельный вес прессования можно отметить в технологии резиновых технических изделий, в технологии термореактопластов (древесных пластиков) и в технологии фторопластов. Политетрафторэтилен – практически единственный термопласт, переработка которого вследствие его особенностей ведется методом прессования.

Для реализации процесса прессования необходимо соответствующее оборудование: пресс и инструментальная оснастка – пресс-формы. Прессы могут иметь конструктивные различия. По типу станины прессы делятся на колонные, рамные и челюстные. По виду привода – на механические, гидромеханические и гидравлические.

Наибольшее распространение в технологии полимеров получили колонные и рамные гидравлические прессы. Их достоинством является возможность определять и в широких пределах регулировать усилие прессования, величину и скорость рабочего хода. В гидравлических прессах обеспечивается независимость величины усилия прессования от хода пресса, отсутствует жесткая связь пресса с приводом.

Основными частями гидравлического пресса являются: станина; рабочие, возвратные и выталкивающие цилиндры и плунжеры; подвижные и неподвижные плиты. Гидравлические прессы делятся на прессы с верхним и нижним расположением рабочего цилиндра. Прессы с верхним расположением рабочего цилиндра преимущественно применяются для переработки термореактивных пластмасс. Прессы с нижним расположением рабочего цилиндра в основном применяются для прессования слоистых пластиков (этажные прессы) и резиновых изделий в съемных пресс-формах.

Для обеспечения работы гидравлического пресса необходимо наличие гидродвигателя, распределителей жидкости и трубопроводов.

На рис. 1 показана схема гидравлического пресса. Жидкость под давлением поступает от насоса или насосно-аккумуляторной станции в рабочий цилиндр. Давление жидкости распространяется во все стороны равномерно. Давление, действующее на стенку цилиндра, должно учитываться при его прочностном расчете. На плунжер и на дно цилиндра действуют силы, равные по величине и противоположные по направлению.

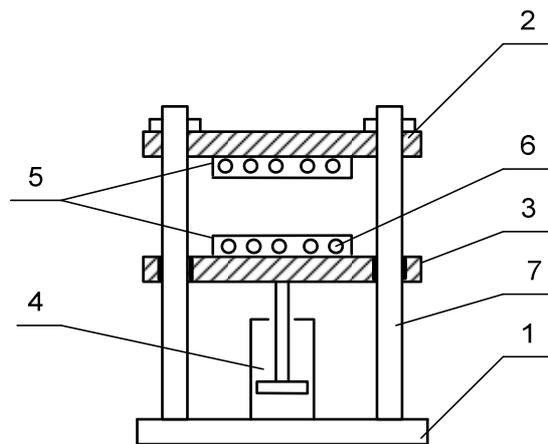


Рис.1. Гидравлический пресс:

1 – станина; 2 – неподвижная плита; 3 – подвижная плита;
4 – гидроцилиндр; 5 – прессформа; 6 – обогрев; 7 – колонны

Основным параметром, используемым для характеристики пресса, является номинальное усилие прессования F_n

$$F_n = p_n \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4},$$

где p_n – номинальное давление рабочей жидкости;

D – диаметр поршня гидроцилиндра.

Расчетное усилие для колонн F_k , Н:

$$F_k = K \cdot \frac{F_n}{n},$$

где K – коэффициент, учитывающий предварительную затяжку гаек колонны; $K = 1,15 \div 1,25$. Меньшее значение следует принимать для тихоходных прессов большого усилия, большие значения – для быстроходных прессов небольшого усилия;

n – количество колонн.

Расчетным сечением колонны является сечение по резьбе. Внутренний диаметр резьбы колонны d_0

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_k}{\pi \cdot [\sigma_p]}},$$

где $[\sigma_p]$ – допускаемое напряжение, МПа; для стали марки Ст5 рекомендуется принимать $[\sigma_p] = 100$ МПа.

Расчет производится по следующей методике: устанавливаются исходные данные для расчета; рассчитывается давление в цилиндре; определяется усилие пресса P , Н, при максимальной мощности.

Технология прессования зависит от типа перерабатываемого полимера. Так, для термопластов необходимо осуществлять формование при температуре выше температуры плавления, а фиксацию формы – охлаждением. Для реактопластов охлаждение не требуется. Некоторые полимеры перерабатывают холодным прессованием с последующим спеканием. При этом формование изделий из порошкообразных полимерных материалов осуществляется путем прессования при температуре ниже температуры текучести полимеров с последующим нагревом до сплавления в монолит.

Этот способ пригоден для переработки любых термопластов, но в промышленности применяется только для изготовления изделий из политетрафторэтилена. Переработка в вязко-текучем состоянии политетрафторэтилена невозможна из-за очень узкого температурного интервала между температурой плавления и температурой деструкции. Для других полимеров, не имеющих ограничений на более дешевую переработку в вязко-текучем состоянии, способ прессования применяется в случаях, когда требуется получить уникальное по свойствам (например, открыто-пористое) изделие. Для изготовления изделий сложной формы из порошкообразных полимеров возможно использование механической обработки заготовок.

Технология прямого прессования термореактивных материалов включает стадии подготовки и дозировки сырья, формования с отверждением, механической обработки и контроля деталей.

Оборудование и материалы: лабораторный пресс; пресс-формы; набор полимеров.

Порядок выполнения работы

1. Выбрать материал для изготовления предложенного изделия.
2. Подготовить пресс-форму и установить ее на прессе.
3. Сделать навески кондиционированного полимера.
4. Выбрать режим прессования и отпрессовать изделие.
5. Выполнить прочностные расчеты деталей пресса.
6. Сделать вывод о правильности выбранного технологического режима прессования и возможности использования лабораторного пресса для выполнения задания.

Содержание отчета

Название и цель работы. Краткие сведения об оборудовании для прессования полимеров. Расчеты производительности пресса. Выбранный технологический режим прессования. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие способы прессования полимеров Вам известны? Охарактеризуйте их.
2. Дайте определение метода прямого прессования.
3. Назовите конструктивные элементы колонного пресса.
4. Перечислите основные параметры процесса прессования.
5. Опишите известные вам способы обогрева пресс-форм.

Литература

1. Практикум по технологии переработки пластических масс / под ред. В.М. Виногоорова, Г.С. Головкина. – М.: Химия, 1980.
2. Калинин, Э.Л. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий: справ. пособие / Э.Л. Калинин, М.Б. Саковцева. – Л.: Химия, 1987. – 416 с.

Лабораторная работа № 2 ПЕРЕРАБОТКА ТЕРМОПЛАСТОВ ЛИТЬЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Цель работы: изучение оборудования и технологии литья под давлением термопластов. Определение влияния технологических параметров литья на качество изделий из термопластов.

Общие сведения

Литье под давлением – один из прогрессивных современных способов переработки пластических масс в изделия. В настоящее время наибольшее распространение получили литьевые машины с червячной пластикацией. Однако в мелкосерийном производстве для изготовления небольших изделий в отдельных случаях применяют механические и гидравлические плунжерные литьевые машины.

Литьевая машина должна обеспечить нагрев материала до перехода его в вязко-текучее состояние, подачу определенной дозы расплава под давлением в охлаждаемую форму, смыкание и размыкание формы. Все основные технологические параметры процесса литья должны иметь возможность плавного и точного регулирования. Для достижения наивысшей производительности процесс получения изделий на литьевой машине должен быть полностью автоматизирован, машина – снабжена блокирующими устройствами, предохраняющими ее от поломки и обеспечивающими безопасность обслуживания.

Современная литьевая машина состоит из двух основных частей: инжекционного узла, предназначенного для разогрева и последующего впрыска расплавленного материала через мундштук в литьевую форму, и узла смыкания (или прессовой части), предназначенного для закрытия и открытия формы, противодействия усилиям, возникающим в ней при формовании изделий, и извлечения изделий из формы.

На рис. 2 представлена схема термопластавтомата с червячной пластикацией.

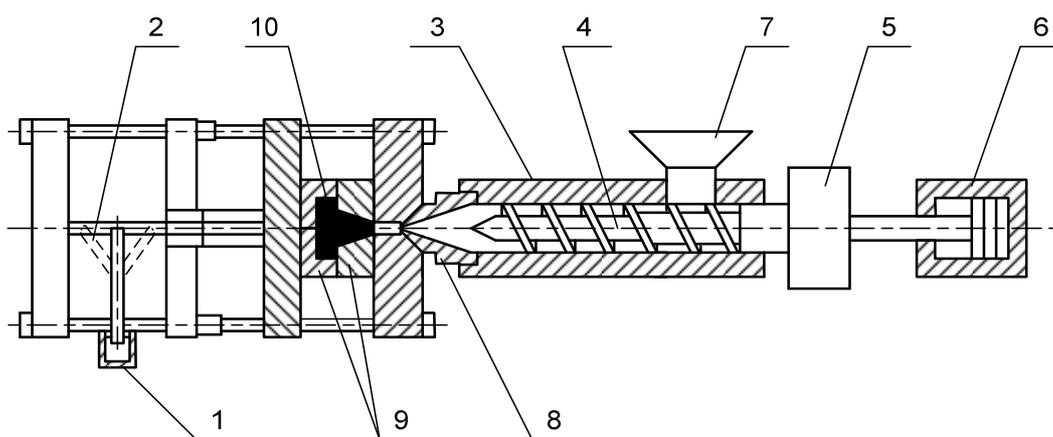


Рис. 2. Схема термопластавтомата с червячной пластикацией:

1 – гидравлический цилиндр узла смыкания; 2 – рычажное устройство; 3 – материальный цилиндр; 4 – шнек; 5 – привод вращения; 6 – цилиндр гидропровода узла впрыска; 7 – загрузочное устройство; 8 – мундштук; 9 – литьевая форма; 10 – деталь

Инжекционный узел машины состоит из цилиндра 3 с обогревом и червяка 4. Червяк совершает вращательное и поступательное движение. Во вращение червяк приводится гидромотором 5. Поступательное движение червяку сообщается от цилиндра 6 узла впрыска.

Узел смыкания с гидромеханическим приводом состоит из гидравлического цилиндра 1 с поршнем и передаточного рычажного устройства 2. При движении поршня вправо рычаги выпрямляются, и промежуточная плита вместе с соединенной с ней подвижной плитой быстро перемещаются вправо.

По компоновке основных частей литьевые машины бывают горизонтальные, вертикальные, угловые. Большинство современных машин выполняют по горизонтальной схеме, так как она обеспечивает наилучшие условия для автоматизации процесса литья.

При работе термопластавтомата материал загружают в бункер. Для повышения качества изделий и производительности машины перерабатываемый материал предварительно просушивают в специальных сушильных шкафах или непосредственно в бункере машины горячим воздухом или с помощью электронагревателей. Это особенно необходимо для материалов, обладающих повышенной гигроскопичностью, таких как полиамиды и поликарбонаты. Материал из загрузочного бункера забирается вращающимся червяком при одновременном отводе его назад. Необходимая для впрыска доза расплавленного материала накапливается между мундштуком 8 и наконечником червяка. Регулируя величину отвода червяка, устанавливают необходимую объемную дозу впрыска. Материальный цилиндр во всех схемах термопластавтоматов обогревается электронагревательными элементами сопротивления и имеет, как правило, несколько регулируемых зон нагрева. В каждой зоне вмонтирован термодатчик, соединенный с термореле и показывающим прибором, с помощью которых устанавливают и поддерживают заданную температуру в цилиндре.

В резьбовом гнезде материального цилиндра закрепляется мундштук, через который расплавленный материал под давлением подается в формующую полость формы 9. Впрыск расплава в форму осуществляется червяком, который работает в момент впрыска как поршень и приводится в поступательное движение на гидравлических машинах от гидроцилиндра. В литьевую форму расплав впрыскивается под большим давлением, величина которого зависит от свойств материала, степени его предварительной пластикации, температуры, а также от конструкции изделия. Это давление может находиться в пределах 60 – 200 МПа. Впрыснутый под высоким давлением расплав стремится разомкнуть литьевую форму, за-

крепленную на установочных плитах прессовой части машины. Поэтому назначение узла смыкания машины заключается в том, чтобы противостоять усилиям, возникающим при формировании изделия. Высота литевой формы зависит от высоты отливаемого изделия, поэтому узел смыкания выполняют всегда регулируемым в определенных пределах.

За подвижной плитой в узле смыкания расположен упорный шток, который при раскрытии формы воздействует на выталкивающую систему формы, сбрасывающую готовую отливку. В дальнейшем цикл работы литевой машины повторяется в той же последовательности.

При литье под давлением пластическая масса, загружаемая в материальный цилиндр литевой машины, переводится в вязко-текучее состояние и впрыскивается в охлаждаемую (для термопластов) или нагреваемую (для реактопластов) форму, в которой под давлением происходит оформление изделия и фиксация формы за счет затвердевания (отверждения) материала. Процесс литья под давлением включает следующие стадии: дозирование материала, плавление материала, впрыск расплава полимера в форму и уплотнение его, охлаждение материала в форме и извлечение готового изделия. Происходящее в результате охлаждения уменьшение объема отливки компенсируется дополнительным временем выдержки под давлением для подпитки формы расплавом. В момент застывания расплава во впуске (части литниковой системы с наименьшим сечением) вытекание расплава из формы прекращается – форма закупоривается.

Время выдержки отливки под давлением и без давления – технологические параметры, которые поддерживаются специальными реле времени, смонтированными в схему управления машины. Время смыкания и размыкания литевой формы, а также время впрыска зависят от конструкции привода литевой машины.

Оборудование и материалы: термопластавтомат с объемом впрыска 32 см³; набор литевых форм; полимеры.

Порядок выполнения работы

1. Предварительно необходимо ознакомиться с техническими данными литевой машины, конструкцией, назначением и действием отдельных узлов, со способами регулирования объема впрыска, температуры по зонам материального цилиндра, давления литья и усилия смыкания формы, продолжительности отдельных стадий цикла литья, устройством, техникой установки литевой формы.

2. Выбрать полимерный материал для изготовления предложенного преподавателем изделия, учитывая его назначение и свойства.
3. Установить литьевую форму на плитах узла смыкания.
4. Пользуясь справочной литературой, выбрать температурный режим процесса.
5. Выбрать давление впрыска и настроить регулятор давления.
6. Рассчитать время отдельных стадий литьевого цикла и установить их на реле времени.
7. После разогрева материального цилиндра засыпать в загрузочную воронку порцию полимера и отлить несколько изделий.
8. После контроля отливок при необходимости откорректировать параметры технологического процесса и сделать вывод об их влиянии на качество изделия.

Содержание отчета

Название и цель работы. Краткие сведения о технологии литья под давлением термопластов. Перечень оборудования и материалов. Эскиз узлов термопластавтомата. Технологический режим изготовления предложенного изделия. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие свойства термопласта определяют выбор температуры материального цилиндра и литьевой формы?
2. Какие характеристики изделия следует учитывать при выборе термопластавтомата для его изготовления?
3. От чего зависит продолжительность циклов литья?
4. Для чего нужна выдержка под давлением термопласта в литьевой форме?
5. Объясните, почему усадка и масса детали зависят от температуры цилиндра и формы, давления и продолжительности выдержки под давлением.
6. Из каких основных узлов состоит термопластавтомат?
7. Перечислите основные технологические параметры процесса литья под давлением.
8. Назовите основные характеристики термопластавтомата.

Литература

1. Практикум по технологии переработки пластических масс / под ред. В.М. Виноградова, Г.С. Головкина. – М.: Химия, 1980.
2. Калинин, Э.Л. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий: справ. пособие / Э.Л. Калинин, М.Б. Саковцева. – Л.: Химия, 1987. – 416 с.

Лабораторная работа № 3

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ

Цель работы: ознакомление с технологией переработки термопластов методом экструзии; определение влияния технологических параметров экструзии на свойства отформованных изделий.

Общие сведения

Экструзия – метод получения изделий из полимеров путем непрерывного или периодического выдавливания пластичного материала через канал формующего инструмента, поперечное сечение которого определяет профиль изделия (труба, лист, прутки и др.). При экструзии термопластов исходное сырье используется в виде гранул, порошка или расплава, формообразование происходит в вязко-текучем состоянии, а фиксация формы выходящего изделия достигается охлаждением расплава ниже температуры стеклования или кристаллизации.

Для экструзии полимеров используются машины самой разной конструкции, но наибольшее распространение для переработки полимеров получили шнековые (червячные) экструдеры. В экструдере полимер расплавляется за счет подводимого извне тепла и трения в материале и транспортируется шнеком к экструзионной головке, через которую и выдавливается в виде заготовки необходимого сечения. Экструдеры в качестве устройства для пластикации и для транспорта высоковязких жидкостей могут применяться для самых разнообразных целей и в составе различных агрегатов.

Экструзией на одношнековых машинах (рис. 3) могут быть переработаны практически все известные полимеры и их композиции. Предпочтительнее использование полимеров с повышенной вязкостью, которые при выходе из формующей головки сохраняют ее форму. Получаемые изделия очень разнообразны: листы, пленки, трубы, непрерывные профильные изделия, изоляция и оболочки для кабелей.

Основным рабочим органом одношнекового экструдера является обогреваемый материальный цилиндр 1, внутри которого вращается червяк 2. Загрузка перерабатываемого материала производится через загрузочное устройство 3, конструктивное оформление которого определяется состоянием и формой частиц перерабатываемого материала. Решетка 10 и экструзионная головка 4 (рис. 4) устанавливаются на выходе из материального цилиндра, обогреваемого при помощи нагревателей 5. Привод

червяка, закрепленного в опорном узле 6, осуществляется от электродвигателя 7 через редуктор 8 и муфту 9.

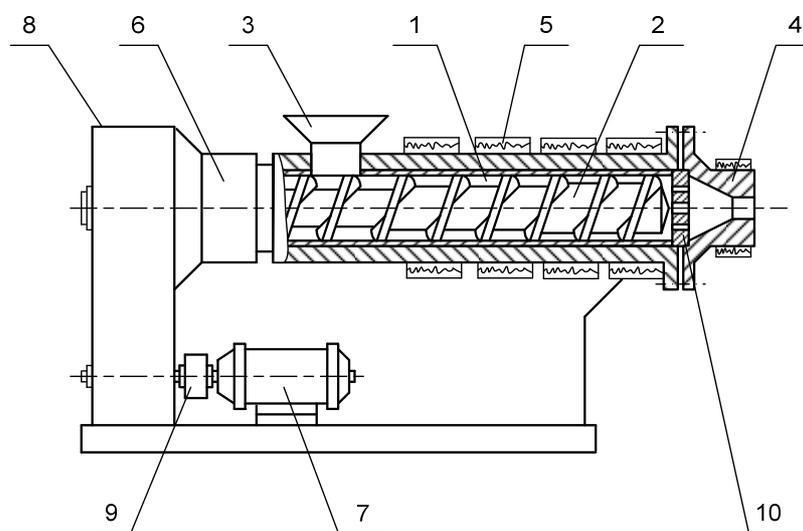


Рис.3. Принципиальная схема одношнекового экструдера

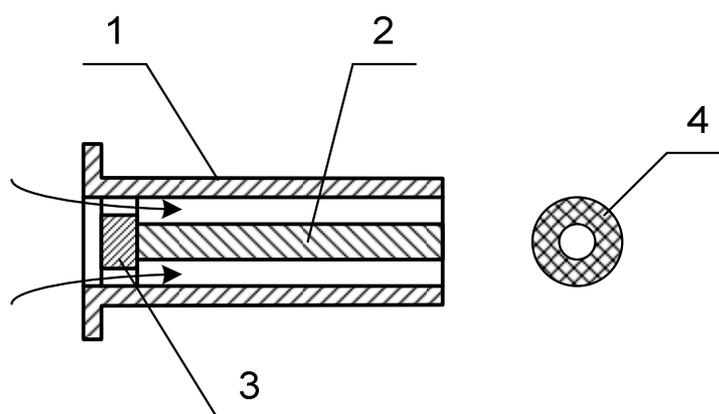


Рис. 4. Прямоточная экструзионная головка:

1 – матрица; 2 – дорн; 3 – дорнодержатель; 4 – форма получаемого изделия

В процессе переработки исходный материал из загрузочного устройства поступает в пространство между вращающимся червяком и материальным цилиндром и перемещается в осевом направлении в винтовом канале червяка, образованном внутренней поверхностью материального цилиндра и нарезкой червяка. При движении вдоль цилиндра экструдера материал уплотняется (зона загрузки), постепенно нагреваясь от стенок цилиндра, и за счет тепла, выделяющегося под действием внешнего и внутреннего трения, переходит в вязко-текучее состояние (зона плавления). При дальнейшем движении (зона дозирования) происходит

удаление воздуха и гомогенизация расплава, постепенно возрастает давление в расплаве, под действием которого полимерный материал продавливается через формующий инструмент.

По количеству шнеков экструдеры могут быть одно- и многошнековые. Одношнековые применяются, как правило, для изготовления изделий, а многошнековые (обычно двухшнековые), отличающиеся повышенной гомогенизирующей способностью, – для получения полимерных композиций. В зависимости от физического состояния загружаемого полимера экструдеры могут быть пластицирующими (запитка твердым полимером) или перерабатывающими расплав. В зависимости от температурного режима процесса – универсальными или узкоспециализированными. В универсальных экструдерах плавление и нагрев полимера происходит за счет тепла, подводимого извне, и тепла, генерируемого при сдвиге в самом расплаве. В специальных автогенных экструдерах все необходимое количество тепла генерируется в расплаве деформируемого полимера (так можно перерабатывать, например, сополимер этилена с винилацетатом – вязкий резиноподобный материал). Часто для создания требуемого температурного режима применяется охлаждение червяка. Экструдеры для переработки резиновых смесей (шприц-машины) снабжаются устройствами для охлаждения, а не обогрева.

Для улучшения качества смешения и диспергирования ингредиентов, температурной однородности расплава компаундирующие экструдеры могут снабжаться дополнительными смесительными и диспергирующими элементами. Особыми конструктивными особенностями отличаются экструдеры с осциллирующим червяком, совершающим периодические колебательные движения в осевом направлении. Существует множество модификаций конструктивного оформления экструдеров. Так, например, экструдер может быть оснащен устройством для дегазации.

Диаметр шнека D определяет производительность экструдера, а отношение его длины L к диаметру – область применения экструдера. Так, шнеки с отношением $L/D = 5 \div 15$ используются для переработки резиновых смесей, с отношением $L/D = 15 \div 40$ – для переработки термопластов. Полимеры неодинаково откликаются на сдвиговое воздействие, и шнеки могут быть транспортирующими (малая степень сжатия) и гомогенизирующими.

В большинстве случаев экструдеры входят в состав агрегатов для переработки полимеров (пленочные, трубные, листовальные и др.). В каждом конкретном случае к ним могут предъявляться специфические требования. Однако общим требованием является получение качественной про-

дукции при минимальных затратах. Поэтому при расчете экструдеров большое внимание уделяется определению их производительности и потребляемой мощности в зависимости от параметров процесса переработки.

При реализации процесса экструзии в полимерах протекают физические и химические процессы. Физические процессы (плавление, гомогенизация) определяются выбранным оборудованием и заданным технологическим режимом. От этих же факторов зависит и интенсивность протекания химических процессов, таких как деструкция полимера в тепловом и интенсивном сдвиговом поле. Обычно химические превращения при экструзии являются нежелательными и необходимо организовывать процесс таким образом, чтобы минимизировать их последствия.

После зоны дозирования расплав выдавливается через кольцевую, плоскую или другой формы щель формующей головки, охлаждается и калибруется в специальных приемных устройствах. Таким образом, экструзионная установка, кроме собственно экструдера, включает оборудование для калибровки (при необходимости), охлаждения, намотки или резки.

Экструзией могут быть получены конструкционные изделия из базовых и модифицированных полимеров, армированные волокнами изделия, высоконаполненные композиционные материалы специального назначения.

Оборудование и материалы: лабораторный экструдер с диаметром шнека 30 мм; набор экструзионных головок; гранулированные полимеры.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с кинематической схемой и конструкцией основных узлов экструдера, порядком регулирования температуры материального цилиндра и головки. Изучить конструкцию и принцип действия охлаждающего и тянущего устройств.
2. Выбрать необходимую для выполнения задания преподавателя экструзионную головку и установить ее на экструдере.
3. Выбрать полимер для экструзии и назначить технологический режим его переработки.
4. Установить температурный режим по зонам экструдера и разогреть зоны до заданной температуры.
5. С соблюдением правила техники безопасности включить привод экструдера на минимальную частоту вращения червяка и насы-

пать в загрузочную воронку выбранный гранулированный полимер. Полученный экструдат пропустить через охлаждающее и тянущее устройство. Скорость приемки экструдата устанавливать равной или большей скорости выхода его из головки. После этого начинают плавно увеличивать частоту вращения шнека и приемного устройства до тех пор, пока качественные и геометрические параметры экструдата не достигнут заданных значений.

6. Образцы экструдата за назначенный отрезок времени отбираются для определения производительности и скорости экструзии, а также для анализа качества изделия. По результатам визуального осмотра образцов и измерений размеров изделия делается вывод о правильности выбора технологического режима переработки.

Содержание отчета

Название и цель работы. Краткие сведения о технологии экструзии термопластов. Перечень оборудования. Порядок операций подготовки и проведения процесса экструзии. Технологический режим экструзии выбранного полимера. Выводы по результатам анализа полученных образцов.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение процесса экструзии.
2. Перечислите изделия, которые получают экструзией термопластов.
3. Какие требования предъявляются к материалам, перерабатываемым экструзией?
4. Назовите основные узлы и детали экструдера.
5. Перечислите основные зоны экструдера и опишите процессы, происходящие с полимером в каждой из зон.
6. Что такое деструкция полимера?
7. Перечислите оборудование, входящее в состав экструзионной установки для производства труб.
8. Как осуществляется нагрев зон экструдера и регулирование температуры?
9. Назовите основные типы устройств для калибровки труб.
10. Перечислите технологические параметры процесса экструзии.
11. Какие факторы влияют на производительность процесса экструзии?

12. Какие параметры процесса экструзии влияют на качество экструдата?
13. Чем вызывается разнотолщинность экструдата?

Литература

1. Практикум по технологии переработки пластических масс / под ред. В.М. Виноградова, Г.С. Головкина. – М.: Химия, 1980.
2. Калинин, Э.Л. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий: справ. пособ. / Э.Л. Калинин, М.Б. Саковцева. – Л.: Химия, 1987. – 416 с.
3. Доманский, И.В. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи / И.В. Доманский [и др.]; под общ. ред. В.Н. Соколова. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 384 с.

Лабораторная работа № 4 **ПОЛУЧЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС МЕТОДОМ РАЗДУВА**

Цель работы: ознакомление с оборудованием и технологией переработки термопластов методом раздува.

Общие сведения

Объемные полые изделия из термопластов можно изготовить различными способами. При экструзионном раздувном формовании изделие получают раздуванием сжатым воздухом трубчатой заготовки, полученной выдавливанием в открытое пространство. При инъекционном раздувном формовании заготовку предварительно изготавливают методом литья под давлением, а раздув осуществляют при последующем нагреве до перевода термопласта в высокоэластичное состояние. Объемное изделие можно также получить и склеиванием или свариванием двух половин (заготовок), полученных литьем под давлением, термо- или вакуумформованием.

