

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)

А. Е. Шкуро
О. Ф. Шишлов
А. В. Савиновских

**ТЕХНОЛОГИИ
ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ
ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебное пособие

Екатеринбург
2020

УДК 678-419:004.925.84

ББК 35.710.5

Ш67

Рецензенты:

институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Н. П. Кулик;

Ю. В. Чумак, директор по производству ПАО «Уралхимпласт»

Шкуро, А. Е.

Ш67 Технологии получения и переработки полимерных композиционных материалов : учеб. пособие / А. Е. Шкуро, О. Ф. Шишлов, А. В. Савиновских. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. – 156 с.

ISBN 978-5-94984-747-3

В учебном пособии «Технологии получения и переработки полимерных композиционных материалов» рассматриваются вопросы переработки пластических масс и композиционных материалов, выбор соответствующего основного и вспомогательного оборудования, а также входной контроль исходных материалов и определение эксплуатационных свойств изделий из пластиков и композитов. Описываются основные этапы переработки полимерных материалов методом прессования. Учебное пособие рекомендуется обучающимся по направлению «Химическая технология».

Издается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 678-419:004.925.84

ББК 35.710.5

ISBN 978-5-94984-747-3

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2020

© Шкуро А. Е., Шишлов О. Ф.,
Савиновских А. В., 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Истории и перспективы развития полимерных материалов	6
1.1. Понятие композиционных материалов как многофазных гетерогенных систем.....	11
1.2. Полимерные материалы конструкционного назначения ...	14
1.3. Задачи полимерного материаловедения	16
1.4. Основы выбора полимерных материалов для создания изделий	19
1.5. Классификация методов переработки полимерных материалов по технологическому назначению ...	24
1.6. Требования, предъявляемые к оборудованию по переработке полимерных материалов	25
2. Технология и оборудование подготовительного производства..	26
2.1. Назначение подготовительного производства	26
2.2. Оборудование для диспергирования (измельчения) сырья	27
2.2.1. Дробилки	28
2.2.2. Мельницы	30
2.2.3. Оценка степени диспергирования материалов	33
2.3. Оборудование для сортировки материалов	35
2.3.1. Назначение и способы сортировки	35
2.3.2. Грохоты для механической сортировки	36
2.3.3. Воздушные сепараторы	37
2.3.4. Гидравлические классификаторы	38
2.3.5. Электромагнитные сепараторы	38
2.4. Оборудование для смешения и пропитки	39
2.4.1. Классификация смесительного оборудования	39
2.4.2. Смесители для жидких материалов	41
2.4.3. Смесители для сыпучих материалов	42
2.4.4. Смесители для пластических (вязких) материалов	46
2.4.5. Пропиточные машины	50
2.5. Оборудование для сушки полимерных материалов	53
2.6. Оборудование для дозирования материалов	54
2.7. Оборудование для таблетирования полимерных материалов	58
2.8. Аппараты для предварительного подогрева материалов ...	65
2.8.1. Цель предварительного подогрева	65
2.8.2. Способы предварительного нагрева	66

3. Технология и оборудование для изготовления изделий методом прессования	69
3.1. Принцип формования изделий методом прессования	69
3.2. Физико-химические основы формования изделий из реактопластов методом прессования	73
3.3. Конструкции и классификации прессов	78
3.4. Конструкционная классификация гидравлических прессов	81
3.5. Общее устройство и работа гидравлического пресса	82
3.6. Прессы специального назначения	85
3.7. Автоматизированные прессовые комплексы	90
3.8. Технологический расчет пресса	96
3.9. Технологический процесс формования изделий из реактопластов методом прессования	97
3.9.1. Подготовительные операции процесса прессования ..	98
3.9.2. Входной контроль качества пресс-материалов (технологические свойства реактопластов)	102
3.9.3. Автоматизированная система технологических испытаний реактопластов	115
3.9.4. Завершающие стадии производства пресс-изделий	125
3.10. Литьевое и трансферное прессование изделий	126
3.11. Прессование декоративных и двухцветных изделий	127
3.12. Прессование слоистых пластиков	129
3.13. Выбор и расчет технологических параметров прессования	130
3.13.1. Расчет навески пресс-материала	130
3.13.2. Выбор давления и расчет усилия прессования	132
3.13.3. Выбор температуры прессования	137
3.13.4. Расчет времени выдержки	140
3.13.5. Дефекты пресс-изделий и способы их устранения	150
Заключение .	152
.....	152

ВВЕДЕНИЕ

Подготовка специалиста в области переработки пластических масс и полимерных композиционных материалов представляет собой нетривиальную задачу. Такой специалист должен обладать глубокими знаниями в таких областях, как: технология получения полимеров, полимерное материаловедение, проектирование производственной оснастки и непосредственно конструирование изделий из полимерных материалов.