В настоящее время наиболее широкое распространение получил экструзионно-выдувной способ формования. При этом методе гранулят термопласта загружается в бункер экструдера, захватывается вращающимся червяком, разогревается, пластицируется при интенсивном перемешивании и в размягченном состоянии выдавливается через формирующий инструмент (прямоточную или угловую головку) в полость открытой формы. Когда заготовка достигает заданной длины, полуформы смыкаются, обжимая верхний конец заготовки по контуру формирующего горловину ниппеля. Нижний конец заготовки при этом сплющивается и герметично заваривается. Затем внутрь заготовки подается сжатый воздух,

который раздувает ее до соприкосновения со стенками охлаждаемой формы. После охлаждения изделия форма раскрывается, и готовое изделие удаляется. Таким методом изготавливают полые изделия объемом от 0,03 до 1 000 л, имеющие как круглое, так и прямоугольное поперечное сечение (бутыли, бочки, бидоны, канистры и т.п.). Обычно сжатый воздух нагнетают в заготовку через полый дорн, одновременно используемый для формования горловины сосуда. В некоторых случаях воздух в заготовку вводят при помощи специальной иглы, которая прокалывает стенку или доньшко заготовки. После окончания раздува игла вытаскивается, и отверстие в заготовке заваривается. Иногда раздув осуществляется газом, выделяющимся при нагреве предварительно заложенных в заготовку таблеток.

Для изготовления полых изделий методом раздува могут быть использованы экструзионные термопласты с высокой ударной вязкостью и большим относительным удлинением. К ним относятся полиэтилен высокой плотности, полиэтилен низкой плотности, полипропилен и др.

К преимуществам этого метода можно отнести сравнительную простоту технологии производства, высокую производительность оборудования, возможность автоматизации производства, невысокую стоимость оснастки. Качество изделий, получаемых методом экструзионно-раздувного формования, зависит от свойств исходного материала, конструкции формующего инструмента, условий изготовления и формования заготовки.

Недостатком экструзионного метода производства объемных изделий раздуванием является неравномерная толщина стенок изделия, возникающая в результате разнотолщинности заготовки из-за ее вытяжки под действием собственного веса за время экструзии, а также из-за неравномерности температуры заготовки по высоте (более низкую температуру имеет нижняя часть заготовки, которая успевает значительно охладиться). Различие в толщинах стенок изделий круглого поперечного сечения по высоте достигает 30 – 40 %, а для изделий других сечений – еще больше. Вторым недостатком этого метода является большое количество отходов (до 50 % от массы изделия).

На рис. 5 представлена схема производства объемных изделий экструзионным методом.

Основными механизмами экструзионно-раздувных агрегатов являются экструдеры, формующий инструмент с копильником или без него и приемные устройства различного конструктивного исполнения. В пространстве экструзионно-раздувной агрегат может располагаться вертикально с прямооточной головкой или горизонтально с угловой головкой.

Головка экструдера представляет собой отдельный сменный механизм, в котором устанавливаются детали, составляющие непосредственно формирующий инструмент.

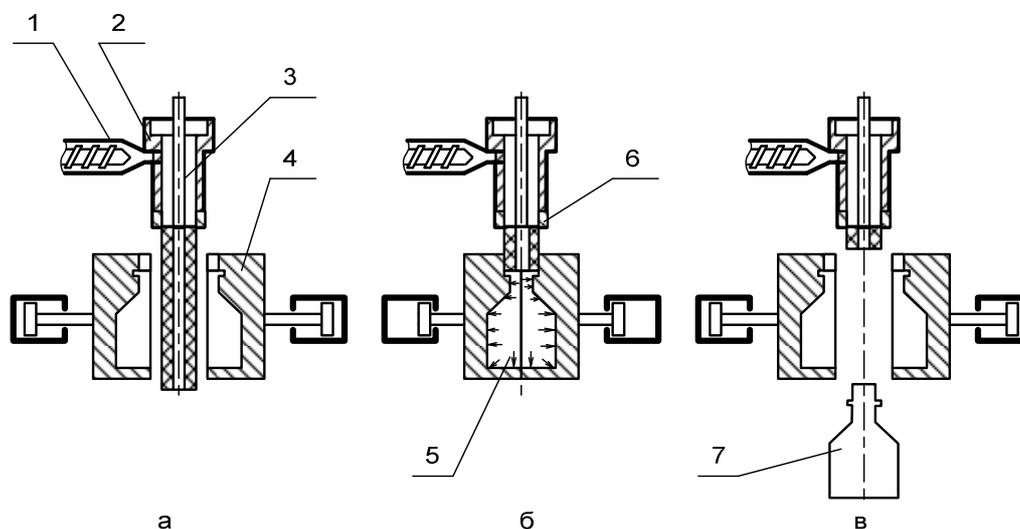


Рис. 5. Схема производства объемных изделий экструзионным методом:
а – выдавливание заготовки; *б* – раздувание; *в* – сьем изделия;
 1 – экструдер; 2 – экструзионная головка; 3 – дорн; 4 – полуформа; 5 – заготовка;
 6 – мундштук; 7 – изделие

В производстве объемных изделий могут применяться прямоточные экструзионные головки с вертикально расположенным экструдером или копильником, в который расплав полимера нагнетается от горизонтально установленного экструдера. Такие головки обеспечивают равномерность линейной скорости экструзии по всему сечению формирующего инструмента, что особенно важно для получения равнотолщинных изделий. Основным недостатком этих головок является наличие в них дорнодержателя. Дорнодержатель рассекает общий поток расплава на несколько потоков, которые, соединяясь вновь, образуют продольные швы на заготовке и в изделии.

Наибольшее распространение при производстве объемных изделий нашли угловые головки. В таких головках поток расплавленного полимера, поступающий из винтового канала червяка в формирующий инструмент, должен быть повернут перпендикулярно оси червяка, причем в конце поворота он должен вновь стать круговым и полностью симметричным по отношению к новой оси. При этом давление, скорость течения, температура и вязкость массы на выходе из головки должны быть одинаковы по периметру при различии длины пути расплава.

Указанные различия в длине пути потока расплава влияют на давление, температуру и вязкость полимера. Если не предусмотреть специальных мер, то после прохождения поворота может иметь место неравномерность соответствующих характеристик массы в плоскости, перпендикулярной к направлению ее движения. Это вызывается тем, что давление на выходном конце внутренней дуги поворота оказывается всегда более высоким, чем на выходном конце внешней дуги. В результате этого экструдированное изделие будет искривляться или иметь большую толщину стенки со стороны внутренней дуги поворота.

Проблема поворота потока расплава может быть практически решена при применении угловой головки (рис. 6). Поток расплава полимера поступает из кольцевого сборного канала в концентрическую щель мундштука через скошенную щель регулируемой толщины.

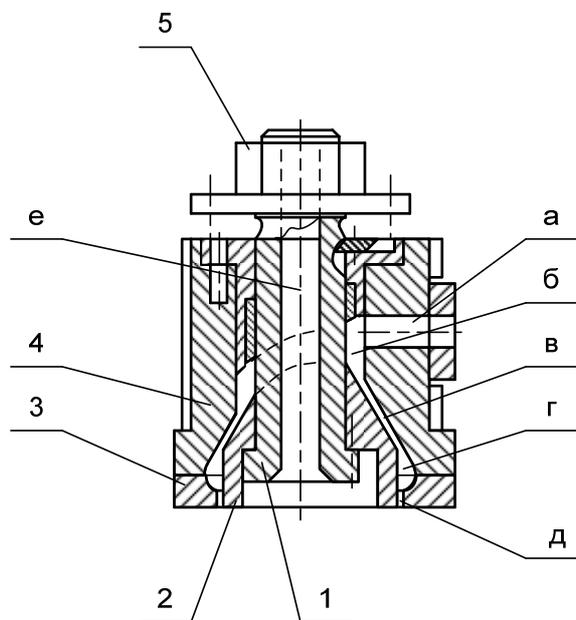


Рис. 6. Головка для получения трубчатой заготовки со скошенным конусом и составным дорном:

1 – дорн; 2 – наконечник дорна; 3 – мундштук; 4 – корпус головки; 5 – гайка регулирования зазора;

a – канал для подвода расплава; *б* – сборный канал; *в* – конический кольцевой канал; *г* – выравнивающий канал; *д* – формирующий зазор; *е* – канал для подвода сжатого воздуха

Настройка достигается одноосным перемещением соответствующих деталей головки.

Общие принципы, которыми руководствуются при конструировании экструзионных головок, сводятся к следующему. Внутренние полости, по

которым течет расплав полимера, должны обеспечивать его равномерный поток, без резких переходов, без наличия «мертвых» зон (застойных пространств), которые могут привести к перегреву и даже разложению полимера, и иметь высокое качество чистоты обработки поверхности.

При изготовлении объемных изделий раздуванием из полимерных заготовок применяются формы из двух половин. Каждая полуформа имеет полость для формования изделия. Основным назначением формы в производстве изделий методом раздувания является оформление изделий. Однако форма выполняет и ряд других функций: зажим заготовки пресс-кантами, калибровку горловины изделия ниппелем и пресс-кантами, регулировку направления подачи воздуха для раздувания, заварку отверстий, удаление облоя и т.д. Для обеспечения точного смыкания раздувных форм в них предусматриваются направляющие колонки.

Для изготовления форм применяют самые различные материалы – сталь, бронзу, цинк, но во всех случаях пресс-канты делают из стали. Экспериментальные формы можно изготавливать из гипса или дерева. В настоящее время для изготовления выдувных форм широко применяют наполненные полиэфирные, фенольные и эпоксидные смолы. Изготовленные из таких материалов формы имеют сравнительно гладкую рабочую поверхность, благодаря чему формуемые в них изделия практически не нуждаются в дополнительной обработке. Эти формы легко ремонтируются и значительно дешевле металлических. К их недостаткам относятся меньшая теплопроводность и меньший срок службы по сравнению с металлическими. Поэтому их применяют обычно для изготовления мелких серий и опытных образцов изделий.

На качество изделия влияет температура формы, которая регулируется системой охлаждения.

Приемные устройства раздувных агрегатов выполняют следующие технологические и вспомогательные операции: перемещение форм к формующему инструменту на прием заготовки; смыкание раздувных форм; запирающие формы; отрезку заготовки у экструзионной головки; подачу воздуха для раздувания заготовки; отвод формы от формующего инструмента; охлаждение изделия; размыкание формы и съём готового изделия.

По способу смыкания полуформ выдувные машины разделяют на машины с плоскопараллельным смыканием форм, в которых полуформы устанавливаются на подвижные плиты, перемещающиеся по цилиндрическим направляющим, и машины с шарнирным механизмом смыкания форм (книжного типа). Предпочтительным является плоскопараллельное смыкание полуформ. По роду привода приемные устройства подразде-

ляются на гидравлические и пневматические. Гидропривод современных раздувных агрегатов в основном подобен гидроприводу литьевых машин.

Цикл работы экструзионно-выдувного агрегата состоит из следующих стадий: экструзия заготовки, смыкание формы и заваривание доньшка, раздув заготовки, охлаждение изделия, раскрытие формы и удаление из нее готового изделия. Суммарная продолжительность цикла определится как сумма продолжительности всех его стадий. Длина заготовки выбирается примерно на 15 % больше, чем длина изделия. Такое увеличение длины делается с расчетом на формирование доньшка будущего изделия. Наружный диаметр заготовки определяется выбранным коэффициентом раздува, а знание массы заготовки позволит определить производительность.

Наличие движущихся частей агрегата предопределяет необходимость оснащения выдувных агрегатов защитным ограждением. При открытом ограждении не должно происходить смыкания и размыкания раздувных полуформ. Сжатый воздух можно подавать в форму только после надежного зажатия заготовки полуформами.

Оборудование и материалы: лабораторный экструдер; набор трубных экструзионных головок; раздувные формы; гранулированные полимеры.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией экструзионно-выдувного агрегата.
2. Выбрать необходимую для выполнения задания преподавателя экструзионную головку и установить ее на экструдере.
3. Выбрать полимер для раздува и назначить технологический режим его переработки.
4. Установить температурный режим по зонам экструдера и разогреть зоны до заданной температуры.
5. С соблюдением правила техники безопасности включить привод экструдера и отформовать изделие.
6. Извлечь изделие из формы, удалить облой, провести визуальный осмотр изделия.

Содержание отчета

Название и цель работы. Краткие сведения о технологии раздува термопластов. Перечень оборудования. Порядок операций подготовки и проведения процесса раздува. Технологический режим раздува выбранного полимера. Выводы по результатам анализа полученных образцов.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение процесса раздува.
2. Перечислите оборудование, входящее в состав экструзионно-выдувного агрегата.
3. Какие параметры процесса раздува влияют на качество раздувных изделий?
4. Чем вызывается разнотолщинность изделий?
5. Опишите конструкцию угловой экструзионной головки.
6. Опишите конструкцию прямоточной экструзионной головки.
7. Перечислите технологические операции получения изделий методом экструзионного раздувного формования.
8. Опишите конструкцию узла раздува.

Литература

Калинчев, Э.Л. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий: справ. пособие / Э.Л. Калинчев, М.Б. Саковцева. – Л.: Химия, 1987. – 416 с.

Лабораторная работа № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРОВ НА ИХ ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОСТЬ

Цель работы: ознакомление с методикой определения реологических характеристик полимеров с использованием вискозиметров постоянного давления.

Общие сведения

В технологии полимерных материалов можно четко выделить группу эксплуатационных, определяющих выбор полимера для использования в том или ином изделии и группу технологических, характеризующих перерабатываемость полимеров тем или иным способом, свойств. Среди достаточно большого перечня технологических свойств, влияющих на производительность процесса, качество изделий и определяющих саму возможность переработки, особое место занимают реологические свойства, описывающие поведение расплавов или растворов полимеров в сдвиговом силовом поле.

Так как важнейшие способы переработки полимеров связаны с формообразованием изделий в вязко-текучем состоянии, необходим по-

казатель, характеризующий способность расплава при заданной температуре и давлениях протекать по каналам и заполнять формы. Текучесть пластических масс зависит от природы полимера, вида и количества добавок и может быть описана различными способами.

Особенностью полимеров является то, что для описания движения расплавов по каналам формирующего инструмента недостаточно определить только величину вязкости, необходимо знание так называемого реологического поведения. Реологическое поведение полимеров зависит от природы полимера, температуры, напряжения и скорости сдвига, молекулярно-массового распределения. Описывают реологическое поведение, устанавливая в аналитической или графической форме зависимости вязкости от температуры, вязкости от скорости сдвига, скорости сдвига от напряжения. Графики таких зависимостей обычно называют кривыми течения. Наибольшее распространение в реологии полимеров получили кривые течения в координатах скорость сдвига $\dot{\gamma}'$ – напряжение сдвига τ .

Механизм течения полимеров отличается от механизма течения низкомолекулярных жидкостей тем, что в силовом поле по мере нарастания его интенсивности сначала наблюдается относительное перемещение сегментов макромолекул и только при высоких напряжениях сдвига перемещение (течение) макромолекул целиком, и зависимости получают нелинейными. В составе реального полимера есть макромолекулы различной длины, и смена характера течения при увеличении напряжения сдвига происходит не одновременно. Часть макромолекул раньше других перестают участвовать в сегментальном движении, начинают двигаться как стержни в массе других молекул, чем резко снижают общую вязкость системы и повышая скорость течения полимерной массы. Такое реологическое поведение полимерных тел описывается степенным законом (рис. 7) и называются аномалией вязкости.

Наличие аномалии вязкости у многих промышленных полимеров предоставляет возможность снижения удельной энергоёмкости процесса переработки полимеров, например, экструзии, переводя этот процесс в область высоких скоростей сдвига (высоких производительностей). При этом повышение производительности экструзии может снизить не только удельные, но и общие энергозатраты.

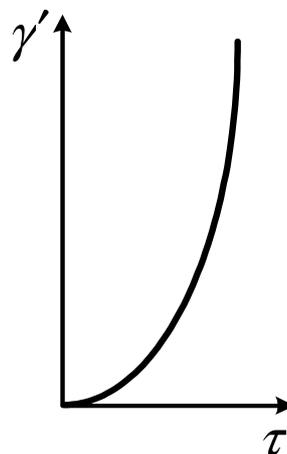


Рис. 7. Кривая течения аномально-вязкой жидкости

Наибольшее распространение для оценки вязкости расплавов полимеров получили вискозиметры (экструзионные пластометры) постоянного давления (рис. 8), в которых постоянное напряжение сдвига (постоянное давление) обеспечивается стандартным грузом, а измеряется массовый расход полимера через капилляр стандартного размера.

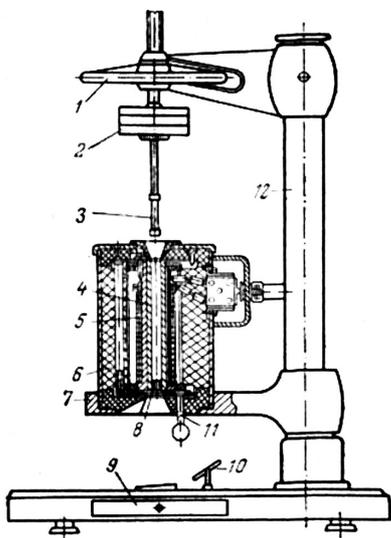


Рис. 8. Экструзионный пластометр ИИРТ:

1 – штурвал; 2 – груз; 3 – шток; 4 – камера прибора; 5 – электронагреватель; 6 – теплоизоляция; 7 – опора; 8 – капилляр; 9 – ящик инструментальный; 10 – зеркало; 11 – фиксатор капилляра; 12 – стойка

Определяемый на приборе со стандартизированными размерами массовый расход расплава полимера в граммах за 10 минут называют показателем текучести расплава (ПТР) и, очевидно, что его величина обратно пропорциональна вязкости. Температура испытания для каждого термопласта выбирается в зависимости от его технологических свойств. Необходимое давление на материал создается с помощью поршня и груза, регламентируемого нормативным документом.

Испытание проводят с кондиционированным, обычно гранулированным, полимером. Порцию полимера (около 10 г) через воронку загружают в камеру разогретого до заданной температуры прибора и выдерживают в течение 4 минут. После плавления полимера шток с грузом снимают с фиксатора, и материал начинает выдавливаться через капилляр. В нижней части прибора специальным ножом через заданные промежутки времени (10 – 20 с) срезают отрезки экструдата для последующего взвешивания на аналитических весах с точностью до 0,001г. Показатель текучести расплава определяют по формуле:

$$ПТР = \frac{600 \cdot G}{t},$$

где G – масса отрезка экструдата, г;

t – время выдавливания отрезка экструдата, с.

Определив ПТР в широком диапазоне нагружения, легко получить кривые течения в координатах $\dot{\gamma} - \tau$. Формулы для перевода результатов определения ПТР в систему: скорость сдвига – напряжение приведены ниже.

$$\dot{\gamma}' = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot R^3}, \tau = \frac{\Delta P \cdot R}{2 \cdot L},$$

где Q – объемный расход;

R – радиус капилляра;

ΔP – перепад давления на входе и выходе из капилляра;

L – длина капилляра.

Показатель текучести расплава полимера и кривую течения в широком диапазоне напряжений важно знать для выбора оптимального режима переработки материала (температура, давление, скорость экструдирования и др.).

Оборудование и материалы: экструзионный пластометр ИИРТ; аналитические весы; секундомер; набор полимеров.

Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию пластометра ИИРТ.
2. Установить с помощью регулятора температуру определения реологических характеристик для выбранного полимера.
3. Провести испытания по определению ПТР с различными грузами.
4. По полученным данным построить кривую течения в координатах $\dot{\gamma}' - \tau$.
5. Определить удельные энергозатраты по экструзии полимера по всем полученным экспериментальным точкам.
6. Сделать выводы по результатам расчетов.

Содержание отчета

Название и цель работы. Краткие сведения о реологическом поведении полимеров и способах его описания. Перечень оборудования. Протокол проведения анализов с результатами. Кривая течения исследуемого полимера. Выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы

1. Что такое реологическое поведение расплава полимера?
2. Что такое неньютоновские жидкости?

3. Какими способами определяют вязкостные характеристики жидкостей?
4. Опишите принцип работы капиллярного вискозиметра.
5. Что такое аномалия вязкости полимеров?
6. Как можно в технологии переработки полимеров использовать аномалию вязкости?
7. Каким способом можно описать реологическое поведение расплава полимера?

Литература

1. Практикум по технологии переработки пластических масс / под ред. В.М. Виноградова, Г.С. Головкина. – М.: Химия, 1980.
2. Калинин, Э.Л. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий: справ. пособие / Э.Л. Калинин, М.Б. Саковцева. – Л.: Химия, 1987. – 416 с.
3. Богданов, В.В. Методы исследования технологических свойств пластмасс / В.В. Богданов. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1978. – 176 с.

Лабораторная работа № 6 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЗИНОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Цель работы: ознакомить студентов с оборудованием и технологией производства резиновых технических изделий; составить технологическую карту процесса и выбрать рецептуру для изделия на основе синтетического каучука.

Общие сведения

Резиновые технические изделия получают в результате вулканизации предварительно приготовленных резиновых смесей, содержащих каучук, вулканизирующую систему, наполнители, пластификаторы, антиоксиданты и другие ингредиенты. Варьированием качественного и количественного состава резиновой смеси можно получать материалы, существенно различающиеся по физическим и эксплуатационным свойствам. Так, например, введение в резиновую смесь 3 массовых частей серы на 100 частей каучука позволяет получить эластичную резину, а 30 частей – эбонит.

Резиновую смесь, как правило, приготавливают на резиносмесителях периодического типа или вальцах (рис. 9). Для этого на весах, обеспечивающих необходимую точность, отвешивают компоненты, согласно

выбранной рецептуре. После чего в определенной последовательности их загружают в резиносмеситель или вальцы. В процессе смешения следует контролировать температуру смеси, чтобы не допустить преждевременной вулканизации. Процесс смешения ведут до получения однородной массы.

Из приготовленной и охлажденной резиновой смеси одним из известных методов формования (прессование, каландрование, литье под давлением, экструзия) изготавливают заготовку, которая подвергается вулканизации. Вулканизация – завершающий технологический процесс в производстве резиновых изделий, при котором в каучуке образуются поперечные химические связи, и возникает трехмерная сетка. В состав вулканизирующей системы обычно входит сера или перекись, ускорители и активаторы вулканизации. При вулканизации заготовка нагревается до температур, обеспечивающих протекание химических реакций. При этом должны быть созданы условия, обеспечивающие сохранение формы изделия. В зависимости от назначения изделия, вида используемого сырья и выбранной вулканизирующей системы вулканизация может осуществляться периодически и непрерывно.

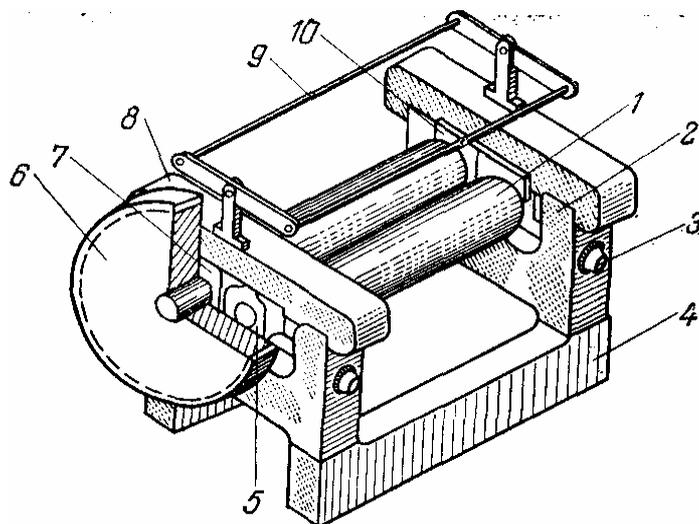


Рис. 9. Лабораторные вальцы:

1 – валок; 2 – станина; 3 – винт регулировки зазора; 4 – рама; 5 – подшипник подвижный; 6 – зубчатое колесо привода; 7, 10 – неподвижный подшипник; 8 – крышка подшипников; 9 – ограждение рабочей зоны

Периодические процессы проводят в прессах (с электрическим или паровым обогревом), котлах и литьевых машинах. Непрерывные процессы реализуются на ротационных машинах с обогреваемыми барабанами, в расплавах солей, в псевдоожигенном слое и при нагреве в СВЧ-вулканизаторах.

Оборудование и материалы: лабораторные вальцы; электрообогреваемый пресс; весы рычажные; металлические пресс-формы или рамки; каучук СКЭПТ-60; бутилкаучук; оксид цинка; стеарат цинка; стеарин; сера; каптакс; технический углерод.

Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию оборудования для изготовления резиновых смесей и для прессования.
2. По заданию преподавателя выполнить эскизы узлов.
3. Выбрать рецептуру резиновой смеси для получения заданного резинового технического изделия.
4. По выбранной рецептуре приготовить навески ингредиентов резиновой смеси.
5. На предварительно очищенных лабораторных вальцах устанавливается требуемый зазор (1 – 4 мм). Загружается порция каучука и производится его пластикация, после чего в смесь вводятся остальные ингредиенты. Смешение продолжается до получения однородной массы. При этом контролируется температура смеси. Ориентировочная длительность процесса смешения – 10 – 15 мин.
6. От полученной резиновой смеси отделяется порция материала и помещается в рамку или пресс-форму предварительно нагретого до заданной температуры пресса. Плиты пресса смыкаются под давлением. Рекомендуемые режимы прессования пластин толщиной до 2 мм из эластичных резин – 15 мин при 150 °С, эбонита – 20 мин при 140 °С.
7. По окончании процесса прессования плиты пресса размыкаются, изделие извлекается, удаляется облой и производится визуальный контроль на наличие дефектов.

Содержание отчета

Название и цель работы. Краткие сведения о технологии получения резиновых технических изделий. Перечень оборудования и рецептурный состав резиновой смеси. Эскиз узлов оборудования для получения резиновых технических изделий. Порядок операций подготовки и проведения процесса получения резиновых технических изделий с указанием технологических параметров. Выводы по результатам анализа полученных образцов.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные компоненты резин и их функциональное назначение.
2. Чем определяется эластичность резин. Как влияет густота сетки вулканизации на эластичность резин.
3. Назовите основные операции технологии получения резин.
4. Назовите основные способы получения заготовок из резиновых смесей.
5. Перечислите основные способы вулканизации резин.
6. Назовите методы получения формовых резиновых изделий.
7. Опишите технологию получения прорезиненных тканей.

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ БАРАБАННОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ

Цель работы: изучение конструкции шаровой мельницы периодического действия, определение оптимальных параметров работы шаровой мельницы и сравнение их с экспериментальными значениями.

Общие сведения

Процесс измельчения материалов за счет их разрушения механическим воздействием имеет большое значение в химической технологии. Развитая межфазная поверхность может обеспечить интенсивное протекание массообменных и химических процессов. Некоторые продукты химической технологии предполагают использование только мелкодисперсных ингредиентов (пигменты и наполнители).

В зависимости от крупности исходного сырья и требований к конечному продукту измельчение материала производят либо в один прием (в одном измельчителе), либо в несколько приемов (в измельчителях, установленных последовательно). Характер исходного сырья и требуемая степень измельчения определяют число ступеней измельчения и тип измельчающего оборудования. Процесс измельчения может осуществляться в замкнутом цикле с классификатором, когда крупные частицы, не удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к размеру конечного продукта, вновь возвращаются в тот же измельчитель для дальнейшей обработки.

Твердый материал можно разрушить и измельчить до частиц желаемого размера раздавливанием, раскалыванием, разламыванием, резанием, распиливанием, истиранием, ударом (стесненным и свободным).

Из перечисленных способов пригодными для промышленного измельчения оказались раскалывание, разламывание, раздавливание, истирание и удар. Раскалывание применяют для получения кусковых материалов. Разламывание обычно сопутствует другим способам при крупном, среднем и мелком измельчении, а разрезание и распиливание применяют в тех случаях, когда нужно получить куски материала определенного размера и заданной формы.

Истирание применяют для тонкого измельчения мягких и вязких материалов. При этом его всегда комбинируют с раздавливанием или ударом. Истирание улучшает процесс тонкого измельчения и перемешивания материалов, но при этом увеличиваются расход энергии и износ рабочих элементов измельчителя. Продукты износа могут попадать в измельченный материал, загрязняя его. Большинство современных измельчителей сочетают раскалывание, раздавливание и удар с разламыванием и истиранием.

В измельчителях ударного действия измельчение материала производится вследствие ударных нагрузок. Эти нагрузки могут возникнуть при падении измельчающих тел на материал, столкновении летящего материала с неподвижной поверхностью, материала и измельчающих тел в полете, в полете самих измельчающихся частиц друг с другом. Различают стесненный и свободный удар. При стесненном ударе материал разрушается между двумя ударяющимися поверхностями, и осколки разрушаемого тела свободно разлетаются только в боковые стороны. В этом случае разрушающий эффект зависит от массы ударяющего тела и скорости его движения в момент удара. Кинетическая энергия E ударяющего тела в момент удара по измельчаемому материалу определяется по формуле

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot g},$$

где m – масса ударяющего тела;

v – скорость движения тела в момент удара.

На разрушение материала расходуется часть кинетической энергии. При упругом ударе часть энергии возвращается мелющему телу. Для разрушения измельчаемого тела энергия, поглощенная ударом, должна быть достаточной для преодоления внутренних сил сцепления между частицами тела.

Сопротивление разрушаемого тела ударной нагрузке можно охарактеризовать работой упругих деформаций этого тела при статической нагрузке.

Ударом измельчают твердые и хрупкие материалы. При стесненном ударе частицы материала разрушаются преимущественно в местах сосредоточения наибольших усилий, а при свободном ударе – в основном, по наиболее слабым смятам.

К измельчителям ударного действия относятся молотковые, центробежные, центробежно-шаровые, барабанные, пневматические и струйные измельчители.

Основным показателем работы дробильно-размольных машин является степень измельчения i , представляющая собой отношение поперечных размеров кусков исходного продукта d_n к размерам кусков, полученных после измельчения d_k

$$i = \frac{d_n}{d_k}.$$

Обычно измельчаемый и измельченный материалы полидисперсны, поэтому степень измельчения определяют по среднему диаметру кусков с применением ситового анализа. На основании анализа гранулометрического состава, то есть количественного распределения зерен по крупности, определяют средние размеры зерен d_{cp} :

$$d_{cp} = \frac{d_1 \cdot x_1 + d_2 \cdot x_2 + \dots + d_n \cdot x_n}{x_1 + x_2 + \dots + x_n} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \cdot x_i}{100},$$

где d_1, d_2, \dots – средние размеры зерен отдельных фракций ситового анализа, определяемые как полусумма размеров отверстий двух сит: ближайшего верхнего, через которое просеяли все зерна данной фракции, и сита, на котором зерна той фракции задержались, не просеявшись через него;

x_1, x_2, \dots – массовые проценты каждой фракции.

В барабанных мельницах помол материала происходит при вращении барабана, внутрь которого загружен исходный продукт и мелющие тела, представляющие собой шары, цилиндры или стержни. При падении и перемешивании мелющие тела измельчают материал ударом и истиранием.

В зависимости от применяемых мелющих тел барабанные мельницы называют шаровыми или стержневыми. Кроме собственно измельчения шаровые мельницы часто используются для смешения различных компонентов.

На рис. 10 представлена принципиальная схема лабораторной шаровой мельницы.

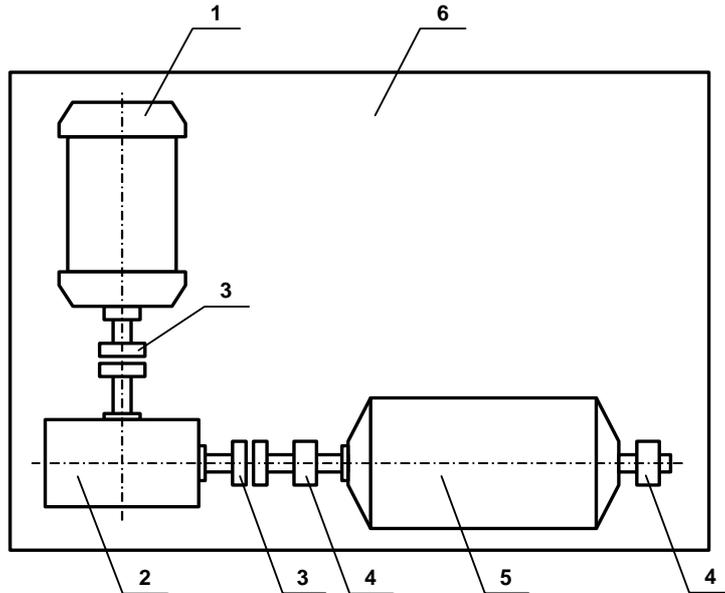


Рис. 10. Принципиальная схема лабораторной шаровой мельницы:
 1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – муфта; 4 – подшипник;
 5 – барабан; 6 – станина

При медленном вращении барабана шары и измельченный материал поднимаются в направлении вращения до тех пор, пока угол подъема не превысит угла естественного откоса, после чего шары и материал скатываются вниз, при этом материал истирается. При чрезмерно большой скорости барабана шары и материал прижимаются центробежной силой к внутренней стенке барабана, и материал не измельчается. Поэтому необходимо найти оптимальную скорость вращения барабана, при которой

высота подъема и скорость падения шаров были бы наибольшими, создавая так называемый «водопадный режим» работы (рис.11).

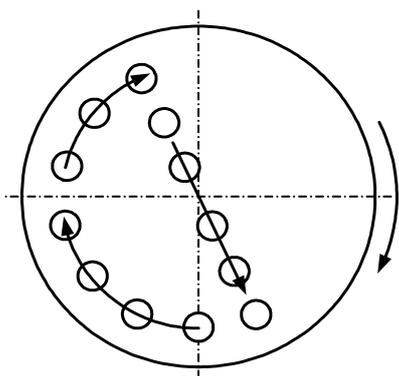


Рис. 11. Схема движения мелющих шаров при вращении барабана

При некоторой критической угловой скорости барабана сила тяжести шара, находящегося в верхней точке барабана, будет уравновешиваться центробежной силой:

$$m \cdot g = m \cdot \omega^2 \cdot R,$$

где g – ускорение силы тяжести, м/с²;

m – масса шара, кг;

ω – угловая скорость барабана, с⁻¹;

R – расстояние от центра тяжести шара до центра барабана, м.

Угловая скорость, рад/с,

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n,$$
$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R}}.$$

Теоретически доказано, что

$$n_{кр} = \frac{3,14}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{R}} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{R}},$$
$$n_{опт} = 0,75 \cdot n_{кр},$$
$$n_{опт} = 0,75 \cdot \frac{0,5}{\sqrt{R}} = \frac{0,375}{\sqrt{R}}.$$

Оборудование и материалы: барабанная шаровая мельница; измельчаемый материал; емкости для сбора продуктов измельчения.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией шаровой мельницы.
2. Сделать эскиз шаровой мельницы.
3. Определить оптимальную скорость вращения барабана.
4. Предварительно измельчить исходный материал (глина, мел) до размеров кусков в поперечнике не более 3 мм, засыпать его в шаровую мельницу и произвести измельчение материала. Время помола зафиксировать.
5. Разгрузить содержимое барабана и отделить измельчаемый материал от рабочих тел для последующего анализа.
6. Сделать вывод о принципиальной возможности измельчения исследуемого материала в измельчителях ударно-истирающего действия.

Содержание отчета

Название и цель работы. Краткие сведения о технологии и оборудовании измельчения в машинах ударно-истирающего действия. Эскиз шаровой мельницы. Перечень оборудования и материалов. Порядок операций подготовки и проведения процесса измельчения. Расчет оптимальной скорости вращения барабана. Выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение процесса измельчения.
2. Перечислите известные Вам способы измельчения.

3. Какие мелющие тела могут использоваться в барабанных измельчителях?
4. Как изменится процесс измельчения в шаровой мельнице при увеличении скорости вращения выше оптимальной?
5. Как изменится процесс измельчения в шаровой мельнице при уменьшении скорости вращения ниже оптимальной?
6. Какие требования предъявляются к материалам мелющих тел?
7. Как осуществляется привод шаровой мельницы во вращение?

Литература

1. Сиденко, П.М. Измельчение в химической промышленности / П.М. . Сиденко. – М.: Химия, 1977. – 368 с.
2. Конструирование и расчет машин химических производств / под ред. Э.Э. Кольмана-Иванова. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.

Лабораторная работа № 8 ИЗМЕЛЬЧИТЕЛИ ИСТИРАЮЩЕ-РАЗДАВЛИВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ

Цель работы: изучение конструкции и основ расчета машин для тонкого измельчения.

Общие сведения

Значительная часть процессов химической технологии и технологии строительных материалов связана с использованием мелкодисперсных ингредиентов. Известно много способов измельчения, среди которых – раздавливание, раскалывание, разламывание, резание, распиливание, истирание, удар. Но для тонкого измельчения различных материалов обычно используют комбинацию истирания с раздавливанием или ударом. Истирание улучшает процесс тонкого измельчения и перемешивания материалов, но это достаточно энергоемкий процесс, кроме того, связанный с износом рабочих элементов измельчителя и загрязнением измельчаемого материала продуктами износа.

При раздавливании в момент, когда напряжение сжатия в теле превысит предел прочности материала, тело будет разрушено. При продолжении сжатия тело еще больше сплющится, трещины увеличатся, от тела могут отделиться мелкие частицы, но его основная масса останется в компактном состоянии даже и тогда, когда раздавливающая нагрузка будет снята. Дальнейшее сжатие тела может привести к спрессовыванию

частиц. Если одна из сжимающих поверхностей в момент разрушения материала сдавливанием сделает поворот относительно собственной оси, то возникающие при таком повороте силы разрушат оставшиеся между частицами связи, разделят тело по образовавшимся трещинам и предотвратят их спрессовывание. Таким образом, эффект истирания достигается за счет раздавливающих сил, действующих на материал, и разности линейных скоростей движения соответствующих точек, принадлежащих сжимающим поверхностям.

Для получения истирающего эффекта поверхности, раздавливающие материал, должны в соответственных точках иметь разность линейных скоростей движения. Это и предусмотрено во всех конструкциях измельчителей истирающего действия. К ним относятся жернова, бегуны, катково-тарельчатые, шарокольцевые, вальцевые и бисерные мельницы.

Бегуны (рис. 12) состоят из катков 1, закрепленных на полуосях 2, шарнирно соединенных с водилом 3, центрального вала 4, опирающегося на подпятник 7 и через втулку на чашу 5. Водило 3, вращаясь, увлекает за собой катки 1, заставляя их бегать (отсюда «бегуны») по дну чаши. Сырье подается в чашу, где измельчается катками до нужной тонины. В процессе измельчения центробежные силы сдвигают материал к наружной стенке чаши, откуда его возвращают снова под катки с помощью специальных скребков.

В бегунах материал измельчается раздавливанием и истиранием. Раздавливание происходит при попадании кусков под тяжелые катки, а истирание производится при постоянном поворачивании катков относительно их вертикальной оси.

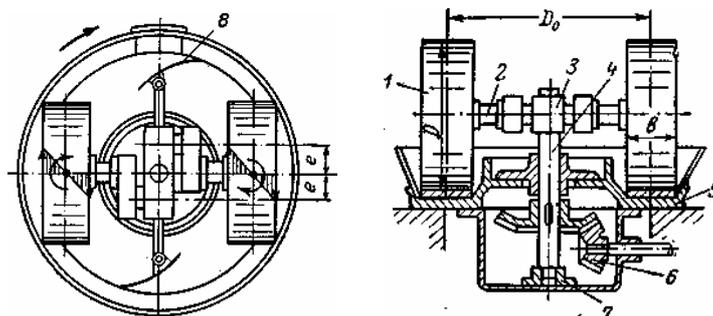


Рис. 12. Бегуны:

- 1 – каток; 2 – полуось; 3 – водило; 4 – вал привода; 5 – чаша;
6 – зубчатое колесо редуктора; 7 – упорный подшипник

Точки, расположенные по ширине обода относительно центрального вала, имеют различные скорости, которые зависят от радиуса движе-

ния точек. На бегунах можно получить измельченный продукт, в котором размер частиц не превышает 40 мкм, но в настоящее время значение бегунов в химической технологии невелико.

Диаметр катка D определяется условиями захвата куска материала. Минимально допустимое отношение диаметров катка и измельчаемого куска d должно быть таким, чтобы угол захвата не превышал двойного угла трения. Для материалов средней прочности при сухом помоле $D/d = 11$; для материалов типа глины (коэффициент трения $f = 0,45$) $D/d = 5$.

В тихоходных бегунах с вращающейся чашей центробежная сила, действующая на кусок материала, должна быть меньше силы трения:

$$m \cdot g \cdot f \geq m \cdot \omega^2 \cdot R,$$

где m – масса куска;

g – ускорение свободного падения;

f – коэффициент трения материала о чашу;

ω – угловая скорость вращения чаши;

R – средний радиус чаши.

Преобразования дают

$$\omega \leq \sqrt{g \cdot f / R} = 3,13 \sqrt{f / R}.$$

В бегунах с подвижными катками последние могут быть установлены на разных расстояниях от оси вала для того, чтобы перекрывать возможно большую площадь чаши и более эффективно перемешивать материал.

Производительность бегунов определяют по эмпирическим формулам или опытным данным.

Мощность двигателя $N_{дв}$ рассчитывают по суммарной мощности, развиваемой силами сопротивления при качении, силами трения скольжения, действующими на катки, и силами трения скольжения скребков, с учетом КПД привода

$$N_{дв} = (N_1 + N_2 + N_3) / \eta.$$

Мощность N_1 , кВт, сил сопротивления качения зависит от силы P_1 , кН, нажатия катка на материал, коэффициента сопротивления при качении k , м, угловой скорости катка ω_k , рад/с, числа катков z :

$$N_1 = P_1 \cdot k \cdot \omega_k \cdot z.$$

Приняв скорость скольжения средней части катка по чаше равной нулю, можно, используя принятые ранее обозначения, записать

$$\omega_k \cdot D/2 = \omega \cdot r$$

и, следовательно,

$$N_1 = 2 \cdot P_1 \cdot k \cdot \omega \cdot r \cdot z / D.$$

Мощность сил трения скольжения N_2 представляет собой произведение силы трения скольжения $P_1 \cdot f$ на среднюю скорость скольжения катка по материалу.

Мощность сил трения скольжения с учетом числа катков z :

$$N_2 = P_1 \cdot f \cdot z \cdot v_{ск.ср} = 0,25 \cdot P_1 \cdot f \cdot \omega \cdot b \cdot z.$$

Мощность сил трения скольжения скребков зависит от усилия прижима скребков P_3 , числа скребков z_c , коэффициента трения скребков о чашу f_c и скорости скольжения скребков по чаше $v = \omega \cdot R$:

$$N_3 = P_3 \cdot f_c \cdot z_c \cdot \omega \cdot R.$$

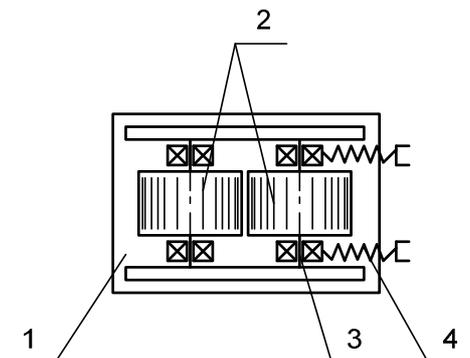
В формулах для N_1 , N_2 , N_3 обычно принимают $k = 0,05 \div 0,1$ м; $f_c \approx 0,2$; $P_3 = 1$ кН; кпд. привода $\eta = 0,7 \div 0,8$.

В гладковалковой дробилке разрушение материала происходит при однократном сжатии в зазоре между валками. Измельчению на валковых дробилках подвергают материалы с пределом прочности до 350 МПа.

На рис. 13 представлена схема двухвалковой дробилки, которая состоит из станины 1, валков 2, установленных в подшипниках 3, при этом корпус одного из подшипников может перемещаться по направляющим для регулирования зазора между валками и поджимается пружинами 4, обеспечивающими необходимое усилие при дроблении и выполняющими функцию предохранения от разрушения при попадании недробящегося тела. При попадании в зазор, например, металлического предмета пружины сжимаются, и предмет проходит через зазор.

Рис. 13. Схема двухвалковой дробилки:

- 1 – станина; 2 – валок; 3 – подшипник;
- 4 – нажимная пружина



Валки обычно изготавливают составными с рабочей поверхностью из отбеленного чугуна, углеродистой или марганцовистой стали.

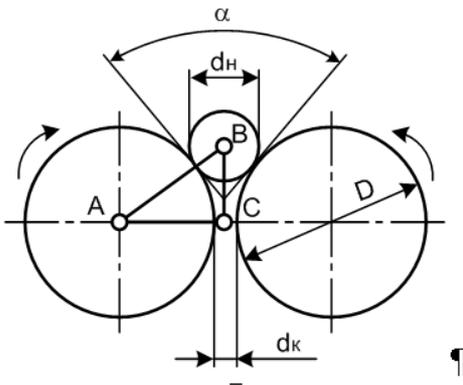
Привод валков может осуществляться как от индивидуальных электродвигателей с редукторами, так и от одного двигателя с использованием зубчатой передачи. Для усиления эффекта истирания скорость вращения валков делают различной. Отношение скоростей вращения валков называется фрикцией.

Для обеспечения работоспособности необходимо чтобы угол захвата α был больше двойного угла трения φ

$$\alpha \geq 2 \cdot \varphi.$$

На рис. 14 представлена схема захвата куска валками.

Соотношение размеров исходного куска материала d и диаметра валка D определяется выражением



$$\frac{D}{d} = \frac{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - \frac{1}{i}}{1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}.$$

Обычно валковые машины обеспечивают степень измельчения $i = 4$, в связи с чем размер исходного кускового материала должен быть не больше $0,05D$.

Величину окружной скорости валков выбирают такой, чтобы центробежные силы не отрывали частицы материала от валка.

Обычно окружная скорость валков не более 6 м/с.

Производительность валковой дробилки рассчитывают в предположении, что из выпускной щели выходит непрерывная лента измельченного материала толщиной d_k и шириной, равной рабочей длине валка $L_p \approx 0,9 \cdot L$ (зона подачи материала на валки ограничена загрузочной воронкой).

Объем материала, покидающего дробилку при одном обороте валков,

$$V = \pi \cdot D \cdot L_p \cdot d_k \cdot \rho \cdot \mu,$$

производительность

$$Q = 1,25 \cdot \pi \cdot D \cdot L_p \cdot d_k \cdot \rho \cdot n \cdot \mu,$$

где 1,25 – коэффициент, учитывающий расхождение валков при дроблении из-за деформации предохранительных пружин;

μ – коэффициент разрыхления (для прочных материалов $\mu = 0,2 \div 0,3$, для пластичных $\mu = 0,4 \div 0,6$).

Усилие дробления P , действующее на валки, зависит от площади контакта $F = L_p \cdot l$ (где $l = \alpha \cdot D/4$ – длина дуги контакта) и предела прочности материала при сжатии $\sigma_{сж}$.

С учетом коэффициента разрыхления μ усилие дробления

$$P = \sigma_{сж} \cdot F \cdot \mu = 0,25 \cdot \sigma_{сж} \cdot D \cdot \alpha \cdot L_p \cdot \mu.$$

Для прочных пород ($\alpha/2 = 18^\circ$; $\mu = 0,25$) $P \approx 0,04 \cdot \sigma_{сж} \cdot L_p \cdot D$, для мягких материалов ($\alpha/2 = 24^\circ$; $\mu = 0,5$) $P = 0,1 \cdot \sigma_{сж} \cdot L_p \cdot D$.

Суммарное усилие пружин принимают $P_0 = (1,2 \div 1,3) \cdot P$. По этому усилию рассчитывают на прочность валы, опоры, тяги, пружины. Если корпуса подшипников не соединены между собой тягами, усилие, действующее на валки, замыкается через раму машины.

Мощность двигателя определяется энергетическими затратами на дробление и преодоление сил трения в подшипниках. Мощность дробления по В.А. Бауману равна мощности сил трения материалов о валок $N_{др} = P \cdot f \cdot v_{окр}$, где $v_{окр} = \pi \cdot D \cdot n$. Суммарная мощность сил трения в подшипниках

$$N_{тр} = 2 \cdot R \cdot f_1 \cdot v_{окр1},$$

где $R = \sqrt{P^2 + G_B^2}$ – реакция в опорах подшипников;

f_1 – приведенный коэффициент трения в подшипнике;

$v_{окр1} = \pi \cdot d_{II} \cdot n$ (d_{II} – диаметр вала подшипника).

С учетом общего КПД передачи можно записать выражение для мощности двигателя $N_{дв}$

$$N_{дв} = \pi \cdot D \cdot n \cdot P \cdot f \cdot [1 + 2 \cdot \sqrt{1 + (G_B/P)^2} (f_1/f)(d_{II}/D)]/\eta.$$

Оборудование и материалы: лабораторная гладковалковая дробилка, лабораторные бегуны, кусковой материал для измельчения, емкости для сбора продуктов измельчения.

Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию валковой дробилки и бегунов.
2. Сделать эскиз измельчителя.

3. Провести расчет производительности дробилки.
4. Провести расчет потребляемой мощности дробилки.
5. Провести измельчение предложенного материала и определить действительную производительность дробилки и потребляемую мощность.
6. Измельченный материал собрать для дальнейшего анализа фракционного состава.
7. Сделать выводы об энергоемкости и эффективности процессов тонкого измельчения материалов.

Содержание отчета

Название и цель работы. Краткие сведения об измельчителях истирающе-раздавливающего действия. Расчеты производительности и потребляемой мощности измельчающего оборудования. Результаты эксперимента по измельчению. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите известные Вам способы измельчения.
2. Какой механизм измельчения реализуется в бегунах и гладковалковых дробилках?
3. Из каких материалов изготавливают рабочие органы измельчителей истирающе-раздавливающего действия?
4. Как осуществляется привод бегунов?
5. Как осуществляется привод валков гладковалковой дробилки?
6. Какую степень измельчения обеспечивает гладковалковая дробилка?
7. Какую степень измельчения обеспечивают бегуны?

Литература

1. Сиденко, П.М. Измельчение в химической промышленности / В.П. Сиденко. – М.: Химия, 1977. – 368 с.
2. Конструирование и расчет машин химических производств / под ред. Э.Э. Кольмана-Иванова. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.

Лабораторная работа № 9 СИТОВЫЙ АНАЛИЗ

Цель работы: изучение способов гранулометрического анализа измельченных материалов.

Общие сведения

В химической промышленности достаточно часто встают проблемы использования мелкодисперсных материалов. Существующие способы измельчения обеспечивают получение дисперсных материалов с частицами различной крупности, что вызывает необходимость разделения по крупности.

Необходимая крупность материала для производственных целей определяется технологическим процессом, а для других – назначением и условиями его потребления. Так, для осуществления процессов в кипящем слое крупность частиц должна быть не ниже 0,1 мм, а для лакокрасочного производства необходимая крупность частиц должна измеряться единицами микрометров, причем, чем меньше частицы, тем лучше.

При добыче и измельчении твердых материалов редко удается сразу получить продукт требуемого состава. Обычно продукты измельчения состоят из частиц различных размеров и формы, и из них приходится выделять нужные фракции.

Известно много способов разделения по крупности, среди них: грохочение на ситовых, колосниковых, барабанных и валковых грохотах, классификаторы, воздушные сепараторы, циклоны.

Способ разделения порошкообразных материалов на фракции просеиванием их через сита является самым распространенным и простым. Суть его состоит в том, что материал пропускают через сито с определенным размером отверстий. Частицы, размер которых меньше размера отверстия в сите, проходят через него, а более крупные задерживаются.

Применяя сита с разными отверстиями, можно разделить зернистый материал практически на любое число фракций.

Промышленность выпускает сита с отверстиями, имеющими размер стороны от 40 мкм и выше. Характеристикой сит является не только размер отверстия, но и площадь в свету по отношению ко всей площади сита, которая для всех сит остается постоянной и составляет около 36 %. Для материала сит, кроме проволочных сеток, применяют перфорированные решетки, изготовленные из листов и имеющие отверстия разной формы.

Проволочные и перфорированные сетки изготавливают из разных материалов в зависимости от их назначения и условий, в которых они должны работать. Все сетки стандартизованы, и их подробную характеристику можно найти в ГОСТах и справочниках по цветным и черным металлам.

Процесс разделения сыпучих материалов с помощью сит носит название «рассеивание» или «грохочение», а устройства, в которых идет

этот процесс называются ситами или грохотами. Название «рассеивание» и сита употребляют в случае разделения мелкозернистых сыпучих материалов, а «грохочение» и грохот – при разделении крупнозернистых и кусковых материалов.

В многотоннажных производствах для разделения сыпучих материалов применяют сита и решетки с отверстиями размером не менее 100 мкм в поперечнике. Сито с более мелкими ячейками используют для рассеивания порошкообразных материалов только в мелкотоннажных производствах и для контрольных анализов.

По конструкции грохоты могут быть плоскими (неподвижными, качающимися, гирационными, вибрационными) и барабанными.

Оборудование и материалы: машина для ситового анализа с набором сит, образцы дисперсных материалов для анализа.

Порядок проведения работы

1. Изучить конструкцию и принцип действия машины для ситового анализа.
2. Провести ситовый анализ образцов материалов, полученных измельчением в шаровой мельнице, гладковалковой дробилке, бегунах, роторном измельчителе и исходных материалов.
3. Составить сводную таблицу результатов анализа материалов до и после измельчения различными способами.

Наименование материала	Выход фракции, % при размере частиц, мкм				
	менее 40	от 40 до 100	от 100 до 200	от 200 до 300	более 300

4. Рассчитать степень измельчения для каждого способа.
5. Сделать выводы по результатам работы.

Содержание отчета

Название и цель работы. Краткие сведения о ситовом анализе. Оборудование и материалы. Эскиз машины для ситового анализа. Сводная таблица результатов ситового анализа дисперсных материалов, полученных при обработке в различных измельчителях. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие способы классификации сыпучих материалов Вам известны?
2. Что такое грохочение?

3. Опишите известные вам конструкции сит.
4. Каким образом описывают фракционный состав дисперсных материалов?
5. Как осуществляется привод грохотов?
6. Опишите известные вам конструкции грохотов.
7. Какие физические основы процесса разделения по крупности при грохочении?

Литература

Сиденко, П.М. Измельчение в химической промышленности / П.М. Сиденко. – М.: Химия, 1977. – 368 с.

Лабораторная работа № 10 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ И ЭМУЛЬСИЙ

Цель работы: изучение конструкции жидкостного сепаратора, определение производительности и потребляемой мощности сепаратора.

Общие сведения

Разделение жидких неоднородных систем под действием центробежной силы осуществляется в сепараторах и центрифугах. Степень разделения зависит от центробежной силы, которая пропорциональна квадрату окружной скорости. Таким образом, для обеспечения высоких факторов разделения необходимо увеличивать частоту вращения ротора или его диаметр. Но увеличение диаметра увеличивает нагрузку на ротор. Следовательно, для достижения высоких факторов разделения предпочтительно увеличивать угловую скорость при уменьшении диаметра ротора; поэтому сепараторы с фактором разделения 5 000 – 8 000 имеют диаметр ротора не более 700 мм, а у трубчатых центрифуг с фактором разделения 12 000 – 15 000 диаметр ротора не превышает 80 – 150 мм.

Для уменьшения уноса твердой фазы с фугатом в сепараторах и трубчатых центрифугах используют три разновидности процесса осветления: при малой толщине слоя жидкости и малом пути ее движения; при средней толщине слоя жидкости и значительном пути ее движения; при большой толщине слоя жидкости и значительном пути движения жидкости. Все три процесса осветления суспензий имеют свои особенности. Машины, используемые для этой цели, можно разделить на две группы: сепараторы с коническими тарелками или цилиндрическими вставками и

трубчатые центрифуги. Следует отметить, что сепараторы с коническими тарелками и трубчатые центрифуги успешно применяют и для разделения эмульсий.

При обработке суспензий сепараторы и трубчатые центрифуги работают периодически, часто с ручной или механизированной выгрузкой осадка. Сепараторы с коническими тарелками могут работать непрерывно. Обычно при разделении эмульсий в сепараторах с коническими тарелками и трубчатых центрифугах режим работы непрерывный, за исключением случаев, когда в эмульсиях содержатся частицы твердой фазы.

В сепараторах с коническими тарелками обрабатываемая жидкость подается по питающей трубе на донную часть ротора и заполняет его объем. Жидкость может поступать через отверстия на срединную часть тарелок (центральная подача, используемая при обработке эмульсий) или в пространство между наружными краями тарелок и стенками ротора (периферийная подача при обработке суспензий). Тарелки разделяют жидкость на ряд потоков толщиной 0,3 – 1,5 мм, движущихся под углом 35 – 55° между тарелками в направлении к оси вращения ротора. Обработка жидкости происходит во всем объеме межтарелочного пространства; фугат (или легкая фаза эмульсии) направляется к каналам тарелкодержателя, а осевшие частицы твердой фазы (или тяжелой фазы эмульсии) смещаются к периферии ротора и группируются в шламовом пространстве, где окончательно разделяются фазы. Применение тонкослойного осаждения привело к созданию высокопроизводительных сепараторов, используемых в самых разнообразных отраслях промышленности.

Сепараторы с ручной выгрузкой используют в химической промышленности только в особых случаях, так как непосредственный контакт обслуживающего персонала с обрабатываемым материалом нежелателен; предпочтительно применение сепараторов с автоматическим режимом работы.

Сепараторы с механической выгрузкой осадка применяют для обработки низкоконцентрированных суспензий (концентрация не более 5 %) с тонкоизмельченной твердой фазой или эмульсией при разности плотностей фаз больше 3 %; осадок может иметь конечную влажность 80 – 85 %.

Сепараторы используют для очистки сточных вод, различных эмульсий, электролитов, гидроокисей металлов, лекарственных растений, минеральных масел, нефтепродуктов и т.п. Изготавливают сепараторы в обычном исполнении и со взрывозащищенным электрооборудованием.

Тенденции развития сепараторостроения состоят в разработке и широком внедрении автоматических, непрерывно работающих сепараторов, проектировании сепараторов специального назначения.

Оборудование и материалы: лабораторный жидкостный сепаратор, амперметр, вольтметр, смеситель, компоненты эмульсии, емкости для смешения и сбора продуктов.

Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию жидкостного сепаратора.
2. Сделать эскиз жидкостного сепаратора.
3. Провести расчет привода сепаратора.
4. Провести расчет потребляемой мощности сепаратора.
5. Приготовить эмульсию, используя необходимые компоненты и смеситель.
6. Провести обработку эмульсии в сепараторе и определить действительную производительность сепаратора и потребляемую мощность сепаратора.
7. Измельченный материал собрать для дальнейшего анализа granulометрического состава.
8. Сделать выводы об энергоемкости и эффективности процессов сепарирования эмульсий.

Содержание отчета

Название и цель работы, краткие сведения об аппаратах для разделения жидких сред, расчеты производительности и потребляемой мощности сепаратора, эскиз сепаратора, результаты эксперимента по разделению эмульсии, выводы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите известные Вам способы разделения суспензий и эмульсий.
2. Опишите принцип работы жидкостного сепаратора.
3. Что такое фактор разделения?
4. Как осуществляется привод ротора сепараторов и центрифуг?
5. Назовите два основных способа разделения суспензий центрифугированием.

Литература

1. Шкоропад, Д.Е. Центрифуги и сепараторы для химических производств / Д.Е. Шкоропад. – М.: Химия, 1977. – 368 с.
2. Конструирование и расчет машин химических производств / под ред. Э.Э. Кольмана-Иванова. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРЕССЫ

Гидравлический пресс – рабочая машина-орудие, прессующий узел которой выполнен в виде одного или нескольких гидравлических цилиндров.

Поступающая в цилиндры энергетическая жидкость (вода или эмульсия) обеспечивает необходимое конечное технологическое давление $P_{уд}$ на перерабатываемый материал (обычно от 500 до 3 500 Н/см²).

Гидравлические прессы в химической промышленности используются для прессования изделий и полуфабрикатов из пластмасс и резины.

Основными узлами всех гидропрессов являются: станина (в колонном или рамном исполнении), гидроцилиндры с плунжерами, неподвижная плита или стол, подвижная плита (ползун) и комплектующий гидропривод.

Для изготовления штучных изделий из пластмасс применяются преимущественно вертикальные прессы верхнего давления, т.е. с верхним главным гидроцилиндром тоннажем (прессующим усилием) $\Pi = 250 \div 6\,300$ кН и несколькими вспомогательными гидроцилиндрами меньшего тоннажа для подъема подвижной плиты, для подъема и опускания выталкивателя и т.п. (рис. 1). Для изготовления листов и плит применяются вертикальные этажные прессы нижнего давления, т.е. с нижними главными цилиндрами тоннажем $\Pi = 1\,000 \div 50\,000$ кН и с несколькими вспомогательными гидроцилиндрами или без них (рис. 2).

Основными конструктивными параметрами прессы являются:

- максимальный ход подвижной плиты $S = S_x + S_{раб}$, мм;
- максимальное расстояние в свету между столом и подвижной плитой H_{max} , мм;
- размеры стола в плане $F = AB$ и его площадь $F = AB$, м².

Для универсальных прессов верхнего давления размеры S , H_{max} и AB связаны с номинальным усилием прессования $\Pi_{ном}$ следующими приближенными соотношениями:

$$S = (12 \div 18) \cdot \sqrt{\Pi_{ном}}, \text{ мм,}$$

$$H_{max} = (20 \div 30) \cdot \sqrt{\Pi_{ном}}, \text{ мм,}$$

$$F = AB = (0,01 \div 0,015) \cdot \sqrt{\Pi_{ном}}, \text{ м}^2 \text{ (причем } A \text{ обычно равно } B \text{).}$$

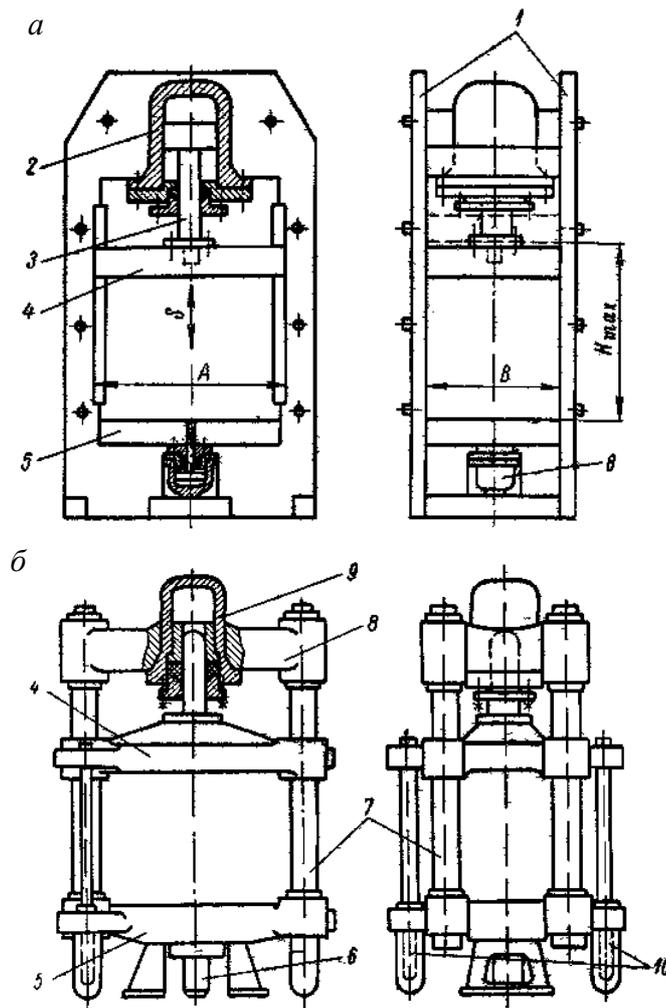


Рис. 1. Гидравлические прессы верхнего давления:

a – в рамном исполнении с дифференциальным главным цилиндром и выталкивателем; *б* – в колонном исполнении с главным цилиндром простого действия, выносными возвратными цилиндрами и выталкивателем:

1 – рамы; 2 – главный цилиндр; 3 – дифференциальный плунжер; 4 – подвижная плита (ползун); 5 – стол; 6 – цилиндр выталкивателя; 7 – колонна; 8 – архитрав; 9 – цилиндр простого действия; 10 – возвратные цилиндры

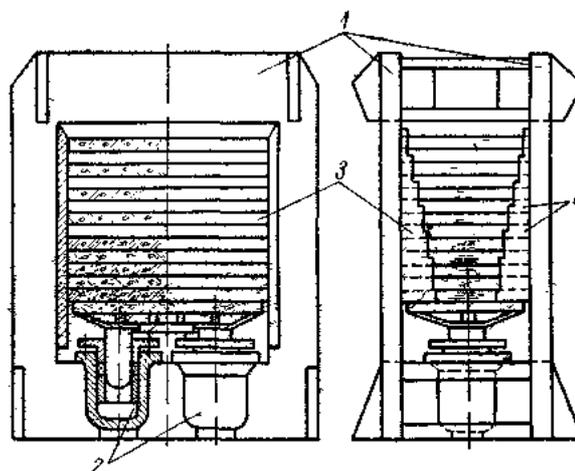


Рис. 2. Гидравлический этажный пресс нижнего давления в рамном исполнении:

1 – рамы; 2 – главные цилиндры; 3 – промежуточные плиты; 4 – лестничные упоры для промежуточных плит

Для этажных прессов нижнего давления

$$S = (100 \div 150) \cdot z_n, \text{ мм},$$

$$H_{\max} = (150 \div 200) \cdot z_n, \text{ мм},$$

$$F = 1 \div 3 \text{ м}^2,$$

где z_n – количество этажей в прессе (обычно от 10 до 15).

Основные силовые параметры прессов

Номинальное усилие прессования $\Pi_{\text{ном}}$ представляет собой произведение площади сечения одного или нескольких плунжеров главных цилиндров $f_{\text{пл}}$ (см²) на расчетное давление энергетической жидкости p , Н/см².

$$\Pi_{\text{ном}} = \frac{z_{\text{ц}} \cdot f_{\text{пл}} \cdot p}{1\,000}, \text{ кН},$$

где $z_{\text{ц}}$ – количество параллельно действующих главных цилиндров; рекомендуется ограничивать тоннаж каждого гидроцилиндра до 8 000 – 10 000 кН;

$f_{\text{пл}}$ – площадь сечения плунжера главного цилиндра, см²;

p – давление энергетической жидкости, подаваемой гидроприводом в цилиндр, Па ($p = 2\,500 \div 3\,200$ Н/см²).

Для прессов применяется следующий ряд значений $\Pi_{\text{ном}}$ (ГОСТ 8200-81): 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1 000; 1 600; 2 500; 4 000; 6 300 кН.

Фактическое усилие пресса меньше номинального:

$$\Pi_{\text{факт}} = \Pi_{\text{ном}} - \sum T_{\text{тр}} - T_{\text{пр.давл.}} \pm M \cdot g$$

где $\sum T_{\text{тр}}$ – сумма потерь сил на трение в уплотнениях и направляющих деталях главного и возвратного цилиндров, Н;

$T_{\text{пр.давл.}}$ – потери усилия пресса вследствие противодействия возвратных цилиндров, Н;

$M \cdot g$ – вес подвижных деталей пресса; «+» – для пресса верхнего давления; «-» – для пресса нижнего давления.

Для обеспечения заданного удельного давления $P_{\text{уд}}$ на прессуемый материал необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\Pi_{\text{факт}} \geq \Pi_{\text{з}},$$

$$\Pi_{\text{факт}} \geq \frac{P_{\text{уд}} \cdot f_{\text{изд}} \cdot z}{1\,000}, \text{ кН},$$

где $f_{\text{изд}}$ – площадь проекции изделия на горизонтальную плоскость, см²;

z – количество прессуемых изделий.

$$\frac{\Pi_{\text{факт}}}{\Pi_{\text{ном}}} = 0,85 \div 0,9 - \text{кпд пресса.}$$

Производительность гидравлического пресса

$$G = \frac{n \cdot m \cdot V \cdot \rho}{\tau_{\text{ц}}}, \text{ кг/час,}$$

где n – количество пресс-форм на этаже;
 m – количество этажей;
 V – объем одного изделия, м³;
 ρ – плотность материала, кг/м³;
 $\tau_{\text{ц}}$ – время цикла, час.

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{загр}} + \tau_{\text{зам}} + \tau_{\text{выд}} + \tau_{\text{разм}} + \tau_{\text{разгр}} + \tau_{\text{дон}},$$

где $\tau_{\text{дон}}$ – время дополнительных операций;
 $\tau_{\text{загр}}, \tau_{\text{разгр}}$ – время загрузки и разгрузки определяется степенью механизации производства;
 $\tau_{\text{зам}}$ – время замыкания формы

$$\tau_{\text{зам}} = \frac{S_x}{u_x} + \frac{S_p}{u_p}, \text{ с}$$

где S_x, S_p – холостой ход замыкания и рабочий ход прессования, мм;
 u_x, u_p – средняя скорость холостого (~50 – 200) и рабочего (~1,5 – 3) ходов, мм/с;
 $\tau_{\text{разм}}$ – время размыкания формы

$$\tau_{\text{разм}} = \frac{S_x + S_p}{u_{\text{возвр}}}, \text{ с,}$$

где $u_{\text{возвр}}$ – средняя скорость возврата полости главного цилиндра ($u_{\text{возвр}} \approx u_x$), мм/с;

$\tau_{\text{зам}}, \tau_{\text{разм}}$ есть в паспорте для данной конструкции пресса или в ГОСТе;

$\tau_{\text{выд}}$ – время выдержки; $\tau_{\text{выд}} = \tau_{\text{нагр}} + \tau_{\text{отв}}$

$\tau_{\text{нагр}}$ – время нагревания, зависит от разности температур между материалом и пресс-формой;

$\tau_{\text{отв}}$ – время отвердевания, зависит только от типа материала и температуры.

Для определения этих величин разработаны номограммы.

Примеры для самостоятельного решения

Определить основные параметры пресса верхнего давления по заданной площади, см^2 , горизонтальной проекции изделия $f_{изд}$, числу гнезд в пресс-форме z и необходимому удельному давлению прессования $P_{уд}$, Н/см^2 . Масса подвижных деталей пресса M , кг. Рабочее давление энергетической жидкости $p = 3\ 200\ \text{Н/см}^2$. Исходные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

№ варианта	$f_{изд}$	z	$P_{уд}$	M	№ варианта	$f_{изд}$	z	$P_{уд}$	M
1	150	3	2 500	1 800	16	500	1	2 000	1 600
2	400	1	1 800	1 100	17	120	2	3 500	1 300
3	650	1	1 500	1 500	18	280	2	2 000	1 700
4	200	2	3 000	1 800	19	350	1	1 800	1 000
5	280	2	2 200	2 000	20	400	1	1 800	1 200
6	500	2	1 600	2 500	21	350	2	1 000	1 100
7	350	1	2 000	1 100	22	200	1	2 300	750
8	220	1	3 500	2 400	23	400	1	2 800	1 800
9	380	1	3 500	2 000	24	320	2	1 500	1 500
10	430	1	2 000	1 300	25	150	1	3 000	700
11	100	4	3 000	1 900	26	300	2	1 200	1 400
12	200	2	2 500	1 600	27	200	1	2 100	900
13	300	2	2 000	1 900	28	220	2	2 500	1 200
14	250	2	1 800	1 400	29	350	2	3 200	1 500
15	350	1	1 500	900	30	400	1	2 300	2 000

ВАЛКОВЫЕ МАШИНЫ

Валковые машины находят широкое применение в ряде отраслей химической промышленности (лакокрасочная, резиновая, производство пластмасс).

Расчет этих машин ведется по следующей схеме. Заданными являются: тип машины, число и размеры валков, число оборотов валка, вращающегося с наибольшей скоростью, отношение чисел оборотов всех валков, а также основные характеристики сырья и готовой продукции и тепловой режим обработки. Подлежат определению: распорные усилия между валками; мощность, полезно расходуемая на обработку; производительность за один пропуск через валки машины обрабатываемого материала и расход воды для охлаждения валков.

Валковые машины лакокрасочной промышленности

В лакокрасочной промышленности применяются три типа валковых машин: одно-, двух- и трехвалковые, имеющие диаметр валков 300 – 400 мм и длину 800 – 1 000 м. Максимальное число оборотов валка, вращающегося с наибольшей скоростью, ограничивается числом оборотов, при котором начинается отрыв обрабатываемой пасты от поверхности валка. Число оборотов этого валка должно быть $n < 48/R$, об/мин, где R – радиус валка, м.

Для трехвалковых машин (рис. 3), получивших наибольшее распространение, число оборотов двух остальных валков обычно определяется из принятых соотношений с числом оборотов валка, вращающегося с наибольшей скоростью, при передаточных числах 1:2:4 или 1:3:9.

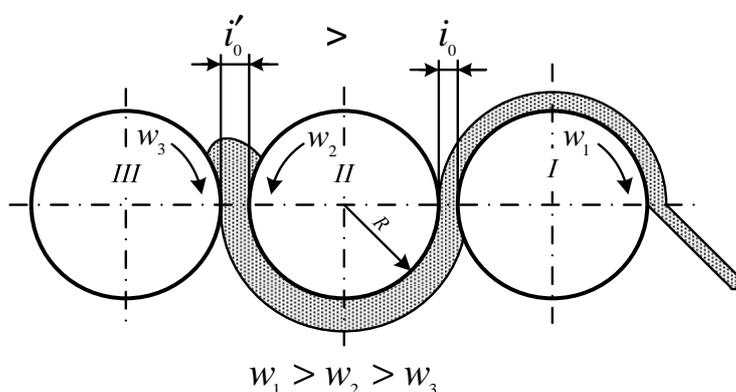


Рис. 3. Схема трехвалковой машины

Определение пропускной способности машины G , кг/час, производится по следующим формулам:

- при соотношении числа оборотов валков 1:2:4

$$G = 2509 \cdot a \cdot w \cdot i_0 \cdot L \cdot \rho;$$

- при соотношении числа оборотов валков 1:3:9

$$G = 2717 \cdot a \cdot w \cdot i_0 \cdot L \cdot \rho,$$

где a – коэффициент полноты съема пасты с валка, равный $0,7 \div 0,9$;
 w – окружная скорость валка, имеющего наибольшее число оборотов, м/с;

i_0 – величина зазора между 1-м и 2-м валками, м;

L – длина рабочей части валка, м;

ρ – плотность пасты, кг/м³.

Распорные усилия P_{1-2} и P_{2-3} , Н, между валками 1 и 2-м, 2 и 3-м:

- при соотношении числа оборотов валков 1:2:4

$$P_{1-2} = 0,665 \cdot \mu_I \cdot w \cdot \frac{R}{i_0} \cdot L; \quad P_{2-3} = 0,1508 \cdot \mu_{II} \cdot w \cdot \frac{R}{i_0} \cdot L;$$

- при соотношении числа оборотов валков 1:3:9

$$P_{1-2} = 0,634 \cdot \mu_I \cdot w \cdot \frac{R}{i_0} \cdot L; \quad P_{2-3} = 0,0758 \cdot \mu_{II} \cdot w \cdot \frac{R}{i_0} \cdot L,$$

где R – радиус валков, м;

μ_I и μ_{II} – вязкость пасты при проходе ее через 1-й и 2-й зазоры между валками, Па·с.

Определение полезной мощности N , Вт, расходуемой непосредственно на обработку пасты,

- при соотношении числа оборотов валков 1:2:4

$$N = 1,776 \cdot w^2 \cdot \mu_I \cdot L \cdot \sqrt{\frac{R}{i_0}} \cdot \left(1 + 0,1724 \cdot \frac{\mu_{II}}{\mu_I} \right);$$

- при соотношении числа оборотов валков 1:3:9

$$N = 1,825 \cdot w^2 \cdot \mu_I \cdot L \cdot \sqrt{\frac{R}{i_0}} \cdot \left(1 + 0,1812 \cdot \frac{\mu_{II}}{\mu_I} \right).$$

При движении пасты через зазоры между валками происходит ее нагрев за счет преобразования механической энергии в тепловую.

Перегрев пасты свыше определенного предела недопустим как по причине уменьшения ее вязкости, снижающей эффективность обработки, так и возможного изменения свойств пасты, что может отрицательно сказаться на качестве готовой продукции. Поэтому валки выполняются полими и охлаждаются водой, непрерывно подаваемой во внутрь валков.

Тепловой расчет начинается с определения температуры пасты $T_{н.к}^{\phi}$ при отсутствии искусственного охлаждения валков водой

$$T_{н.к}^{\phi} = \frac{N \cdot 3600 \cdot \eta}{G \cdot c_n} + T_{н.н},$$

где N – полезная мощность, расходуемая непосредственно на обработку пасты, Вт;

η – поправочный коэффициент, характеризующий полноту передачи тепла непосредственно на нагрев пасты, $\eta = 0,9$;

G – производительность машины, кг/ч;

c_n – теплоемкость пасты, Дж/(кг·град);

$T_{n.n}$ – температура пасты начальная, К.

Затем, задаваясь предельно допустимой температурой пасты $T_{n.k}^{\text{дон}}$, определяется температура воды на выходе из валков $T_{в.к}$, К,

$$T_{в.к} = T_{n.k}^{\text{дон}} + T_{n.n} - T_{в.н} - \frac{2}{3600 \cdot k \cdot F} \cdot \left[N \cdot \eta \cdot 3600 - (T_{n.k}^{\phi} - T_{n.k}^{\text{дон}}) \cdot G \cdot c_n \right],$$

где $T_{в.н}$ – начальная температура охлаждающей воды, К;

k – коэффициент теплопередачи от пасты к воде через стенку валка, Вт/(м²·град);

F – суммарная поверхность трех валков машины, $F = 3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot L$, м².

В результате решения этого уравнения может оказаться, что температура воды на выходе из валков будет равна или даже меньше температуры ее на входе в валки. Это будет свидетельствовать о невозможности обеспечения заданной предельно допустимой температуры пасты при принятом режиме ее обработки, а, следовательно, о необходимости его изменения в сторону уменьшения мощности, потребляемой на обработку пасты.

В валковых машинах это достигается путем увеличения зазоров между валками, что, в свою очередь, приводит к росту пропускной способности машины и тем самым к уменьшению доли тепла, передаваемого воде.

При положительном результате этого расчета часовой расход охлаждающей воды может быть рассчитан по уравнению

$$G_в = \frac{(T_{n.k}^{\phi} - T_{n.k}^{\text{дон}}) \cdot c_n}{(T_{в.к} - T_{в.н}) \cdot c_в} \cdot G, \text{ кг.}$$

Примеры для самостоятельного решения

Определить производительность, потребляемую мощность и распорные усилия трехвалковой машины по исходным данным, представленным в табл. 2. Вязкость пасты μ_{II} при проходе через 2-й зазор между валками принять 15 Па·с.

Обозначения:

D – диаметр валков, м;

L – длина рабочей части валка, м;

n – число оборотов быстроходного валка, об/мин;

$n_3 : n_2 : n_1$ – соотношение чисел оборотов валков;

μ_I – вязкость пасты при проходе через 1-1 зазор между валками, Па·с;

ρ – плотность пасты, кг/м³;

i_0 – величина зазора между 1-м и 2-м валками, м;
 a – коэффициент съема пасты.

Таблица 2

Исходные данные для расчета

№ варианта	D	L	n	$n_3 : n_2 : n_1$	μ_I	ρ	$i_0 \cdot 10^{-4}$	a
1	0,30	0,80	200	1:2:4	7,12	1 500	1,0	0,70
2	0,30	0,80	150	1:3:9	8,15	1 400	1,5	0,80
3	0,40	0,90	150	1:2:4	8,16	1 400	1,0	0,70
4	0,40	0,80	120	1:3:9	7,15	1 600	0,5	0,80
5	0,35	0,75	140	1:2:4	7,15	1 400	0,6	0,75
6	0,40	0,90	160	1:3:9	8,16	1 700	0,8	0,80
7	0,40	0,90	170	1:2:4	7,15	1 600	0,9	0,70
8	0,40	0,80	180	1:3:9	8,12	1 400	1,0	0,80
9	0,40	0,90	200	1:2:4	8,15	1 600	1,0	0,70
10	0,40	0,85	180	1:3:9	7,15	1 500	1,0	0,75

Валковые машины для производства пластических масс

В промышленности пластических масс валковые машины находят применение для смешения (непрерывного и периодического) и каландрования (получения бесконечной ленты размягченного термопластичного материала регулируемой толщины при однократном пропускании его через зазор между двумя или несколькими валками).

Точные методы определения распорных усилий и мощности, потребляемой при каландровании термопластических масс, не разработаны в основном из-за сложности выбора правильных значений их вязкости, поскольку пластические материалы являются в большинстве случаев аномально-вязкими и вязко-эластичными системами.

Ниже приведен один из способов определения значений вязкости этих материалов, получивший практическое применение.

Непосредственно замеряют распорные усилия P_l на лабораторном каландре и определяют вязкость μ_l обрабатываемого материала по уравнению

$$P_l = \frac{2 \cdot \mu_l \cdot w_l \cdot r_l \cdot l_l}{i_{o,l}}, \text{ Н.}$$

Откуда

$$\mu_l = \frac{P_l \cdot i_{o,l}}{2 \cdot w_l \cdot r_l \cdot l_l}, \text{ Па} \cdot \text{с,}$$

где P_l – распорные усилия лабораторного каландра, Н;

$i_{o,l}$ – зазор между валками лабораторного каландра, м;

w_l – окружная скорость валка, имеющего наибольшее число оборотов, м/с;

r_l, l_l – радиус и длина каландра (ширина ленты), м.

Величина вязкости μ_l , определенная на лабораторном каландре, должна быть скорректирована для подстановки ее в аналогичное уравнение для расчета промышленного каландра при определении распорных усилий между его валками.

Корректировка производится следующим образом.

Вычисляются величины скоростей сдвига S для обоих каландров

$$S_{l,n} = \frac{2 \cdot w_{l,n}}{i_{o_{l,n}}}, \text{ с}^{-1}.$$

Затем по графику (рис. 4), характеризующему зависимость для того же или аналогичного по реологическим свойствам пластического материала, по координатам $S_l; \mu_l$ находится точка 1. Через эту точку проводится прямая, параллельная семейству имеющихся на графике кривых, и в пересечении этой прямой с абсциссой скорости сдвига промышленного каландра S_n находится точка 2, ордината которой дает значение вязкости μ_n промышленного каландра.

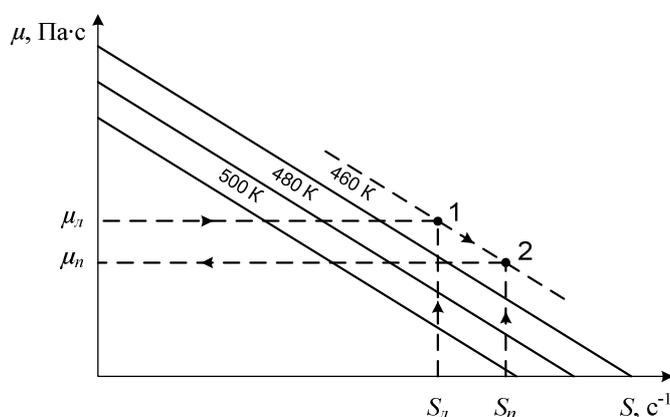


Рис. 4. График зависимости вязкости μ от градиента скорости S

Далее определяют критерии продолжительности сдвига C обоих каландров

$$C_{l,n} = 1,73 \cdot \sqrt{\frac{i_{o_{l,n}}}{r_{l,n}}}.$$

Исходя из значений $C_{l,n}$, по графику $f_S = f(C)$ находятся масштабные коэффициенты $f_{S_{l,n}}$.

Полученная ранее величина вязкости промышленного каландра μ_n умножается на отношение $\frac{f_{S_n}}{f_{S_n}}$ и в таком виде подставляется в уравнение

для определения распорного усилия P_n промышленного каландра.

Производительность каландра определяется по формуле

$$G = w \cdot H \cdot L \cdot \rho \cdot 3600, \text{ кг/ч,}$$

где w – окружная скорость валка, м/с;
 H – величина зазора между валками, м;
 L – рабочая длина валков, м;
 ρ – плотность материала, кг/м³;

$$w = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}, \text{ м/с,}$$

где n – число оборотов валка в минуту;
 D – диаметр валка, м.

Мощность, потребляемая одной парой валков каландра,

$$N = 27 \cdot 10^{-4} \cdot P \cdot w \cdot \sqrt{\frac{H}{R}}, \text{ кВт,}$$

где P – распорное усилие, Н;
 R – радиус валка, м.

Валки резиновой промышленности

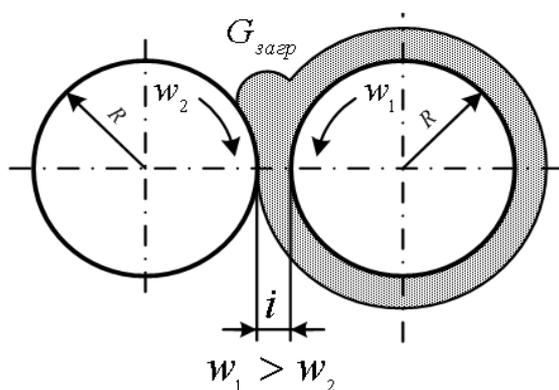


Рис. 5. Схема валкового смесителя

Пластикация каучуков проводится на двухвалковых машинах (рис. 5), валки которых имеют разное число оборотов. Отношение этих чисел называют фрикцией. Это отношение у валковых машин для пластикации обычно принимается равным 1,1 ÷ 1,3.

Производительность машин этого назначения зависит от числа оборотов валков и их размеров, а также от времени обработки, необходимого для достижения требуемой степени пластикации.

Расчет валковых машин для пластикации каучуков ведется в следующей последовательности: сначала определяется время пластикации, затем – величина единовременной загрузки на валки машины и ее производительность и, наконец, мощность и распорные усилия между валками.

Время пластикации τ определяется по формуле

$$\tau = \left(\frac{\Delta Пл}{A} \right)^n \cdot \frac{i}{w \cdot \Phi^m}, \text{ мин}, \quad (1)$$

где $\Delta Пл$ – прирост пластичности каучука;

A – коэффициент, зависящий от марки каучука (табл.3);

i – зазор между валками, м;

w – окружная скорость валка, имеющего большее число оборотов, м/мин;

Φ – фрикция;

n, m – показатели степени, определяемые по табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты уравнения (1)

Марка каучука	A	n	m
СКН-40	$36 \cdot 10^{-5}$	2,00	0,14
СКН-26	$26 \cdot 10^{-5}$	2,00	0,14
СКС-30	$16 \cdot 10^{-5}$	1,43	0,10
СКС-10	$1 \cdot 10^{-5}$	1,43	0,10

Одновременная загрузка на валки машины

$$G_{загр} = 6,2 \cdot D \cdot L \cdot \rho \cdot i + 0,1, \text{ кг},$$

где D – диаметр валка, м;

L – длина валка, м;

ρ – плотность материала, кг/м³.

Производительность валковой машины

$$G = \frac{G_{загр} \cdot 60}{\tau}, \text{ кг/ч.}$$

Распорные усилия между валками

$$P = C \cdot \rho \cdot D^n \cdot L^m \cdot i^p \cdot Пл_k^f, \text{ Н}, \quad (2)$$

где $Пл_k$ – конечная пластичность;

C, n, m, p, f – коэффициенты, определяемые по табл. 4.

Потребляемая мощность

$$N = K \cdot \rho \cdot \omega \cdot D^n \cdot L^m \cdot i^p \cdot \Phi^s \cdot Пл_k^f, \quad (3)$$

где ω – угловая скорость быстроходного вала, с^{-1} ;
 K, n, m, p, s, f – коэффициенты, определяемые по табл.5.

Таблица 4

Коэффициенты уравнения (2)

Марка каучука	C	n	m	p	f
СКН-40	1805	1,4	0,7	0,1	-0,4
СКН-26	1275	1,4	0,7	0,1	-0,4
СКС-30	1393	1,6	0,7	0,7	-0,4
СКС-10	1118	1,6	0,7	0,7	-0,4

Таблица 5

Коэффициенты уравнения (3)

Марка каучука	K	n	m	p	s	f
СКН-40	0,06	2,0	0,6	0,1	-0,25	-0,7
СКН-26	0,05	2,0	0,6	0,1	-0,25	-0,7
СКС-30	0,05	2,3	0,6	0,1	-0,20	-0,7
СКС-10	0,04	2,3	0,6	0,1	-0,20	-0,7

Потребляемая мощность и величина распорных усилий в начальный период обработки при пластичности $Пл_n$

$$N_{Пл_n} = N \cdot \left(\frac{Пл_k}{Пл_n} \right)^{0,7}, \text{ кВт},$$

$$P_{Пл_n} = P \cdot \left(\frac{Пл_k}{Пл_n} \right)^{0,4}, \text{ Н}.$$

Примеры для самостоятельного решения

Определить производительность, время пластикации, распорные усилия и мощность двухвалковой машины по исходным данным, представленным в табл. 6.

Обозначения:

D – диаметр валков, м;

L – длина валков, м;

Φ – фрикция;

n – число оборотов быстроходного валка, об/мин;

i – зазор между валками, мм;

ρ – плотность каучука, кг/м^3 ;

$Пл_n$ – начальная пластичность каучука;

$Пл_k$ – конечная пластичность каучука.

Исходные данные для расчета

№ варианта	D	L	Φ	n	i	Марка каучука	ρ	$Пл_H$	$Пл_K$
1	0,60	2,0	1,20	20	1,6	СКН-40	986	0,05	0,25
2	0,66	2,1	1,30	15	2,0	СКН-40	986	0,10	0,40
3	0,66	2,1	1,30	20	1,5	СКН-40	986	0,15	0,45
4	0,60	1,8	1,20	20	1,2	СКН-40	986	0,10	0,30
5	0,60	2,1	1,20	18	2,0	СКН-26	950	0,05	0,30
6	0,66	2,1	1,25	20	1,5	СКН-26	950	0,10	0,40
7	0,60	2,0	1,22	18	2,0	СКН-26	950	0,15	0,40
8	0,60	2,0	1,30	20	1,5	СКС-30	970	0,10	0,35
9	0,50	1,6	1,20	25	2,0	СКС-30	970	0,05	0,30
10	0,66	2,1	1,20	22	1,5	СКС-30	970	0,10	0,48

ЧЕРВЯЧНЫЕ МАШИНЫ

Наиболее широкое применение червячные машины получили в процессах переработки пластических масс и резиновых смесей, где они используются для проведения различных технологических операций (экструзии, смешения, гранулирования и т.д.).

Помимо самостоятельного применения червячные узлы входят в состав экструзионно-выдувных и литьевых машин.

Независимо от технологического назначения любая червячная машина (рис. 6) состоит из цилиндра 4, имеющего каналы 5 для подачи хладагента (жидкость, воздух), электронагревателей 6 для позионного регулирования температуры цилиндра, одного или двух червяков 3, головки для формирования профиля выдавливаемого материала 1, загрузочной воронки с бункером 7 и привода 8. Между головкой и концом цилиндра могут устанавливаться сетки, дроссельные решетки 2 и т.д.

Перерабатываемый материал в виде гранул, порошка или ленты поступает в машину через загрузочную воронку и по мере продвижения вдоль цилиндра уплотняется, переходит в вязкопластическое состояние под воздействием температуры и сдвиговых деформаций в канале червяка и выдавливается через формующую головку.

В соответствии с претерпеваемыми физическими превращениями материала в червячной машине принято различать три зоны по длине цилиндра: зону загрузки l_1 , где материал находится в твердом состоянии; зону плавления (сжатия) l_2 , в конце которой материал переходит в вязкопла-

стическое состояние; зону дозирования l_3 , где материал нагревается до температуры формования.

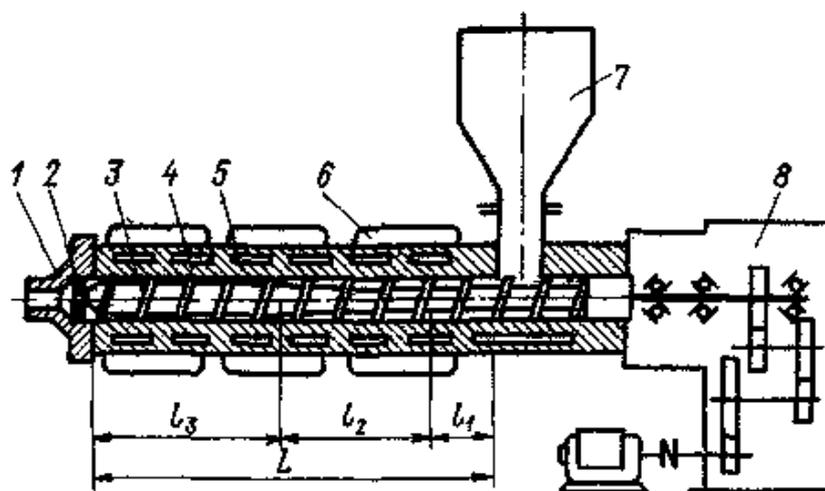


Рис. 6. Схема червячной машины

Главным рабочим органом машины является червяк. Конструкция червяка характеризуется следующими основными геометрическими параметрами (рис. 7): наружным диаметром D , длиной рабочей части L , шагом нарезки t_1 и t_3 или углом подъема винтовой линии ϕ , глубиной нарезки h_1 и h_3 , шириной гребня нарезки e , числом заходов нарезки i и величиной геометрической компрессии A_2 , шириной нарезки канала b .

За рабочую длину червяка принимается длина нарезной части, отсчитываемая от передней кромки загрузочного отверстия. Длина загрузочного отверстия равна $(1,5 \div 2,0) \cdot D$.

По рабочей длине червяка в общем случае различают три геометрические зоны (рис. 7): зону загрузки L_1 ; зону сжатия L_2 ; зону дозирования L_3 . Длины геометрических зон червяка могут не совпадать с длинами технологических зон машины.

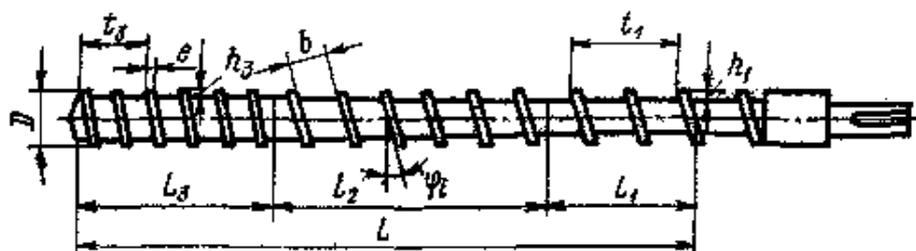


Рис. 7. Геометрические характеристики червяка

Диаметры червяка D и отношение L/D нормализованы. Диаметр червяка следует выбирать из следующего параметрического ряда: 20, 32, 45, 63, 90, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 450, 500 мм. Отношение $L/D=20$; 25 для типовых одночервячных универсальных прессов при переработке термопластов; $L/D=30$ для специальных червячных прессов; $L/D=12\div 18$ для литевых машин при переработке реактопластов; $L/D=3$; 4; 5 для одночервячных прессов при переработке горячих резиновых смесей; $L/D=8$; 10; 12 при переработке холодных резиновых смесей и $L/D=12$; 15 для двухчервячных прессов.

Конструкция червяка в большинстве случаев предусматривает плавное или ступенчатое уменьшение объемов межвиткового пространства от зоны загрузки до формирующей головки. Создается это за счет уменьшения глубины или шага нарезки червяка и характеризуется величиной геометрической компрессии A_2 . Для одночервячной машины

$$A_2 = \frac{h_1}{h_3} \cdot \frac{(t_1 - i_1 \cdot e_1) \cdot \cos \varphi_3}{(t_3 - i_3 \cdot e_3) \cdot \cos \varphi_1} \cdot \frac{D_{cp1}}{D_{cp3}},$$

где D_{cp} – средний диаметр нарезки;

$$\varphi = \arctg\left(\frac{t}{\pi \cdot D}\right) - \text{угол подъема нарезки.}$$

Червяки одночервячных машин выполняются обычно с постоянным шагом t и переменной глубиной нарезки h . Число заходов нарезки червяка при переработке термопластов $i=1$; для резин $i=1$; 2.

При $t = \text{const}$ и $i = \text{const}$ можно принять

$$A_2 = 0,93 \cdot (h_1 / h_3).$$

С переменным шагом t и $h = \text{const}$ делаются червяки больших диаметров ($D \geq 160$) для машин по переработке резин. В этом случае

$$A_2 = t_1 / t_3.$$

При выборе величины геометрической компрессии можно ориентироваться на следующие рекомендации: $A_2 = 2,5 \div 4,5$ для термопластов; $A_2 = 5 \div 6$ для фторопласта; $A_2 = 1,2 \div 1,35$ для резин; $A_2 = 0,8 \div 1,1$ для реактопластов.

Шаг нарезки червяков выбирается из следующих значений: $t = (0,8 \div 1,2) \cdot D$ для переработки термопластов; $t = (0,4 \div 0,6) \cdot D$ для переработки резиновых смесей. В крупных машинах при переработке резин шаг нарезки плавно уменьшается от $t_1 = (0,9 \div 1,0) \cdot D$ до $t_3 = (0,6 \div 0,7) \cdot D$.

У типовых червяков для переработки термопластов принят шаг нарезки $t = D$.

Глубина нарезки в зоне загрузки для переработки термопластов $h_1 = (0,12 \div 0,16) \cdot D$; для резин $h_1 = (0,17 \div 0,25) \cdot D$.

Ширина гребня нарезки принимается равной $e = (0,05 \div 0,12) \cdot D$.

В условиях переработки большинство полимеров при достижении пластичного состояния ведет себя как аномально-вязкие (псевдопластичные) жидкости, напряжение сдвига у которых, в отличие от ньютоновских жидкостей, возрастает не пропорционально скорости деформации. Наиболее простой зависимостью, связывающей напряжение сдвига τ и градиент скорости деформации $\dot{\gamma}$, является степенной закон

$$\tau = \mu_1 \cdot (\dot{\gamma})^m,$$

где μ_1 – коэффициент консистентной вязкости, Па·с;

$m < 1$ – показатель степени, характеризующий отклонение поведения материала от ньютоновского.

При инженерных расчетах оборудования для переработки полимеров обычно пользуются не напряжением сдвига, а так называемой эффективной вязкостью μ_e , которую можно представить как

$$\mu_e = \mu_1 \cdot (\dot{\gamma})^{m-1}.$$

Для приближенной характеристики текучести различных марок термопластичных материалов применяют условный показатель текучести расплава ПТР, представляющий собой количество материала, г, вытекшее из капилляра под действием груза за 10 мин.

Объемная производительность одночервячной машины при проверочном расчете определяется по зоне дозирования. При этом материал рассматривают как ньютоновскую жидкость с эффективной вязкостью, взятой при средней скорости сдвига и средней температуре в зоне в условиях ламинарного течения. При таких допущениях объемная производительность может быть рассчитана по уравнению

$$V = V_g \cdot n - K_p \cdot \frac{\Delta p}{\mu_k} - K_z \cdot \frac{\Delta p}{\mu_z}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где V_g – объем межвиткового пространства по длине шага нарезки, м³;

K_p, K_z – коэффициенты геометрической формы канала червяка и кольцевого канала зазора между гребнем витка и цилиндром, м³;

μ_k, μ_z – эффективные вязкости расплава в канале червяка и в зазоре, Па·с;

n – частота вращения червяка, c^{-1} ;

Δp – перепад давления в зоне дозирования, определяемый величиной сопротивления формующей головки, Па.

При расчете производительности червяков с постоянной глубиной нарезки в зоне дозирования значения V_g, K_p, K_z рассчитываются по следующим формулам:

$$V_g = \frac{\pi \cdot D \cdot h_3 \cdot (t - i \cdot e) \cdot \cos^2 \varphi}{2} \cdot \Phi_g;$$

$$K_p = \frac{h_3^3 \cdot (t - i \cdot e) \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi}{12 \cdot L_3} \cdot \Phi_p;$$

$$K_z = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3 \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \varphi}{10 \cdot e \cdot i \cdot L_3},$$

где δ – величина радиального зазора между цилиндром и червяком, мм;
 Φ_g, Φ_p – форм-факторы, учитывающие тормозящее влияние боковых стенок, зависящие от относительного размера сечения винтового канала h/b .

Значения форм-факторов могут быть найдены из выражений:

$$\Phi_g = 0,125 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 - 0,625 \cdot \frac{h}{b} + 1;$$

$$\Phi_p = 0,13 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 - 0,71 \cdot \frac{h}{b} + 1.$$

Значения μ_k и μ_z определяются из реологических кривых течения при средней температуре в зоне дозирования или рассчитываются при известных реологических константах μ_1 и m .

Скорость сдвига в канале червяка определяется по формуле

$$\dot{\gamma}_k = \frac{\pi^2 \cdot (D - h_{cp}) \cdot (D - 2 \cdot h_{cp}) \cdot n}{h_{cp} \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot (D - 2 \cdot h_{cp})^2 + t^2}}, c^{-1},$$

а в зазоре – по формуле

$$\dot{\gamma}_z = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n}{\delta \cdot (\pi^2 \cdot D^2 + t^2)},$$

где h_{cp} – средняя глубина нарезки в зоне дозирования.

Индикаторная или полезная мощность, затрачиваемая в червячной машине на переработку полимерного материала,

$$N_{инд} = N_1 + N_2 + N_3 + N_2,$$

где N_1, N_2, N_3, N_2 – расход мощности соответственно в зоне загрузки, плавления, дозирования, в формующей головке.

Величиной N_1 вследствие ее сравнительной малости можно пренебречь.

Мощность, расходуемая в зоне плавления,

$$N_2 = N'_2 + N''_2,$$

где N'_2 – мощность, затрачиваемая на трение и диссипацию энергии в зазоре δ_0 между цилиндром и поверхностью пробки твердого (на расплавившегося) материала, Вт;

N''_2 – мощность, затрачиваемая в зазоре δ между цилиндром и гребнем витка, Вт.

Первая составляющая мощности

$$N'_2 = \mu_3 \cdot \Delta w_{np}^2 \cdot \frac{t - i \cdot e}{2 \cdot \delta_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cdot l_2,$$

где Δw_{np}^2 – скорость перемещения пробки твердой фазы полимера по отношению к стенке цилиндра, м/с,

$$\Delta w_{np} = \sqrt{(\pi \cdot D \cdot n - w_{np} \cdot \cos \varphi)^2 + (w_{np} \cdot \sin \varphi)^2}.$$

Скорость движения пробки вдоль винтового канала определяется из выражения

$$w_{np} = \frac{G}{\rho_n \cdot b \cdot h_{1cp}},$$

где ρ_n – насыпная плотность материала, кг/м³;

G – массовая производительность машины, кг/с;

h_{1cp} – среднее значение глубины нарезки в зоне загрузки, м.

Величина эффективной вязкости μ_3 определяется при средней температуре пристенного слоя $t_{сл} = (t_u + t_{nl}) / 2$ и среднем градиенте скорости $\dot{\gamma} = \Delta w_{np} / \delta_0$.

Толщина слоя расплава над пробкой материала в межвинтовом пространстве

$$\delta_0 = \frac{2 \cdot (t - i \cdot e)}{\rho_m \cdot w_{np} \cdot \sin \varphi} \cdot \Phi.$$

Величина Φ рассчитывается по формуле

$$\Phi = \frac{\lambda \cdot (t_y - t_{nl})}{c_m \cdot (t_{nl} - t_1) + r_{nl}},$$

где λ – теплопроводность расплава при средней температуре пристенного слоя $t_{cl} = (t_y + t_{nl})/2$;

c_m – удельная теплоемкость твердой фазы полимера при средней температуре $t_{cp} = (t_1 + t_{nl})/2$;

r_{nl} – удельная теплота плавления, Дж/кг;

t_y, t_{nl}, t_1 – соответственно температура стенки цилиндра, плавления и загружаемого материала.

Мощность, диссипируемая в зазоре толщиной δ ,

$$N_2'' = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n^2}{\operatorname{tg} \varphi \cdot \delta} \cdot \mu_3 \cdot i \cdot e \cdot l_2.$$

Эффективная вязкость μ_3 в зазоре δ определяется при температуре пленки $t_{nl} \approx t_y$ и градиенте скорости $\dot{\gamma}_3$.

Мощность в зоне дозирования затрачивается на преодоление трения расплава в канале червяка N_3' и в зазоре между цилиндром и гребнем витка червяка N_3'' :

$$N_3' = \frac{\pi^3 \cdot (t - i \cdot e) \cdot l_3 \cdot I}{t} \cdot \mu_k \cdot n^2.$$

Коэффициент I в общем случае для червяка с переменной глубиной нарезки и шагом $t = \text{const}$ определяется из выражения

$$I = \frac{\pi^2 \cdot D^2 - 4 \cdot t^2}{\pi^2} + \frac{(D + d_3)^3 - (D + d_n)^3}{3 \cdot (d_3 - d_n)} + \frac{2,3 \cdot \pi^2 \cdot D^5}{(t^2 + \pi^2 \cdot D^2) \cdot (h_n - h_3)},$$

где h_n, d_n – соответственно глубина канала и диаметр сердечника в начале зоны дозирования, м;

h_3, d_3 – соответственно глубина канала и диаметр сердечника в конце зоны дозирования, м.

Мощность N_3'' , диссипируемая в зазоре, рассчитывается по формуле

$$N_3'' = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n^2}{\operatorname{tg}\varphi \cdot \delta} \cdot \mu_3 \cdot i \cdot e \cdot l_3.$$

Мощность, диссипируемая в формующей головке,

$$N_2 = V \cdot \Delta p_2.$$

Мощность электродвигателя привода машины

$$N_9 = N_{\text{инд}} / \eta,$$

где η – коэффициент, учитывающий потери энергии в приводе червячной машины, и другие, неучтенные расчетом потери; $\eta = 0,7 \div 0,8$.

При упрощенных расчетах, когда не учитывается мощность, затрачиваемая в зонах загрузки и плавления, КПД машины принимают $\eta = 0,5 \div 0,6$.

Примеры для самостоятельного решения

Рассчитать мощность, теряемую в зоне дозирования одночервячной машины, оснащенной типовым червяком с $L/D = 20$ и $t = D$ при переработке полиэтилена низкой плотности ПЭНП и непластифицированного ПВХ. Исходные данные для расчета приведены в табл. 7. Зависимости изменения плотности, теплопроводности и теплоемкости термопластов от температуры, необходимые для решения задач, приведены на рис. 8 – 10.

Таблица 7

Исходные данные для расчета

№ вар.	G , кг/ч	Марка материала	Тип червяка	D , мм	h_3 , мм	h_1 , мм	n , с ⁻¹	t_3 , °С	t_4 , °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	30	ПЭВП ПТР-0,3	1А	45	2,2	8,2	1,1	160	220
2			1Б						
3			2А						
4			2Б						
5	45	ПЭНП ПТР-0,3	1А	63	3,0	10,5	1,1	160	200
6			1Б						
7			2А						
8			2Б						
9	90	ПЭНП ПТР-0,3	1А	90	4,0	14,8	0,85	180	240
10			1Б						
11			2А						
12			2Б						

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13	150	ПЭНП ПТР-0,3	1А	125	5,0	17,5	0,72	180	220
14			1Б						
15			2А						
16			2Б						
17	220	ПЭНП ПТР-0,3	1А	160	6,0	21,0	0,53	160	200
18			1Б						
19			2А						
20			2Б						
21	30	ПВХ _{нп}	3А	45	2,5	8,5	1,10	160	190
22	40		3Б	63	3,0	10,5	1,05		
23	90		3А	90	4,2	15,0	0,83		
24	140		3Б	125	5,1	17,6	0,72		
25	230		3А	150	6,1	21,5	0,53		

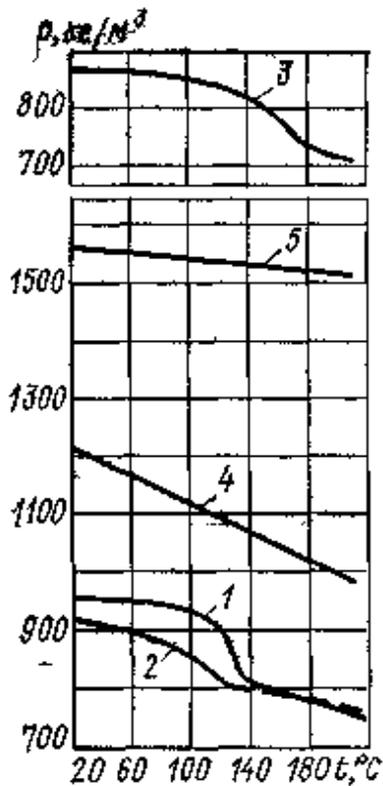


Рис. 8. Зависимость плотности термопластов от температуры:
1 – ПЭВП; 2 – ПЭНП; 3 – ПП; 4 – ПВХ_{пл};
5 – ПВХ_{нп}

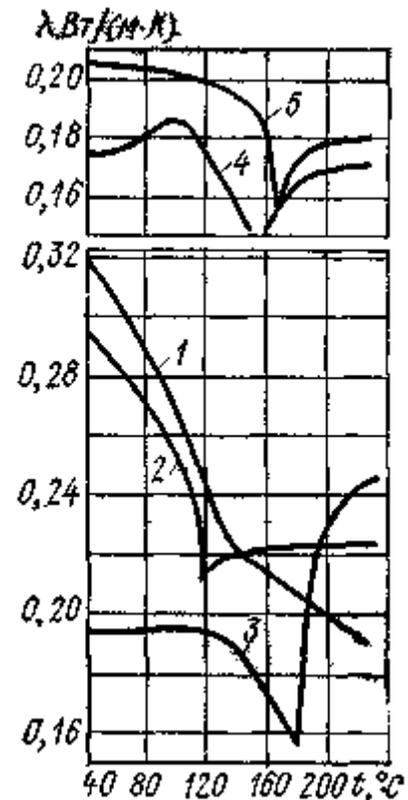


Рис. 9. Зависимость теплопроводности термопластов от температуры:
1 – ПЭВП; 2 – ПЭНП; 3 – ПП; 4 – ПВХ_{пл};
5 – ПВХ_{нп}

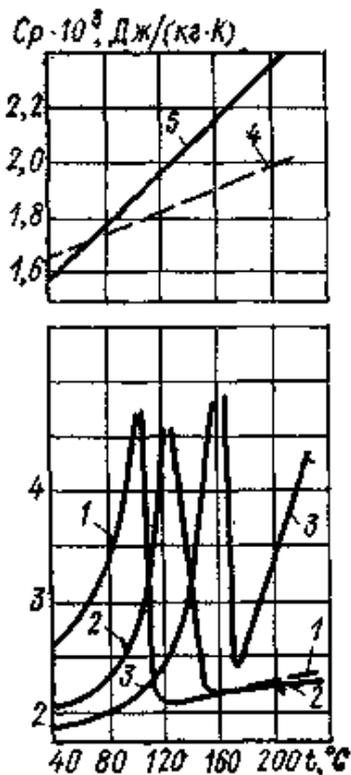


Рис. 10. Зависимость теплоемкости термопластов от температуры:
 1 – ПЭВП; 2 – ПЭНП; 3 – ПП; 4 – ПВХ_{ПВ}; 5 – ПВХ_{НП}

ДРОБИЛЬНО-РАЗМОЛЬНЫЕ МАШИНЫ И ГРОХОТЫ

Дробилки щековые

Щековые дробилки предназначены для крупного и среднего дробления горных пород. По принципу действия они подразделяются на дробилки простого и сложного качания. Измельчение материала происходит путем раздавливания, раскалывания и истирания при поджатии подвижной щеки к неподвижной.

Во избежание выталкивания дробимого материала угол между подвижной и неподвижной щеками (угол захвата α) должен быть $< 2\varphi$, который обычно принимают

$$\alpha \approx 1,4 \cdot \varphi,$$

где φ – угол трения между дробимым материалом и щекой.

У большинства дробилок угол захвата $\alpha = 20^\circ$.

Число n качаний подвижной щеки, соответствующее числу оборотов эксцентрикового вала, обусловлено оптимальным выходом материала из

разгрузочного отверстия и силами инерции качающихся масс. Рекомендуются для расчета следующие уравнения:

- если длина разгрузочного отверстия $l \leq 1$ м, то

$$n = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{\text{tg}\alpha}{\Delta a}}, \text{ об/с};$$

- если длина разгрузочного отверстия $l > 1$ м, то

$$n = \frac{0,85}{l^{2/3}} \cdot \sqrt{\frac{\text{tg}\alpha}{\Delta a}}, \text{ об/с},$$

где Δa – ход щеки у разгрузочного отверстия, м;
 l – длина загрузочного отверстия, м.

Для дробилок простого и сложного качания объемная производительность V рассчитывается по формуле

$$V = n \cdot \frac{(2 \cdot a + \Delta a) \cdot \Delta a}{2 \cdot \text{tg}\alpha} \cdot l, \text{ м}^3/\text{с},$$

где n – число качаний щеки в секунду;
 a – ширина разгрузочного отверстия при минимальном отклонении щек друг от друга, м;
 Δa – ход щеки у разгрузочного отверстия, м;
 l – длина загрузочного отверстия, м.
 Массовая производительность дробилки

$$G = V \cdot \rho_m \cdot \psi,$$

где ρ_m – плотность дробимого материала, кг/м³;
 ψ – коэффициент разрыхления материала; $\psi = 0,3$ – для крупных дробилок и при дроблении твердых пород; $\psi = 0,5 \div 0,7$ – для дробилок средних размеров и при дроблении пород малой твердости.

Для дробилок сложного качания ψ следует увеличивать на 20 – 25 %.

Мощность электропривода дробилки

$$N_э = \frac{A \cdot n}{10^3 \cdot \eta}, \text{ кВт},$$

где A – работа, затрачиваемая на дробление, Дж;
 n – число качаний щеки в секунду;
 $\eta = 0,6 \div 0,7$ – КПД дробилки.

Для дробилок отечественного производства мощность электропривода может быть достаточно точно определена по эмпирической формуле

$$N_{\text{э}} = 39 \cdot n \cdot S^{1,25}, \text{ кВт},$$

где n – число качаний щеки в секунду;

$S = b \cdot l$ – площадь загрузочного отверстия, м²;

b – ширина загрузочного отверстия, м;

l – длина загрузочного отверстия, м.

Максимальное сосредоточенное усилие, возникающее при дроблении материала (рис. 11),

$$P_{\text{max}} = \frac{2 \cdot A}{\Delta a'},$$

где A – работа дробления, Дж;

$\Delta a'$ – ход подвижной щеки в точке приложения силы P_{max} , м.

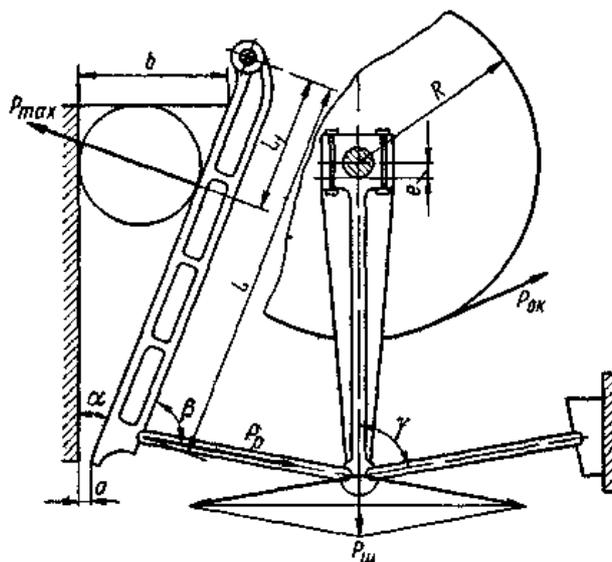


Рис. 11. Распределение усилий в дробилке простого качания

Усилие P_{max} считают обычно сосредоточенным у дробилок простого качания на расстоянии $L_1 = L/3$; у дробилок сложного качания – $L_1 = L/2$.

За длину щеки L принимают расстояние от шарнира подвески щеки до шарнира распорной плиты.

Для дробилок простого качания

$$\Delta a' = \frac{\Delta a}{3} \cdot \cos \alpha;$$

для дробилок сложного качания

$$\Delta a' = \frac{\Delta a + 2 \cdot e}{2} \cdot \cos \alpha,$$

где e – эксцентриситет вала дробилки сложного качания, м.

Усилие, сжимающее распорную плиту,

$$P_p = \frac{P_{\max}}{\sin \beta} \cdot \frac{L_1}{L},$$

где β – угол между подвижной щекой и распорной плитой; $\beta \approx 80^\circ$ – у дробилок простого качания и $50 - 65^\circ$ – у дробилок сложного качания.

Усилие, растягивающее шатун, рассчитывается из условия, что угол между распорной плитой и шатуном $\gamma \approx 80^\circ$. В этом случае

$$P_{ш} = 2 \cdot P_p \cdot \cos \gamma.$$

Щековая дробилка имеет два маховика, служащие аккумуляторами энергии A_m , накапливаемой во время холостого хода подвижной щеки. Можно считать, что энергия, накапливаемая одним маховиком во время холостого хода,

$$A_m = \frac{A}{2} = J \cdot \omega_{cp}^2 \cdot \delta,$$

где $J = m_m \cdot \frac{R^2 + r^2}{2}$ – момент инерции маховика при допущении, что

вся его масса отнесена к ободу, кг·м²;

m_m – масса маховика, кг;

R и r – наружный и внутренний радиусы обода маховика, м;

$\omega_{cp} = 2 \cdot \pi \cdot n$ – средняя угловая скорость маховика, с⁻¹;

$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{cp}} = 0,01 - 0,03$ – степень неравномерности вращения

маховика.

При ориентировочных расчетах, учитывая малую толщину обода маховика по сравнению с его радиусом, можно принимать $R \approx r$. В этом случае момент инерции массы маховика

$$J = m_m \cdot R^2.$$

Примеры для самостоятельного решения

По условиям табл. 8 рассчитать для щековой дробилки массовую производительность, мощность привода и усилие, растягивающее шатун.

Обозначения:

α – угол захвата дробилки, град;

l – длина загрузочного (разгрузочного) отверстия, мм;

b – ширина загрузочного отверстия, мм;

a – ширина разгрузочного отверстия, мм;

Δa – ход щеки у разгрузочного отверстия, мм;

ρ_m – плотность дробимого материала, кг/м³;

ψ – коэффициент разрыхления материала;

e – эксцентриситет вала дробилки сложного качания, мм.

Таблица 8

Исходные данные для расчета

№ вар.	Тип дробилки	α	l	b	a	Δa	ρ_m	ψ	e
1	Простого качания	22	900	1 200	150	25	2 400	0,5	–
2	-«-	19	1 200	1 500	200	30	1 900	0,4	–
3	-«-	21	1 500	2 100	250	35	2 500	0,3	–
4	-«-	20	5 00	300	80	13,5	3 100	0,6	–
5	-«-	23	6 00	900	100	13,5	2 800	0,55	–
6	Сложного качания	17	175	250	30	10	1 850	0,75	10
7	-«-	20	250	400	50	12,5	2 300	0,7	12
8	-«-	20	400	600	80	12,5	1 950	0,65	10
9	-«-	21	250	900	60	15	2 100	0,7	12
10	-«-	20	600	900	150	16	2 200	0,6	19
11	-«-	18	500	800	60	15	2 500	0,3	12
12	-«-	21	450	700	70	20	2 600	0,45	15
13	Простого качания	20	700	1 000	90	15	2 100	0,4	–
14	-«-	22	1 300	2 000	200	30	1 600	0,5	–
15	-«-	19	1 000	1 400	180	25	2 500	0,6	–

Дробилки валковые

Наиболее распространенные двухвалковые дробилки используются для среднего и мелкого дробления твердых и вязких глинистых пород, а также продуктов химической промышленности. Дробящие валки выполняются гладкими, рифлеными или зубчатыми.

На массивной раме в подшипниках укрепляется пара валков, вращающихся в разные стороны. Между валками образуется зазор, которым и определяется размер измельченного материала. Исходный материал поступает на валки сверху и под действием сил трения затягивается ими и раздавливается. Благодаря вращению валков раздавливание сопровождается также и истиранием материала. Для предотвращения поломки валков при поступлении особо прочного материала предусматривается возмож-

ность перемещения одного валка в сторону. Подвижный валок крепится к станине при помощи пружины, которая выбирается с таким расчетом, чтобы при нормальной работе расстояние между валками было равно заданному значению, так что при сжатии пружины валок перемещается в сторону только в аварийном случае. Валки затягивают не всякий материал, а только куски определенных размеров.

Дробилки с гладкими валками применяются для дробления твердых материалов. Максимальный размер загружаемого куска $d = \frac{D}{20}$, где D – диаметр валка. Это соответствует углу захвата $\alpha = 18 \div 20^\circ$. Степень измельчения $i = \frac{d}{a} = 3 \div 4$, где a – зазор между валками (ширина разгрузочного отверстия).

Дробилки с зубчатыми валками применяются в основном для дробления хрупких или вязких глинистых материалов. Для этих дробилок обычно $d = \frac{D}{10}$, $i = 10 \div 12$.

Число оборотов гладких валков в секунду, при котором наблюдается минимальное их проскальзывание относительно материала, рассчитывают по формуле

$$n \leq 100 \cdot \sqrt{\frac{f}{D \cdot d \cdot \rho_m}}, \text{ с}^{-1},$$

где $f = 0,3 \div 0,35$ – коэффициент трения материала;

D – диаметр валка, м;

d – максимальный размер загружаемого куска, м;

ρ_m – плотность материала, кг/м³.

Массовая производительность валковой дробилки, учитывая, что ширина разгрузочной щели при поджатии пружин увеличивается примерно на 25 %, рассчитывается по формуле

$$G_m = 1,25 \cdot \pi \cdot n \cdot D \cdot l \cdot a \cdot \rho_m \cdot \psi, \text{ кг/с},$$

где $l = (0,5 \div 0,7) \cdot D$ – длина валков, м;

a – начальная ширина разгрузочного отверстия, м;

ψ – коэффициент, учитывающий степень разрыхления материала и неполноту использования длины валков; $\psi = (0,2 \div 0,3)$ при дроблении твердых пород; $\psi = (0,4 \div 0,6)$ при измельчении вязких глинистых материалов.

Мощность электропривода дробилки рассчитывается по формуле

$$N_{\text{э}} = 720 \cdot l \cdot D \cdot n \cdot \left(d + \frac{D^2}{120} \right), \text{ кВт},$$

где l – длина валков, м;

D – диаметр валков, м;

d – максимальный размер загружаемых кусков, м;

n – число оборотов валков в секунду.

При дроблении пород средней твердости можно пользоваться эмпирическим уравнением

$$N_{\text{э}} = 150 \cdot D \cdot l \cdot n \cdot K_1, \text{ кВт},$$

где $K_1 = 0,06 \cdot i + 0,15$ – коэффициент, учитывающий степень измельчения.

При дроблении материалов, близких к свойствам каменных углей, для расчета мощности рекомендуется уравнение

$$N_{\text{э}} = 0,43 \cdot G_{\text{м}} \cdot i, \text{ кВт},$$

где $G_{\text{м}}$ – производительность дробилки, кг/с.

Распорное усилие (рис. 12), возникающее при дроблении материала в гладковалковой дробилке, ориентировочно можно определить по формуле

$$P = K_2 \cdot D \cdot l \cdot \sigma, \text{ Н}$$

где K_2 – коэффициент, учитывающий площадь контакта материала с валками,

K_2	0,002	0,003	0,0056
D , мм	< 500	500 – 900	> 900

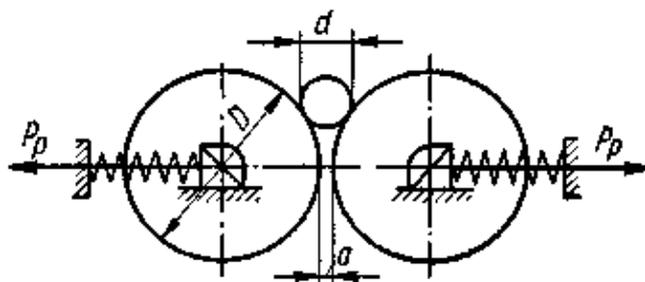


Рис. 12. Распорное усилие в валковой дробилке

σ – предел прочности дробимого материала, Н/м^2 ; $\sigma = 16 \cdot 10^7$ для твердых материалов; $\sigma = 4,5 \cdot 10^7$ для вязких (глинистых) материалов.

Примеры для самостоятельного решения

По условиям табл. 9 рассчитать массовую производительность, мощность привода и распорные усилия при дроблении в гладковалковой дробилке твердого материала.

Обозначения:

d – максимальный размер загружаемых кусков, мм;

D – диаметр валков дробилки, мм;

l – длина валков, мм;

ρ_m – плотность материала, кг/м³;

ψ – коэффициент разрыхления материала;

i – степень измельчения материала.

Таблица 9

Исходные данные для расчета

№ варианта	d	D	l	ρ_m	ψ	i
1	50	1 200	600	2 400	0,25	3
2	80	1 600	800	1 900	0,30	4
3	18	400	200	2 500	0,20	3
4	10	200	150	3 100	0,27	4
5	60	1 200	700	2 800	0,22	3
6	47	1 000	600	1 850	0,25	4
7	40	900	500	2 300	0,30	3
8	37	800	500	1 950	0,28	4
9	35	750	500	2 100	0,25	3
10	50	1 050	700	2 200	0,30	4
11	32	650	400	2 500	0,20	3
12	30	600	400	2 600	0,26	4
13	27	550	350	2 100	0,30	3
14	42	850	500	1 600	0,25	4
15	47	950	600	2 500	0,30	3
16	35	800	500	2 000	0,20	3
17	60	1 200	600	2 000	0,20	4
18	80	1 700	850	1 800	0,30	3
19	20	420	210	2 300	0,20	4
20	10	210	105	3 000	0,25	3

Шаровые мельницы

Шаровые мельницы предназначены для измельчения материала путем дробления и истирания падающими мелющими телами (шарами, стержнями, галькой).

Максимальный размер загружаемых кусков должен быть $d \leq \frac{D}{20}$, где

D – диаметр барабана мельницы.

Масса мелющих тел, загружаемых в барабан мельницы,

$$m_T = V_{\delta} \cdot \beta \cdot \varphi \cdot \rho_T,$$

где V_{δ} – рабочий объем барабана, м³;

$\beta = 0,3 \div 0,4$ – коэффициент заполнения мельницы;

φ – коэффициент, учитывающий долю объема, занимаемого мелющими телами; для шаров и стержней можно принимать $\varphi = 0,65$;

ρ_T – плотность материала мелющих тел, кг/м³.

Загружаемый для размола материал заполняет пространство между мелющими телами и покрывает их сверху тонким слоем. При этом масса материала в мельнице при заполнении барабана металлическими мелющими телами составляет

$$m_M = (0,1 \div 0,12) \cdot m_T;$$

при заполнении барабана керамическими телами $m_M \approx m_T$.

Общая масса загрузки барабана

$$m_3 = m_T + m_M.$$

Число оборотов барабана мельницы в секунду, соответствующее наиболее эффективному измельчению,

$$n = \frac{0,53}{\sqrt{D}}, \text{ об/с,}$$

где D – внутренний диаметр барабана, м.

Мощность, затрачиваемая на размол материала, определяется работой подъема загруженной массы и сообщаемой ей кинетической энергией.

Работа подъема загрузки на оптимальную высоту $h = 1,13 \cdot R$, соответствующую наиболее эффективному размолу,

$$A_1 = m_3 \cdot h \cdot g = 1,13 \cdot m_3 \cdot R \cdot g, \text{ Дж.}$$

Кинетическая энергия, сообщаемая загрузке,

$$A_2 = \frac{m_3 \cdot w^2}{2} = \frac{m_3 \cdot (\omega \cdot R_0)^2}{2} = 2 \cdot \pi^2 \cdot m_3 \cdot n^2 \cdot R_0^2,$$

где $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$ – угловая скорость вращения барабана, с⁻¹;

$R_0 = 0,785 \cdot R$ – радиус центра массы поднимающихся шаров, м.

Мощность, затрачиваемая на размол,

$$N_p = \frac{(A_1 + A_2) \cdot n \cdot z}{10^3}, \text{ кВт},$$

где z – число циклов подъема и падения массы загрузки на один оборот барабана.

Число циклов зависит от коэффициента заполнения барабана

$$z = 2,23 \cdot \beta^{0,24}.$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление трения в цапфах мельницы, может достигать 10 – 15 % рабочей мощности N_p .

Потери мощности на трение в одной цапфе мельницы

$$N_{mp} = \frac{P_p \cdot f \cdot w_{ц}}{10^3}, \text{ кВт}$$

где P_p – реакция опоры, Н;

$f = 0,07 \div 0,1$ – коэффициент трения;

$w_{ц}$ – окружная скорость вращения цапфы, м/с.

Мощность электропривода мельницы

$$N_э = \frac{N_p + \sum N_{mp}}{\eta},$$

где η – КПД привода.

Мощность электропривода с достаточной точностью может быть также рассчитана по эмпирической формуле

$$N_э = \frac{C \cdot m_з \cdot \sqrt{R}}{10^3 \cdot \eta}, \text{ кВт}.$$

Значения коэффициента C для гладкой футеровки барабана в зависимости от вида мелющих тел и коэффициента заполнения приведены в табл.10.

Таблица 10

Зависимость коэффициента C от коэффициента заполнения β

Вид мелющих тел	Коэффициент заполнения β				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Кремниевая галька	13,85	12,75	11,45	9,9	8,1
Стальные шары:					
крупные	12,4	11,45	10,3	8,85	7,30
мелкие	12,0	11,0	9,9	8,55	7,07

При рифленой футеровке или при наличии выступов значение коэффициента C следует увеличить на 10 %.

В момент пуска шаровой мельницы реакция одной опоры определяется массой барабана и полной массой загрузки

$$P_p = \frac{(m_{\delta} + m_3) \cdot g}{2}.$$

Во время работы трение в цапфах обусловлено массой барабана, массой части загрузки, поднимающейся вверх, и ее центробежной силой. При оптимальной загрузке ($\beta = 0,4$) в стадии подъема находится $0,538 \cdot m_3$. В этом случае (рис. 13) реакция одной опоры

$$P_p = \frac{\sqrt{(m_{\delta} \cdot g + 0,538 \cdot m_3 \cdot g + P_{ц} \cdot \sin \gamma)^2 + (P_{ц} \cdot \cos \gamma)^2}}{2},$$

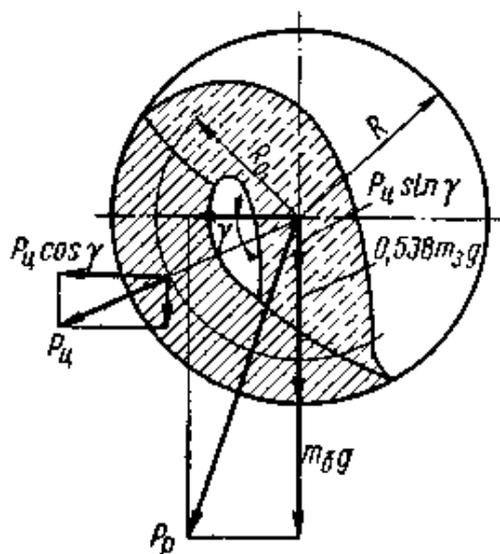


Рис. 13. Распределение усилий в шаровой мельнице

где $P_{ц} = 0,538 \cdot m_3 \cdot \omega^2 \cdot R_0$ – центробежная сила от массы загрузки, поднимающейся вверх, Н;

ω – угловая скорость вращения барабана, c^{-1} ;

R_0 – радиус центра массы, м;

$\gamma \approx 25^\circ$ – угол между горизонталью и направлением центробежной силы.

Производительность шаровых мельниц пропорциональна затраченной на размол работе и ориентировочно может быть подсчитана по формуле

$$G = q \cdot N_p, \text{ кг/с},$$

где N_p – рабочая мощность, Вт;

q – удельная производительность, представляющая собой количество материала, размолотого при затрате 1 Дж энергии, кг/Дж.

Значения удельной производительности зависят от вида размалываемого материала. Для шихты из мела и глины $q = (4,2 \div 7) \cdot 10^{-5}$ кг/Дж.

Рабочая мощность $N_p = N_э$. При использовании эмпирической формулы за рабочую мощность можно принять $N_p = (0,85 \div 0,9) \cdot N_э$.

Примеры для самостоятельного решения

По данным табл. 11 рассчитать мощность привода мельницы и ее производительность.

Обозначения:

$m_б$ – масса барабана мельницы без мелющих тел, кг;

D – диаметр барабана, мм;

L/D – отношение длины барабана к его диаметру;

β – коэффициент заполнения барабана;

$d_ц$ – диаметр цапф, мм.

Плотность стали – 7 860 кг/м³; керамики – 2 500 кг/м³.

Таблица 11

Исходные данные для расчета

№ варианта	$m_б$	D	L/D	β	$d_ц$	Материал мелющих тел
1	5 000	1 000	1,30	0,40	300	керамика
2	10 450	1 300	1,40	0,25	350	сталь
3	12 000	1 300	1,53	0,30	350	сталь
4	12 200	1 600	1,25	0,50	400	керамика
5	16 500	1 800	1,60	0,40	500	сталь
6	12 000	1 800	1,30	0,35	500	сталь
7	23 500	2 000	1,40	0,40	600	сталь
8	28 000	2 400	1,80	0,35	750	керамика
9	36 000	2 400	1,50	0,25	700	сталь
10	25 000	1 800	1,65	0,45	550	сталь
11	74 800	2 800	1,32	0,30	750	сталь
12	40 000	2 400	1,25	0,35	600	керамика
13	5 950	1 000	1,50	0,50	300	сталь
14	14 000	2 600	1,40	0,40	400	сталь
15	21 200	2 000	1,60	0,35	600	сталь

Грохоты

Грохоты применяются для сортировки сыпучего материала с целью:

- выделения из материала, предназначенного для дробления, кусков, размеры которых превышают максимально допустимые для данной машины;
- отделения кусков, размеры которых меньше или больше требуемых на данной стадии обработки;
- разделения измельченного материала по крупности на несколько сортов, что бывает необходимо при составлении смеси (шихты) в отдельных пропорциях из частиц разных размеров.

Плоские качающиеся грохоты

Плоские качающиеся грохоты представляют собой прямоугольные короба с набором решет, шарнирно подвешенные на тягах; выполняются как с горизонтальным, так и с наклонным расположением решет; приводятся в колебательное движение от коленчатого вала или эксцентрика.

Максимальный размер частиц, проваливающихся через отверстие горизонтального решета, обычно принимают $d = 0,8 \cdot d_o$.

Для наклонного решета

$$d \leq d_o \cdot \cos \alpha - \delta \cdot \sin \alpha,$$

где d_o – диаметр отверстий в решетке, м;

$\alpha = 10 \div 20^\circ$ – угол наклона решета, м;

$\delta = (0,6 \div 0,8) \cdot d_o$ – толщина решета, м.

Предельная скорость движения грохота, при которой еще может происходить грохочение,

$$w_{\max} = 2,36 \cdot \sqrt{d}, \text{ м/с},$$

где d – максимальный размер проваливающихся частиц, м.

Число оборотов коленчатого (эксцентрикового) вала

$$n = \frac{w_{\max}}{2 \cdot \pi \cdot e}, \text{ об/с},$$

где e – радиус кривошипа или эксцентриситет вала, м.

Производительность грохота по загружаемому материалу

$$G = h \cdot b \cdot \omega_m \cdot \rho_m \cdot \psi,$$

где h – высота слоя материала на решетке, м;

b – ширина короба грохота, м;

$\omega_m = (0,2 \div 0,5)$ – скорость движения материала по грохоту, м/с;

ρ_m – плотность материала, кг/м³;

$\psi = (0,3 \div 0,6)$ – коэффициент разрыхления материала.

Высоту слоя материала при крупном грохочении принимают равной размеру максимальных кусков. При мелком грохочении можно брать $h = 4 \cdot d_o$.

Мощность N_g привода плоского качающегося грохота в основном определяется работой A_1 , затрачиваемой на сообщение кинетической энергии поступательно движущейся массе грохота; работой A_2 , затрачиваемой

на трение в эксцентрике, и мощностью N_{mp} , расходуемой на преодоление трения материала о грохот.

$$N_{\text{э}} = \frac{(A_1 + A_2) \cdot n + N_{mp}}{10^3 \cdot \eta}, \text{ кВт},$$

$$A_1 = 4 \cdot (m_u + m_m) \cdot (\pi \cdot n \cdot e)^2, \text{ Дж},$$

где n – число оборотов вала в секунду;

e – эксцентриситет вала, м.

Работа трения в эксцентрике

$$A_2 = P_u \cdot f_{\text{э}} \cdot \pi \cdot d_{\text{э}}, \text{ Дж},$$

где $P_u = m_k \cdot \omega^2 \cdot e$ – сила инерции колеблющихся масс, Н;

$f_{\text{э}}$ – коэффициент трения в эксцентрике;

$d_{\text{э}}$ – диаметр эксцентрика, м.

Мощность, затрачиваемая на преодоление трения материала о грохот, учитывая, что материал имеет некоторое движение по грохоту, рассчитывается по формуле

$$N_{mp} = m_m \cdot g \cdot f_m \cdot w_m \cdot \cos \alpha, \text{ Вт},$$

где m_m – масса материала, кг;

f_m – коэффициент трения материала;

w_m – скорость движения материала по грохоту, м/с;

α – угол наклона решета, град.

Барабанные грохоты

Барабанные грохоты состоят из нескольких перфорированных обечеек, имеющих отверстия различных диаметров. Ось барабана имеет угол наклона к горизонтали $3 - 7^\circ$. Барабан крепится к центральному валу, имеющему две опоры.

Число оборотов барабана, обеспечивающее наиболее эффективное грохочение материала,

$$n = \frac{0,2}{\sqrt{R}}, \text{ об/с},$$

где R – внутренний радиус барабана, м.

Объемная производительность грохота

$$V = S \cdot w_m, \text{ м}^3/\text{с},$$

где w_m – скорость движения материала вдоль грохота, м/с,

$$w_m = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot n \cdot \frac{\alpha}{\sin \varphi},$$

α – угол наклона барабана к горизонтали, рад;

φ – угол естественного откоса материала (угол трения), град;

S – площадь сечения барабан, занятая материалом, м²,

$$S = 1,9 \cdot \sqrt{R \cdot h^3};$$

h – высота слоя материала в грохоте, м; $h \leq 0,3 \cdot R$ – при прохождении крупнокускового материала, м; $h = 10 - 25$ мм при грохочении мелко-го сыпучего материала.

Мощность электропривода грохота

$$N_{\text{э}} = \frac{\sum M \cdot \omega}{\eta}, \text{ Вт},$$

где $\sum M$ – суммарный момент сил, действующих в грохоте, Н·м;

ω – угловая скорость вращения грохота, с⁻¹;

η – КПД привода грохота, $\eta = 0,7 \div 0,8$.

Для грохота с опорами на центральном валу суммарный момент сил (рис. 14)

$$\sum M = M_1 + M_2 + M_3,$$

где $M_1 = m_m \cdot g \cdot \sin \gamma \cdot R_0$ – момент подъема материала, Н·м;

$M_2 = P_{\text{ц}} \cdot R = (P_{\text{ц}} + m_m \cdot g \cdot \cos \gamma) \cdot f_m \cdot R$ – момент от силы трения материала о стенку барабана, Н·м;

$M_3 = (m_{\text{б}} + m_m) \cdot g \cdot f \cdot \frac{d_{\text{в}}}{2}$ – момент от сил трения на двух опорах барабана, Н·м.

В уравнениях моментов обозначены:

$P_{\text{ц}} = m_m \cdot \omega^2 \cdot R_0$ – центробежная сила от массы материала, Н;

R_0 – радиус центра массы материала, м (учитывая небольшую величину h , можно принимать $R_0 = R$);

f_m – коэффициент трения материала о стенки грохота;

f – коэффициент трения скольжения в цапфах вала;

$d_{\text{в}}$ – диаметр вала, м.

Угол подъема материала обычно превышает угол φ на $5 - 10^\circ$ и составляет $40 - 45^\circ$.

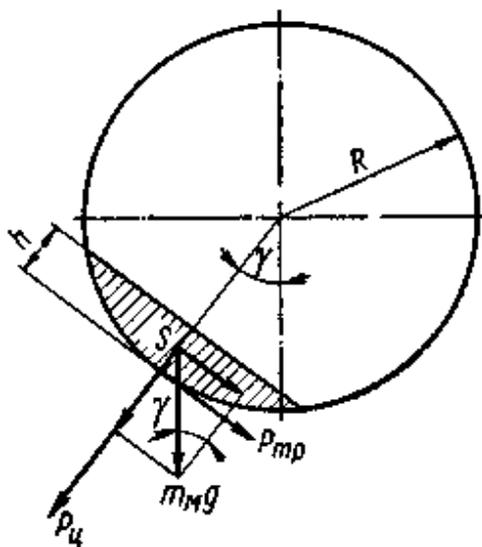


Рис. 14. Усилия, действующие в барабанном грохоте

Вибрационные (инерционные) грохоты

Вибрационные (инерционные) грохоты рационально применять при грохочении мелкого материала (с размерами частиц до 35 мм). Подвижная часть грохота с набором сит подвешивается к станине на пружинах. Сита могут быть горизонтальными или наклонными. Вибрации ситам передаются от вращающихся сдвоенных или одиночных дебалансов. Сдвоенные дебалансы обеспечивают наиболее спокойную работу грохота.

Эффективное грохочение материала наблюдается при ускорениях колеблющихся частей грохота

$$a = \omega^2 \cdot e = 10 \div 25 \text{ м/с}^2,$$

где ω – угловая скорость дебалансных валов, с^{-1} .

Амплитуды колебаний грохота обычно лежат в пределах

$$e = 0,001 \div 0,003 \text{ м.}$$

Колебания грохота определяются центробежной силой дебалансов

$$P_{ц} = m_{\partial} \cdot \omega^2 \cdot r,$$

где m_{∂} – масса дебалансов, кг (при сдвоенных дебалансах учитывается масса обоих дебалансов);

r – радиус центра массы дебаланса, м.

Масса одного дебаланса

$$m'_0 = \frac{m_k \cdot e}{2 \cdot r}, \text{ кг,}$$

где m_k – масса колеблющихся частей грохота, включая и материал, кг.

Вибрационный (инерционный) грохот может работать в условиях, близких к резонансу. В этом случае упругая постоянная пружины (сила, обеспечивающая деформацию пружины в 1 м)

$$k = \frac{m_k \cdot g}{z \cdot a_{cm}} = \frac{m_k \cdot \omega^2}{z}, \text{ Н/м,}$$

где z – число пружин грохота;

a_{cm} – статическая деформация пружины от массы грохота, м.

$$a_{cm} = \frac{m_k \cdot g}{z \cdot k} = \frac{g}{\omega^2}, \text{ м.}$$

Мощность привода грохота может быть рассчитана по формуле

$$N_9 = \frac{(A_1 + A_2) \cdot n}{10^3 \cdot \eta}, \text{ кВт.}$$

Кинетическая энергия, сообщаемая колеблющимся массам,

$$A_1 = m_k \cdot w^2 = m_k \cdot \omega^2 \cdot e^2, \text{ Дж.}$$

В условиях резонанса учитывается только работа A_2

$$N_9 = \frac{A_2 \cdot n}{10^3 \cdot \eta}, \text{ кВт.}$$

При расчете работы A_2 вместо силы инерции P_u необходимо брать центробежную силу дебалансов

$$A_2 = P_u \cdot f \cdot \pi \cdot d_e, \text{ Дж.}$$

Центробежная сила дебалансов связана с упругой постоянной пружин и амплитудой колебаний грохота соотношением, справедливым также и при работе без резонанса

$$P_u = k \cdot z \cdot e, \text{ Н.}$$

Примеры для самостоятельного решения

По условиям табл. 12 рассчитать мощность электропривода грохота.

Обозначения:

G – производительность грохота, кг/с;

L – длина короба грохота, м;
 b, D – ширина короба или диаметр барабана грохота, м;
 h – толщина слоя материала в грохоте, мм;
 m_2 – масса грохота, кг;
 α – угол наклона грохота, град;
 e – эксцентриситет вала грохота, мм;
 $d_э, d_б$ – диаметр эксцентрика или центрального вала грохота, мм;
 ρ_n – насыпная плотность материала, кг/м³;
 f_m – коэффициент трения материала;
 d_{max} – максимальный размер просеиваемых частиц, мм.

Варианты 1 – 8 – плоский качающийся наклонный грохот с эксцентриковым приводом.

Варианты 9 – 15 – барабанный грохот с опорами на центральном валу.

Таблица 12

Исходные данные для расчета

№ вар.	G	L	b, D	h	m_2	α	e	$d_э, d_б$	ρ_n	f_m	d_{max}
1	29,0	7,0	1,5	100	250	10	40	120	1 300	0,35	30
2	25,0	6,5	1,5	100	230	15	40	120	1 200	0,30	30
3	19,0	5,0	1,3	80	200	12	40	110	1 400	0,25	25
4	20,0	4,5	1,2	80	185	18	30	100	1 600	0,40	25
5	10,5	4,0	1,2	70	170	15	30	90	1 150	0,45	23
6	8,5	4,0	1,0	70	165	8	25	90	1 200	0,35	22
7	7,5	3,5	1,0	65	160	10	25	80	1 400	0,40	20
8	6,0	3,0	0,95	50	150	15	20	60	1 600	0,25	20
9	–	6,0	1,0	130	560	3	–	60	1 200	0,35	–
10	–	6,0	0,8	115	400	4	–	50	1 350	0,40	–
11	–	5,0	0,8	115	360	5	–	50	1 100	0,45	–
12	–	4,0	0,8	100	320	4	–	50	1 080	0,30	–
13	–	5,0	0,6	85	185	6	–	45	1 400	0,35	–
14	–	4,0	0,6	80	160	7	–	45	1 200	0,45	–
15	–	3,0	0,6	90	135	5	–	45	1 300	0,50	–

СМЕСИТЕЛИ ДЛЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Смешение сыпучих полимерных материалов

Под названием «сыпучий материал» понимается совокупность мелких твердых частиц. В зависимости от размеров и формы частиц сыпучий материал может быть в пылевидном, порошкообразном, зернистом и кусковом видах.

Смешение твердых сыпучих материалов заключается в пространственной перегруппировке частиц компонентов, происходящей под внешним механическим воздействием и продолжающейся до достижения заданной степени однородности смеси.

Качество получаемых механических смесей оценивается коэффициентом неоднородности K_c (в %), определяемым по формуле

$$K_c = \frac{100}{c_0} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^i (c_i - c_0)^2 \cdot n_i}{n-1}},$$

где c_i – значение концентрации одного из компонентов в пробах, % масс.;

c_0 – значение концентрации этого же компонента при идеально равномерном распределении, % масс.;

i – число групп проб ($i = \frac{n}{n_i}$);

n_i – число проб в каждой группе одинаковых значений c_i ;

n – общее число проб.

Величина K_c определяется по тому компоненту, массовая концентрация c_0 которого является наименьшей.

Для получения достоверной оценки качества смешения число проб n должно быть достаточно велико (≥ 10), масса же каждой пробы должна быть, наоборот, мала (~ 1 г).

Чем меньше значение величины коэффициента неоднородности K_c , тем выше степень смешения. При идеальном смешении $K_c \rightarrow 0$.

Материал считается удовлетворительно смешанным при условии $K_c \geq 0,35 \div 0,40$.

Барабанные смесители

Наиболее распространенными в настоящее время механизмами для осуществления процесса смешения сыпучих материалов являются барабанные смесители с вращающимся конусом. Известны шесть основных типов смесительных барабанов с опорой на цапфах: с цилиндрическим (горизонтально и вертикально расположенным) корпусом, с граненым корпусом, с биконическим корпусом, с наклонным корпусом и с бицилиндрическим корпусом. Барабанные смесители относятся к тихоходным машинам (линейная

скорость вращения барабана $0,8 \div 1$ м/с). Рабочее число оборотов (об/мин) в барабанных смесителях $n_{см} \leq \frac{12}{\sqrt{R}}$, где R – радиус барабана, м.

Для смесителей периодического действия производительность G (кг/ч) определяется по формуле

$$G = \frac{60 \cdot V \cdot \varphi \cdot \rho_c}{\tau},$$

где V – объем аппарата, м³;

φ – коэффициент заполнения, равный $0,3 \div 0,5$;

ρ_c – насыпная плотность смеси, кг/м³ (зависит от гранулометрического состава, влажности и способа загрузки материала);

τ – длительность перемешивания, мин,

или по формуле

$$G = \frac{60 \cdot V \cdot \varphi \cdot (\rho_1 \cdot a_1 + \dots + \rho_i \cdot a_i)}{\tau},$$

где ρ_i – насыпная плотность компонентов смеси, кг/м³;

a_i – массовая доля компонентов смеси.

Примеры для самостоятельного решения

Определить основные размеры цилиндрического барабанного смесителя по исходным данным, приведенным в табл. 13.

Обозначения:

G – производительность, кг/ч;

ρ_c – насыпная плотность смеси, кг/м³;

τ – длительность перемешивания, мин;

φ – коэффициент заполнения.

Таблица 13

Исходные данные для расчета

№ варианта	G	ρ_c	τ	L/D	φ
1	500	1 050	15	1,1	0,3
2	2 000	1 800	25	1,2	0,4
3	700	1 300	20	1,3	0,5
4	1 000	1 200	30	1,4	0,4
5	1 500	2 100	25	1,5	0,5
6	500	800	15	1,3	0,3
7	2 000	1 300	40	1,1	0,4
8	1 000	650	30	1,2	0,3
9	750	500	25	1,3	0,5
10	1 200	1 100	35	1,4	1,4

Для приготовления различных композиций из полимерных материалов применяются турбоскоростные, турбошнековые, центробежные смесители.

Центробежные смесители

Центробежные смесители (рис.15) состоят из корпуса 1, внутри которого размещен усеченный конус 2 с лопастями 3, приводимый во вращательное движение от двигателя 4, установленного под корпусом. Основным рабочим элементом смесителя является конус, при вращении которого материал, загруженный внутрь последнего, под действием центробежной силы поднимается по внутренней поверхности его стенок, пересыпается в корпус смесителя и через отверстие 5, имеющееся в нижней части конуса, возвращается на повторную рециркуляцию.

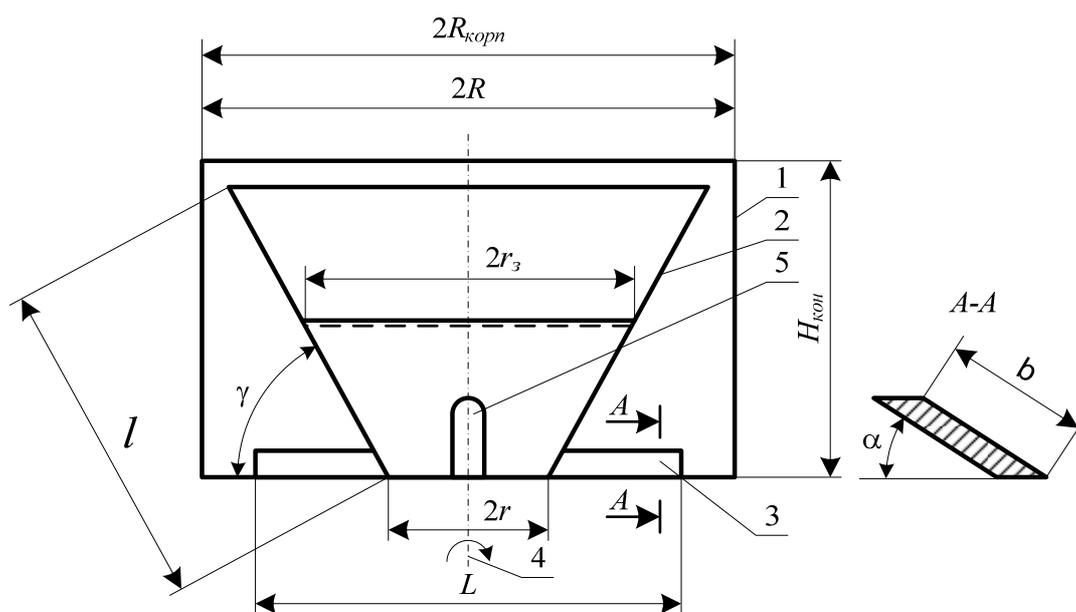


Рис. 15. Схема центробежного смесителя:

1 – корпус; 2 – усеченный конус; 3 – лопасти; 4 – двигатель; 5 – отверстие

Производительность смесителя, работающего по периодическому циклу, определяется по формулам, справедливым для барабанных смесителей.

Для определения производительности того же смесителя при непрерывном процессе необходимо иметь экспериментальные данные о кратности циркуляции.

Мощность, потребляемая смесителем,

$$N = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) \cdot \frac{1}{\eta}, \text{ кВт},$$

где η – КПД смесителя ($\eta = 0,9$);

N_1 – мощность, расходуемая на преодоление сопротивления движению лопастей в сыпучей среде, кВт,

$$N_1 = C \cdot \rho_c \cdot \omega^{1,2} \cdot L^{2,3} \cdot (b \cdot \sin \alpha)^{0,82} \cdot H_3^{1,04} \cdot \tau_y,$$

где C – коэффициент, определяемый по экспериментальным данным и зависящий в основном от твердости материала и его дисперсности;

ρ_c – насыпная плотность материала, кг/м³;

ω – угловая скорость вращения конуса, с⁻¹;

L – длина лопасти конуса, м;

b – ширина лопастей, м;

α – угол наклона лопасти к горизонту, обычно принимаемый 45°;

H_3 – высота материала над лопастью, м;

τ_y – отношение мощности, потребляемой смесителем при установившемся режиме, к мощности, измеренной в конце первой минуты после начала смешения (определяется экспериментально);

$$H_3 = \frac{V \cdot \varphi}{2 \cdot \pi \cdot R_{корн}^2},$$

где $R_{корн}$ – радиус корпуса смесителя, м;

N_2 – мощность, расходуемая на преодоление сопротивления движению конуса, кВт,

$$N_2 = N'_2 + N''_2,$$

где N'_2 и N''_2 – расход мощности на преодоление сопротивления по наружной и внутренней поверхностям конуса, кВт,

$$N'_2 = 2,45 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot l \cdot \omega \cdot h \cdot \rho_c \cdot f \cdot (\cos^2 \gamma + \beta \cdot \sin^2 \gamma) \cdot (R + r)^2, \text{ кВт},$$

где l – длина образующей конуса, м,

$$l = \frac{H_{кон}}{\sin \gamma},$$

$H_{кон}$ – высота конуса, м;

γ – угол наклона образующей конуса к горизонту (обычно принимается 60°);

h – высота слоя материала снаружи конуса, м (принимается $h = H_{\text{кон}}$);

f – коэффициент трения скольжения материала по конусу;

β – коэффициент подвижности материала

$$\beta = \frac{1 - \sin \gamma}{1 + \sin \gamma},$$

R – радиус верхнего основания конуса, м;

r – радиус нижнего основания конуса, м;

$$N_2'' = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot G'' \cdot \omega^3 \cdot r_3 \cdot (R + r) \cdot f \cdot \sin \psi, \text{ кВт},$$

где G'' – масса материала на внутренней поверхности конуса, кг;

$$G'' = V_{\text{з.к.}} \cdot \rho_c;$$

$$V_{\text{з.к.}} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot H_3 \cdot (r_3^2 + r^2 + r_3 \cdot r), \text{ м}^3$$

$V_{\text{з.к.}}$ – объем заполненного конуса, м^3 ;

r_3 – радиус сечения конуса на верхнем уровне материала, м,

$$r_3 = H_3 \cdot \sin \psi + r;$$

ψ – угол между направлением действия центробежной силы и нормалью к поверхности конуса, град ($\psi = 30^\circ$);

N_3 – мощность, затрачиваемая на подъем материала внутри конуса, кВт,

$$N_3 = 0,0098 \cdot G_{\text{кон}} \cdot H_{\text{кон}}, \text{ кВт},$$

где $G_{\text{кон}}$ – массовая производительность конуса, кг/с;

$$G_{\text{кон}} = V_{\text{кон}} \cdot \rho_c, \text{ кг/с},$$

где $V_{\text{кон}}$ – объемная производительность конуса, $\text{м}^3/\text{с}$;

$$V_{\text{кон}} = \frac{\pi \cdot \omega \cdot l^2 \cdot \sin^2 \psi \cdot \cos \psi \cdot r}{k},$$

где k – коэффициент ($k = 100 \div 150$);

N_4 – мощность, затрачиваемая на сообщение материалу кинетической энергии, кВт,

$$N_4 = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot G_{\text{кон}} \cdot w^2, \text{ кВт},$$

где w – окружная скорость вращения конуса, м/с.

Примеры для самостоятельного решения

Определить производительность и потребляемую мощность центростремительного смесителя для перемешивания порошков по исходным данным, приведенным в табл. 14.

Обозначения:

V – объем смесителя, м³;

$R_{\text{корп}}$ – радиус корпуса смесителя, м

R – радиус верхнего основания конуса, м;

r – радиус нижнего основания конуса, м;

$H_{\text{кон}}$ – высота конуса, м;

n – число оборотов конуса в минуту;

L – длина лопасти, м;

b – ширина лопастей, м;

ρ_c – плотность смеси, кг/м³;

τ – время перемешивания, мин;

f – коэффициент трения материала о поверхность.

Таблица 14

Исходные данные для расчета

№ варианта	V	$R_{\text{корп}}$	R	r	$H_{\text{кон}}$	n	L	b
1	0,010	0,12	0,10	0,04	0,10	650	0,08	0,02
2	0,010	0,12	0,10	0,04	0,10	650	0,08	0,02
3	0,025	0,20	0,16	0,08	0,15	600	0,15	0,05
4	0,025	0,20	0,16	0,08	0,15	600	0,15	0,05
5	0,025	0,20	0,16	0,08	0,15	600	0,15	0,05
6	0,025	0,20	0,16	0,05	0,20	600	0,15	0,05
7	0,025	0,20	0,16	0,05	0,20	600	0,15	0,05
8	0,030	0,25	0,16	0,05	0,20	400	0,20	0,06
9	0,030	0,25	0,20	0,06	0,25	400	0,20	0,06
10	0,030	0,25	0,20	0,06	0,25	400	0,20	0,06
11	0,015	0,25	0,20	0,08	0,20	500	0,20	0,02
12	0,010	0,15	0,15	0,07	0,25	400	0,10	0,02
13	0,020	0,30	0,25	0,10	0,25	650	0,20	0,02
14	0,030	0,20	0,16	0,10	0,25	550	0,12	0,03
15	0,025	0,30	0,25	0,18	0,30	400	0,20	0,04
16	0,010	0,15	0,12	0,05	0,11	650	0,09	0,02
17	0,025	0,21	0,09	0,05	0,15	600	0,10	0,03
18	0,025	0,20	0,18	0,08	0,15	600	0,20	0,04
19	0,030	0,25	0,20	0,06	0,25	400	0,20	0,05
20	0,010	0,12	0,10	0,04	0,10	600	0,10	0,02

Окончание табл. 14

№ варианта	ρ_c	τ	f	τ_y	$C \cdot 10^3$	Φ	k
1	500	15	0,35	2,0	4,9	0,6	120
2	500	20	0,40	3,0	6	0,6	130
3	600	20	0,45	1,5	8	0,5	100
4	800	25	0,40	2,0	15	0,5	100
5	900	30	0,50	3,0	30	0,6	120
6	1 000	30	0,31	2,0	7	0,6	130
7	1 000	35	0,40	3,0	24	0,5	125
8	1 500	35	0,45	1,5	10	0,6	125
9	1 600	40	0,50	2,0	34	0,6	130
10	2 000	40	0,45	3,0	20	0,6	120
11	800	15	0,40	1,5	7	0,6	110
12	500	20	0,31	2,0	8	0,7	130
13	600	20	0,45	3,0	15	0,6	140
14	600	30	0,40	2,0	20	0,7	120
15	700	25	0,35	3,0	6	0,7	110
16	520	18	0,40	1,5	5	0,6	110
17	700	20	0,40	3,0	10	0,7	130
18	900	30	0,35	2,0	7	0,7	140
19	1 200	35	0,50	1,5	20	0,7	100
20	500	20	0,35	3,0	7	0,6	120

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Курсовой проект является важной ступенью в изучении дисциплины «Машины и аппараты химических производств» и заключительной работой инженерного характера перед дипломным проектом, подытоживающим результаты учебы в вузе.

Задачей курсового проекта по дисциплине «Машины и аппараты химических производств» является закрепление и углубление полученных студентами теоретических знаний путем применения их к решению расчетно-конструкторских задач по выбранной ими специальности.

Курсовой проект служит объектом для практики выбора оптимальных технических решений из обширной базы современной химической техники с обоснованием принятых вариантов соответствующими расчетами. Не менее важным в курсовом проекте является приобретение студентами навыков изложения результатов технически грамотным языком и в соответствии с требованиями, предъявляемыми к пояснительным запискам и графическим материалам инженерных проектов.

Задание на курсовой проект разрабатывается руководителем в период производственной практики с тем, чтобы во время практики студент имел возможность собрать все необходимые исходные материалы и скорректировать задание по согласованию с руководителем.

Тематика проекта должна быть связана с ремонтом, модернизацией или реконструкцией действующего оборудования предприятий, либо с проектированием нового оборудования.

В начале учебного семестра студент получает задание на проектирование с указанием содержания, объема и графика выполнения проекта, подписанное руководителем и утвержденное заведующим кафедрой.

Защита курсового проекта проводится в соответствии с графиком учебного процесса в комиссии, в состав которой входит руководитель курсового проекта и один-два преподавателя кафедры, назначенные заведующим кафедрой. К защите принимается только полностью оформленный и подписанный руководителем проект. Защита курсовых проектов, не пред-

ставленных в установленный срок, проводится в соответствии с «Положением о курсовом проектировании в УО «ПГУ».

Для защиты проекта студенту предоставляется время для доклада 5 – 7 мин. В своем докладе студент должен раскрыть основные вопросы, решенные в проекте:

- назначение, область применения и характеристика объекта проектирования;
- методика расчета и инженерные методы проектирования;
- полученные результаты.

После доклада студент отвечает на вопросы членов комиссии по теме проекта и в рамках тех конкретных задач, которые решались в процессе курсового проектирования. Вопросы членов комиссии и ответы студента фиксируются в письменной форме. Результаты защиты обсуждаются на закрытом заседании комиссии и сообщаются студенту.

СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект должен включать пояснительную записку объемом 30 – 50 страниц машинописного текста и графическую часть, расположенную на трех форматах А1. Графическая часть должна включать общий вид машины или аппарата, чертежи наиболее характерных или важных узлов. Для иллюстрации проекта может использоваться технологическая схема установки.

Пояснительная записка должна быть выполнена в соответствии с требованиями ЕСТД и СТП.

Порядок расположения материала в расчетно-пояснительной записке должен быть следующий:

- титульный лист (прил. 2);
- задание;
- содержание;
- введение;
- обзор литературы;
- описание технологической схемы (при необходимости);
- технологические расчеты;
- прочностные расчеты;
- заключение;
- список использованных источников.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОДЕРЖАНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Во *введении* следует отразить актуальность темы курсового проекта, охарактеризовать проблему, к которой относится тема курсового проекта и важность ее решения. (Приблизительный объем раздела – 1 страница).

Обзор литературы должен отражать современные способы решения затронутой проблемы, направления развития техники и методы ее расчета. Основой для выбора оптимального варианта решения поставленной задачи является изучение и критический анализ литературы и электронных источников. Анализ выявленных материалов необходимо производить, исходя из поставленной в проекте задачи. Литературный обзор необходимо закончить кратким выводом и обоснованием выбора направления проектирования. (Обязательное требование к разделу – ссылка на использованные литературные источники).

В *описании технологической схемы* следует с возможными упрощениями дать представление о работе установки или отделения, в состав которого входит объект проектирования.

Описание принятой схемы включает основные материальные потоки, средства их перемещения (насосы, компрессоры) и аппараты, через которые проходят потоки. Не следует описывать движение потоков, содержащих побочные продукты, или потоки, возникающие при аварийных ситуациях (если это не определяется темой проекта).

Описание технологии должно быть кратким, не следует повторять изложения технологического регламента, останавливаться на особенностях конструкции оборудования и его работы. При описании схемы необходимо приводить показатели технологического режима (температуру, давление).

Технологические расчеты должны содержать необходимые сведения по определению основных размеров проектируемого оборудования и параметров технологического процесса.

Прочностные расчеты включают определение размеров нагруженных элементов, обеспечивающих прочность и плотность оборудования, выполнение в соответствии с действующими нормами. Для нагреваемых элементов, если по условиям расположения они не могут свободно расширяться, производится расчет температурных напряжений. Детали, подверженные циклическим нагрузкам, проверяются на усталость. Аппараты, работающие под воздействием внешнего давления, и элементы конструкции, подверженные продольной сжимающей нагрузке, проверяются на устойчивость и совместное действие нагрузок. Вертикальные аппараты большой высоты, устанавливаемые за пределами цеха, проверяются на ветровую нагрузку.

В списке использованных источников приводится литература, которая была проработана в ходе курсового проектирования и на которую есть конкретные ссылки в соответствующих местах пояснительной записки курсового проекта. Ссылки на использованные литературные источники в тексте заключаются в квадратные скобки, а номер в скобках должен соответствовать номеру литературного источника в данном разделе.

Требования к пояснительной записке

Объем каждой части пояснительной записки определяется заданием на проектирование. Объем технологических и прочностных расчетов должен составлять не менее 70 % от общего объема пояснительной записки. При необходимости содержание записки может быть изменено по согласованию с руководителем и заведующим кафедрой.

ПРИМЕРЫ ТЕМ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Тема 1. Расчет и проектирование барабанной сушилки [6, 14 – 19]. Исходные данные: материал – хлористый калий, производительность по сухому продукту – 2 т/ч, начальная влажность материала – 8 %, конечная влажность – 2 %, температура воздуха на входе в сушилку 115 °С, место установки – г. Киев. Технологический расчет: количество сушильного агента, габаритные размеры, мощность привода. Прочностной расчет: элементы привода, корпус печи, бандажи, упорный и опорные ролики, вал подвенцовой шестерни. Графическая часть: общий вид барабанной сушилки, сборочные чертежи корпуса и опорного ролика, уплотнений.

Тема 2. Расчет и проектирование барабанной сушилки [6, 14 – 19]. Исходные данные: материал – сульфат аммония, производительность по сухому продукту 1,2 т/ч, начальная влажность материала – 7,2 %, конечная влажность – 2,3 %, температура воздуха на входе в сушилку 105 °С, на выходе – 65 °С. Место установки – г. Минск. Технологический расчет: количество сушильного агента, габаритные размеры, мощность привода. Прочностной расчет: элементы привода, корпус сушилки, бандажи, опорный и упорный ролики, вал подвенцовой шестерни. Графическая часть: общий вид сушилки, сборочные чертежи корпуса и опорного ролика, чертежи деталей опорного ролика, уплотнений.

Тема 3. Расчет и проектирование реактора установки каталитического риформинга для повышения октанового числа фракции 105 – 150 °С [8, 20]. Исходные данные: сырье – Ромашкинская нефть, производительность по сырью 800 т/сут, температура на входе в реактор – 500 °С, давление 4 МПа, объемная скорость подачи сырья 1,3 м³/м³·ч, циркуляция водо-

родосодержащего газа $1\ 200\ \text{м}^3/\text{м}^3\cdot\text{с}$, ввод сырья радиальный, катализатор - алюмоплатиновый. Технологический расчет: материальный и тепловой баланс реактора, габаритные размеры реактора и диаметры штуцеров, гидравлический расчет реактора. Прочностной расчет: толщина стенки крышки, корпуса и днища реактора, фланцевые соединения, укрепление отверстий, опора, расчет на ветровую нагрузку. Графическая часть: общий вид реактора, сборочные узлы.

Тема 4. Расчет и проектирование каскада реакторов (реактор типа котла с мешалкой) [7, 13]. Исходные данные: среда – жидкая реакционная смесь плотностью $1\ 200\ \text{кг}/\text{м}^3$, теплоемкость смеси $3,5\ \text{кДж}/\text{кг}\cdot\text{град}$, динамическая вязкость смеси $4\cdot 10^{-4}\ \text{Па}\cdot\text{с}$, производительность по конечной реакционной смеси $5\ 000\ \text{кг}/\text{ч}$, концентрация начальная 50, конечная 10, температура реакции $100\ \text{°C}$, тепловой эффект реакций $+ 900\ \text{кДж}/\text{кмоль}$, константа скорости реакции 1-ого порядка $10^{-1}\ \text{ч}^{-1}$, объем одного реактора $16\ \text{м}^3$, число оборотов мешалки $300\ \text{об}/\text{мин}$. Технологический расчет: определение числа реакторов в каскаде, тепловой расчет реактора, расчет мощности привода мешалки. Прочностной расчет: толщина стенки крышки корпуса и днища реактора, фланцевые соединения, подшипниковые узлы, вал мешалки, уплотнения, опора. Графическая часть: общий вид реактора, сборочные узлы.

Тема 5. Расчет и проектирование реактора периодического действия с мешалкой для мономолекулярной реакции [7, 13]. Исходные данные: производительность по сырью $16\ \text{м}^3/\text{сут}$, сырье – реакционная смесь плотностью $1\ 000\ \text{кг}/\text{м}^3$, динамическая вязкость $3\cdot 10^{-4}\ \text{Па}\cdot\text{с}$, начальная концентрация 0,8, конверсия 0,95, константа скорости реакции 2-ого порядка $1,9\ \text{ч}^{-1}$, температура реакции $388\ \text{K}$, удельная теплота реакции $- 84\ \text{кДж}/\text{кг}$, число реакторов – 4, вспомогательное время $3,5\ \text{ч}$, число оборотов мешалки $350\ \text{об}/\text{мин}$, рубашка реактора обогревается паром. Технологический расчет: габариты реактора, тепловой расчет, поверхность теплообмена, расчет мощности привода мешалки. Прочностной расчет: корпуса, крышки, днища, фланцевых соединений, подшипникового узла, уплотнений, опоры. Графическая часть: общий вид реактора, сборные узлы привода мешалки, сварочные и фланцевые соединения, опора, уплотнения вала мешалки.

Тема 6. Расчет и проектирование червячного экструдера для производства полиэтиленовых труб [21 – 24]. Исходные данные: материал ПЭВП с показателем текучести расплава (ПТР) $1,2\ \text{г}/10\ \text{мин}$, производительность $100\ \text{кг}/\text{ч}$, температуры: загружаемых гранул $60\ \text{°C}$, цилиндра $240\ \text{°C}$, в зоне головки $190\ \text{°C}$, перепад давления $(20\div 400)\cdot 10^5\ \text{Па}$. Технологический расчет: параметрические расчеты червяка и головки, тепловой расчет, определение мощности привода. Прочностной расчет: цилиндра,

рубашки, головки, червяка, фланцевого соединения. Графическая часть: общий вид экструдера, узел головки, узел корпуса подшипников.

Тема 7. Расчет и проектирование червячного экструдера для производства полиэтиленовой пленки [21 – 24]. Исходные данные: материал ПЭНП с ПТР 2,0 г/10 мин, производительность 50 кг/ч, температуры: загрузаемых гранул 60 °С, цилиндра 200 °С, в зоне головки 180 °С, перепад давления $(100 \div 500) \cdot 10^5$ Па. Технологический расчет: параметрические расчеты червяка и головки, тепловой расчет, определение мощности привода. Прочностной расчет: цилиндра, рубашки, головки, червяка, фланцевого соединения. Графическая часть: общий вид экструдера, узел головки, узел корпуса подшипников.

Тема 8. Произвести расчет и подобрать гидравлический пресс верхнего давления [13, 23 – 24]. Исходные данные: материал – пресс-порошок фенопластов, производительность 10 штук изделий в час, масса изделия 2 кг, площадь горизонтальной проекции изделия 280 см², удельное давление прессования 2 500 Н/см², температура прессования 175 °С, коэффициент теплоотдачи 50 кДж/м²·ч·град. Технологический расчет: основные параметры пресса и усилия прессования, расход энергии пресс-формы и полезное тепло при прессовании изделий. Прочностной расчет: цилиндра, плунжера, фланцевых соединений. Графическая часть: общий вид гидропресса, пресс-формы, узлы и детали главного цилиндра, крепления пресса.

Тема 9. Произвести расчет и подобрать пресс нижнего давления [13, 23 – 24]. Исходные данные: материал – листы текстолита размером 1 000x1 500 мм толщиной 5 мм, удельное давление прессования 1 200 Н/см², количество этажей 10, в каждом этаже прессуется пакет из 5 листов с промежуточными стальными листами толщиной 2 мм, температура прессования 200 °С, плотность текстолита 1 350 кг/м³. Технологический расчет: основные параметры пресса и усилия прессования, длительность операции нагревания пакета листов. Прочностной расчет: цилиндра, плунжера, фланцевых соединений. Графическая часть: общий вид гидропресса, пресс-формы, узлы и детали главного цилиндра, крепления пресса.

Тема 10. Произвести расчет и подобрать фильтрующую центрифугу с ножевой выгрузкой осадка [13, 17, 25]. Исходные данные: производительность 5 м³/ч водной суспензии с массовой концентрацией твердой фазы 20 %, плотность твердой фазы 1 400 кг/м³, массовая влажность получаемого осадка 8 %, выгрузка осадка при заполнении им ротора на 60 % производится за 30 с, ротор совершает 500 об/мин, удельное сопротивление срезу осадка 400 Н/см². Технологический расчет: расчет мощности, затрачиваемой на сообщение кинетической энергии суспензии и на срез осадка. Проч-

ностной расчет: ротора, подшипникового узла, фланцевого соединения. Графическая часть: общий вид центрифуги, узлы и детали ротора, подшипникового узла, крепления центрифуги.

Тема 11. Произвести расчет и подобрать осадительную центрифугу со шнековой выгрузкой осадка [13, 17, 25]. Исходные данные: основной продукт – твердая фаза, производительность по суспензии $2 \text{ м}^3/\text{ч}$, по твердому осадку – 500 кг/ч , массовая концентрация твердой фазы 25% , объемная – $19,3 \%$, динамическая вязкость жидкой фазы $0,9 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, плотность 1000 кг/м^3 , плотность твердой фазы 1400 кг/м^3 , крупность разделения $0,01 \text{ мм}$. Технологический расчет: расчет производительности центрифуги по заданной крупности разделения. Прочностной расчет: ротора подшипникового узла, фланцевого соединения. Графическая часть: общий вид центрифуги, узлы и детали ротора, подшипникового узла, муфты сцепления.

Тема 12. Расчет и проектирование одноступенчатой аммиачной холодильной установки для охлаждения раствора хлорида кальция [5, 26]. Исходные данные: производительность 12 т/ч , начальная температура $+5 \text{ }^\circ\text{C}$, конечная температура $-10 \text{ }^\circ\text{C}$, концентрация раствора 25% , конденсатор – аппарат воздушного охлаждения (АВО). Технологический расчет: определение холодопроизводительности, расчет холодильного цикла, тепловой расчет конденсатора, подбор компрессора. Прочностной расчет: АВО, деталей компрессора. Графическая часть: общий вид машины, общий вид конденсатора.

Тема 13. Расчет и проектирование двухступенчатой аммиачной холодильной установки с полным промежуточным охлаждением и одним испарителем [26]. Исходные данные: холодопроизводительность $12,5 \text{ кВт}$, температура испарения $-50 \text{ }^\circ\text{C}$, температура конденсации $+46 \text{ }^\circ\text{C}$, конденсатор – АВО. Технологический расчет: холодильного цикла, тепловой и гидравлический расчет АВО, подбор АВО и компрессора. Прочностной расчет: АВО, деталей компрессора. Графическая часть: общий вид машины, общий вид конденсатора.

Тема 14. Расчет и проектирование вертикальной секционной трубчатой печи установки АВТ [8, 27 – 28]. Исходные данные: сырье – Ромашкинская нефть, в качестве топлива используется мазут элементного состава, % масс.: С – 86 , Н – 13 , S – 1 , производительность по сырью 600 т/ч , температура нефти на входе в печь $230 \text{ }^\circ\text{C}$, на выходе из печи $330 \text{ }^\circ\text{C}$, испарение нефти до 40% . Технологический расчет: расчет процесса горения топлива, определение тепловой нагрузки и расхода топлива, расчет радиантной и конвекционной камер, расчет сопротивления газового тракта пе-

чи, определение размеров дымовой трубы. Прочностной расчет: змеевика печи, подвесок, расчет дымовой трубы на ветровую нагрузку. Графическая часть: общий вид печи, узлы и детали змеевика печи, подвески, горелка.

Тема 15. Расчет и проектирование трубчатой печи типа ЦС-1 установки АВТ [8, 27 – 28]. Исходные данные: производительность по сырью 1 300 т/сут, температура нефти на входе в печь 130 °С, на выходе из печи 350 °С, массовая доля отгона 0,4, относительная плотность: нефти 0,93, отгона 0,9, остатка 0,95, топливный газ состава, % объемн.: CH_4 – 90, C_3H_8 – 5, C_2H_6 – 3, CO_2 – 1, N_2 – 1. Технологический расчет: расчет процесса горения топлива, определение КПД, тепловой нагрузки и расхода топлива, расчет радиантной и конвекционной камер, гидравлический расчет змеевика печи, расчет сопротивления газового тракта печи, определение размеров дымовой трубы. Прочностной расчет: змеевика печи, подвесок, расчет дымовой трубы на ветровую нагрузку. Графическая часть: общий вид печи, узлы и детали змеевика печи, подвески, горелка.

Тема 16. Расчет печи пиролиза широкой бензиновой фракции [8, 28, 33 – 35]. Исходные данные: производительность печи 7 000 кг/ч, пиролиз проводится с добавкой 50 % масс. на сырье водяного пара, температура сырья на входе в печь 110 °С, на выходе из печи – 840 °С. Топливо – метано-водородная фракция, % об.: H_2 – 4,44; CH_4 – 91,51; C_2H_4 – 1,8; C_2H_6 – 0,15; C_3H_6 – 1,98; C_3H_8 – 0,12. Сырье – широкая бензиновая фракция. Технологический расчет: расчет процесса горения топлива, состав сырья и пирогаза, определение КПД печи, тепловой нагрузки и расхода топлива, поверхности нагрева реакционного змеевика, расчет конвекционной камеры, расчет потерь напора в газовом тракте печи. Прочностной расчет: змеевика печи, подвесок, расчет дымовой трубы на ветровую нагрузку. Графическая часть: общий вид печи, узлы и детали змеевика печи, горелка.

Тема 17. Расчет и проектирование шаровой мельницы [13, 17, 29]. Исходные данные: материал – доломит, начальная влажность – 14 %, конечная – 1,5 %, диаметр мельницы 4,5 м, длина 1,55 м, коэффициент заполнения барабана 0,3. Технологический расчет: определение производительности и мощности привода мельницы. Прочностной расчет: элементы привода, корпус, приводной вал, соединительные болты. Графическая часть: общий вид мельницы, узлы и детали подшипника скольжения и подвенцовой шестерни.

Тема 18. Произвести расчет и подобрать щековую дробилку [13, 17, 30]. Исходные данные: материал – известковый камень, производительность 50 т/ч, плотность материала 2 500 кг/м³, коэффициент разрыхления из-

мельченного материала 0,4, размеры кусков до дробления 250 мм, после дробления 60 мм. Технологический расчет: размеры дробилки, число качаний подвижной щеки, мощность электропривода. Прочностной расчет: подвижной щеки, оси подвижной щеки, распорной плиты, шатуна, тяги, эксцентрикового вала, пружины. Графическая часть: общий вид дробилки, узлы и детали щековой дробилки.

Тема 19. Спроектировать выпарную установку для концентрирования водного раствора роданида натрия [5]. Исходные данные: расход сырья – 80 т/ч, начальная концентрация роданида натрия – 12 %, конечная – 54 %, обогрев производится насыщенным водяным паром давлением 1,2 МПа, давление в барометрическом конденсаторе – 0,02 МПа, число корпусов – 3, взаимное направление пара и раствора – прямоток. Технологический расчет: определение поверхности теплопередачи выпарных аппаратов, расчет барометрического конденсатора, расчет производительности вакуум-насоса, расчет сырьевого насоса, расчет подогревателя исходного раствора. Прочностной расчет: элементов выпарного аппарата и подогревателя. Графическая часть: общий вид выпарного аппарата, общий вид подогревателя исходного раствора.

Тема 20. Расчет пропан-пропиленовой ректификационной колонны [31 – 33]. Исходные данные: производительность колонны по сырью – 6 000 кг/ч, состав сырья, % масс.: C_3H_6 – 0,9315, C_3H_8 – 0,06, C_2H_6 – 0,0028, C_4H_{10} – 0,0057; содержание C_3H_6 в дистилляте – 97 %, в кубовом остатке – 5 %. Технологический расчет: материальный баланс колонны, температура и давление в аппарате, минимальное количество орошения, число тарелок в колонне, материальные потоки секции питания, расчет диаметра и высоты колонны. Прочностной расчет: элементов колонны, расчет колонны на ветровую нагрузку. Графическая часть: общий вид колонны, узлы и детали колонны.

ПРИМЕРНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

1. Назначение и классификация прессов.
2. Основные узлы прессов.
3. Конструктивные и силовые параметры прессов.
4. Конструкции прессформ.
5. Номинальное и фактическое усилия прессования.
6. Гидропривод прессов.
7. Назначение и область применения валковых машин.
8. Устройство и принцип действия валковой машины.
9. Особенности конструкции валков.
10. Расчет распорных усилий валков.
11. Расчет производительности валковой машины.
12. Расчет угла захвата валковой машины.
13. Назначение и классификация червячных машин.
14. Устройство и принцип действия червячной машины.
15. Особенности конструкции корпуса, червяка червячной машины.
16. Устройство и принцип работы головки червячной машины.
17. Расчет производительности червячной машины.
18. Теплообмен при переработке материала на червячной машине.
19. Какие физико-химические свойства продукта необходимо учитывать при выборе машин для его дробления и измельчения?
20. Устройство и принцип действия щековых дробилок.
21. В чем отличие между щековыми дробилками простого и сложного качания?
22. Расчет угла захвата щековой дробилки.
23. Устройство и принцип действия валковых дробилок.
24. Устройство и принцип действия шаровых мельниц.
25. Какие мелящие тела обычно используются в шаровых мельницах, какова их роль?
26. Устройство и принцип действия плоских качающихся, барабанных и вибрационных грохотов.
27. Коэффициент неоднородности механических смесей.
28. Основные типы барабанных смесителей с вращающимся конусом.
29. Расчет производительности барабанного смесителя периодического действия.
30. Устройство и принцип действия центробежного смесителя.
31. Расчет мощности, потребляемой центробежным смесителем.

ПРИМЕРНЫЕ ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Физико-химическая модификация полимеров.
2. Технологические свойства полимеров. Наполненные полимеры.
3. Структура и основные свойства полимеров. Основные крупнотоннажные полимеры.
4. Переработка полимерных материалов: смешение, таблетирование и предварительный нагрев.
5. Прессование. Основные узлы прессов, их конструкции.
6. Экструзионные головки.
7. Раздувное формование.
8. Валковые машины. Конструкция и назначение. Способы компенсации прогиба валков каландров. Расчет производительности валковых машин. Расчет угла захвата валковых машин.
9. Общая характеристика процесса экструзии. Основные конструктивные элементы одношнекового экструдера. Рабочая характеристика экструдера. Анализ работы зон экструдера. Терморегуляция экструдера.
10. Основные способы измельчения. Классификация оборудования для измельчения. Теоретические основы измельчения.
11. Измельчители раскалывающе-разламывающего действия. Расчет угла захвата щековой дробилки, валковые дробилки.
12. Дробилки ударного действия. Принцип действия, конструкции, назначение. Расчет оптимальной скорости вращения барабана шаровой мельницы.
13. Измельчители истирающе-раздавливающего действия. Конструкции, назначение, достоинства и недостатки.
14. Плоские грохоты. Принцип действия, конструкции.
15. Барабанные грохоты. Принцип действия и конструкции.
16. Питатели и дозаторы сыпучих материалов. Назначение и конструкции.
17. Смесители для высоковязких сред. Назначение и конструкции.
18. Смесители для сыпучих материалов. Назначение и конструкции.
19. Назначение и состав гидропривода. Способы регулирования объемного гидропривода.
20. Литье под давлением термопластов. Принципиальная схема литьевой машины. Цикл литья.
21. Механические свойства металлов и способы их определения.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Поникаров, И.И. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки / И.И. Поникаров, М.Г. Гайнуллин. – М.: Альфа-М, 2006. – 608 с.
2. Машины и аппараты химических производств / И.И. Поникаров и [др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 367 с.
3. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: Химия, 1973. – 752 с.
4. Александров, И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты / И.А. Александров. – М.: Химия, 1971. – 296 с.
5. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
6. Чернобыльский, Н.И. Машины и аппараты химических производств / Н.И. Чернобыльский. – М.: Машиностроение, 1975. – 450 с.
7. Соколов, В.Н. Машины и аппараты химических производств / В.Н. Соколов. – Л.: Машиностроение, 1982. – 353 с.
8. Кузнецов, А.А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А.А. Кузнецов, С.М. Кагерманов, Е.Н. Судаков. – Л.: Химия, 1974. – 321 с.
9. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учеб. пособие для вузов / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Л.: Химия, 1987. – 575 с.
10. Скобло, А.И. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности: учеб. для вузов / А.И. Скобло, И.А. Трегубова, Ю.К. Молоканов. – М.: Химия, 1982. – 584 с.
11. Техника переработки пластмасс / под ред. Н.И. Басова, В. Броя. – М.: Химия, 1985.
12. Практикум по технологии переработки пластических масс / под ред. В.М. Виноградова, Г.С. Головкина. – М.: Химия, 1980.
13. Сиденко, П.М. Измельчение в химической промышленности / П.М. Сиденко. – М.: Химия, 1977. – 368 с.
14. Козулин, Н.А. Примеры и задачи по курсу оборудования заводов химической промышленности / Н.А. Козулин, В.Н. Соколов, А.Я. Шапиро; под общ. ред. Н.А. Козулина. – М.: Машиностроение, 1966. – 482 с.

Дополнительная

15. Левченко, П.В. Расчет печей и сушилок силикатной промышленности / П.В. Левченко. – М.: Энергия, 1968. – 368 с.
16. Лебедев, П.Д. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий / П.Д. Лебедев, А.А. Щукин. – М.: Энергия, 1970. – 408 с.
17. Лыков, М.В. Сушка в химической промышленности / М.В. Лыков. – М.: Химия, 1970. – 429 с.
18. Кольман-Иванов, Э.Э. Машины химических производств: Атлас конструкций / Э.Э. Кольман-Иванов. – М., 1981. – 101 с.
19. Бант, Ф.Г. Механическое оборудование цементных заводов / Ф.Г. Бант, О.А. Несвижский. – М.: Машиностроение, 1975. – 318 с.
20. Канторович, З.Б. Основы расчета химических машин и аппаратов / З.Б. Канторович. – М.: Машгиз, 1960. – 743 с.

21. Молоканов, Ю.К. Процессы и аппараты нефтегазопереработки / Ю.К. Молоканов. – М.: Химия, 1980. – 396 с.
22. Рябинин, Д.Д. Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей / Д.Д. Рябинин, Ю.Е. Лукач. – М.: Машиностроение, 1965. – 355 с.
23. Оборудование для производства полимерных пленок / Ю.Е. Лукач и [др.]. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
24. Гиберов, З.Г. Оборудование заводов пластических масс. Атлас конструкций / З.Г. Гиберов, М.И. Журавлев. – М.: Машиностроение, 1973. – 112 с.
25. Красовский, В.Н. Сборник примеров и задач по технологии переработки полимеров / В.Н. Красовский, А.М. Воскресенский. – Минск: Вышэйшая школа, 1975. – 312 с.
26. Шкоропад, Д.Е. Центрифуги для химических производств / Д.Е. Шкоропад. – М.: Машиностроение, 1975. – 246 с.
27. Покровский, Н.К. Холодильные машины и установки / Н.К. Покровский. – М.: Пищевая промышленность, 1969. – 283 с.
28. Адельсон, С.В. Технологический расчет и конструктивное оформление нефtezаводских печей / С.В. Адельсон. – М-Л.: Гостоптехиздат, 1952. – 507 с.
29. Сарданашвили, А.Г. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа / А.Г. Сарданашвили, А.И. Львова. – М.: Химия, 1980. – 256 с.
30. Ягунов, А.В. Мельницы самоизмельчения в СССР и за рубежом / А.В. Ягунов. – М.: НИИИнформтяжмаш, 1975. – 50 с.
31. Стахеев, И.В. Пособие по курсовому проектированию процессов и аппаратов пищевых производств / И.В. Стахеев. – Минск.: Вышэйшая школа, 1975. – 281 с.
32. Кузнецов А.А., Судаков Е.Н. Расчеты основных процессов и аппаратов переработки углеводородных газов: Справочное пособие. – М.: Химия, 1983. – 224 с.
33. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки: справочник / Рабинович Г.Г. и [др.]; под ред. Е.Н. Судакова. – М.: Химия, 1979. – 568 с.
34. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. – М.: Физматгиз, 1972. – 720 с.
35. Флореа, О. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии / О. Флореа, О. Смигельский. – М.: Химия, 1971. – 448 с.
36. Ентус, Н.Р. Трубчатые печи в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / Н.Р. Ентус, В.В. Шарихин. – М.: Химия, 1987. – 304 с.
37. Трубчатые печи. Каталог. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1990. – 32 с.
38. Горелки для трубчатых печей. Каталог. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1990. – 24 с.

Образец оформления обложки курсового проекта

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

Кафедра химической техники

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ
по дисциплине «Машины и аппараты химических производств»
Тема: _____

Исполнитель:
студент (факультет, курс, группа)

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель проекта:

(ученая степень, звание, должность, фамилия, имя, отчество)

Новополоцк 200_

Образец оформления титульного листа курсового проекта

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

Кафедра химической техники

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовому проекту
по дисциплине «Машины и аппараты химических производств»

Тема: _____

Исполнитель: _____ Фамилия, инициалы
(подпись)

студент _____ курса группы _____

Руководитель: _____ Фамилия, инициалы
(подпись)

Новополоцк 200_

Учебное издание

**МАШИНЫ И АППАРАТЫ
ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
для студентов специальности 1-36 07 01
«Машины и аппараты химических производств
и предприятий строительных материалов»**

В двух частях

Часть 2

**Оборудование для производства
полимерных и строительных материалов**

Составители

МИТИНОВ Андрей Владимирович
ЖАРКОВА Ольга Николаевна

Редактор Т.А. Дарьянова

Дизайн обложки И.С. Васильевой

Подписано в печать 28.05.08. Формат 60x84 1/16. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 16,24. Уч.-изд. л. 16,18. Тираж 50. Заказ № 277.

Издатель и полиграфическое исполнение –
учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ № 02330/0133020 от 30. 04. 04

ЛП № 02330/0133128 от 27.05.04

211440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29