Еще одним важнейшим условием признания квалификации переработчика пластмасс профессиональным сообществом и работодателями, и что, возможно, даже более важно для молодых специалистов, является наличие актуальных знаний об оборудовании, применяемом для переработки пластмасс. При этом при подготовке специалистов по переработке пластмасс названные области знаний полимерной промышленности должны изучаться всесторонне и комплексно. Именно для комплексного изучения основных методов переработки пластических масс подготовлено данное пособие. В нем рассмотрены вопросы, связанные со всеми этапами подготовительного производства (производством полуфабрикатов) и старшейшего метода переработки пластмасс – прессования.

Настоящее пособие предназначается для обучающихся по специальности 18.03.01 «Химическая технология», изучающих дисциплину «Технология и оборудование пластмасс и композиционных материалов».

Учебное пособие содержит актуальную научно-техническую информацию и снабжено списком источников [1–47].

1. ИСТОРИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одной из самых характерных особенностей современного этапа развития мировой экономики, промышленности и всей жизнедеятельности человека является более широкое использование новых продуктов и материалов. Многие из них получают в результате химических процессов переработки природных веществ. И на базе этих материалов стало возможно внедрение новых технологических процессов, создание таких отраслей промышленности, как авиационная и ракетно-космическая, радиоэлектроника и развитие научно-технического прогресса в целом.

Среди конструкционных материалов, применяемых человечеством в своем историческом развитии, полимерные материалы самые молодые. История применения керамики и металлов насчитывает несколько тысячелетий, а создание и применение полимерных материалов началось лишь в XIX веке. Началу применения полимерных продуктов послужило открытие в 1839 г. *Чарльзом Гудьиром* реакции *вулканизации натурального каучука (НК)*, положившей начало резиновой промышленности (1844 г.) – производства резины, эбонита, гуттаперча (полиизопрена).

В 1870 г. *Джон Уэсли Хайат* начал производство нитрата целлюлозы и *целлулоида* (динитрата целлюлозы, пластифицированного камфарой). В 1910 г. был получен белковый (казеиновый) пластик *галалит* («молочный камень») – продукт обработки белка молока (казеина) водным раствором формальдегида (формалином).

В первом десятилетии XX века было также начато промышленное производство из диацетата целлюлозы – ацетатного шелка (вискозы) и ацетилцеллюлозных пластиков (этролов). Все перечисленные продукты по современной терминологии являются искусственными материалами, так как они получились (и получают до сих пор) химической обработкой природных полимеров (модификацией).

Первыми синтетическими полимерными продуктам были материалы, полученные на базе формальдегидных смол (фенопластов): *бакелит* американского химика *Лео Бакеланда* и *карболит* («камень из карболки») русских инженеров-химиков *Лисьева, Петрова, Тарасова*. Начало промышленного производства бакелита – 1907 г., а карболита – 1913 г. В 1916 г. был пущен первый в России завод пластмасс «Карболит» (г. Орехово-Зуево).

Ясно, что даже суммарный выпуск полимерных материалов в первые годы становления промышленности пластмасс был относительно не большим. Заметное увеличение мирового выпуска полимерных материалов произошло в 30-е годы прошлого столетия, когда было начато промышленное производство синтетических полимеров. Этапы промышленного освоения производства важнейших синтетических полимерных материалов представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Начало промышленного производства
ряда полимеров и пластмасс

Годы	Полимеры и пластмассы
1905–1915	Фенолоформальдегидные смолы и пластмассы на их основе (фенопласты): бакелиты и карболиты
1930–1940	Поливинилацетат и полистирол (1930 г.)
	Полиметилметакрилат (1934 г.)
	Алкидные смолы (1933–1935 гг.)
	Поливинилхлорид (1937 г.)
	Полиамиды (1938–1940 гг.)
	Меламиноформальдегидные смолы (1939 г.)
	Полиэтилен высокого давления (1938 г. – в Великобритании; 1939 г. – в Германии; 1943 г. – в США)
1941–1950	Полиакрилонитрил (1943 г.)
	Кремнийорганические смолы-силиконы (1944 г.)
	Эпоксидные смолы (1948 г.)
	Полиуретаны (1949–1950 гг.)
	Политетрафторэтилен (1950 г.)
	Стеклопластики
1951–1960	Полипропилен (1954–1957 гг.)
	Поликарбонаты (1957 г.)
	Полиэтилен низкого давления
	Цис-полиизопрен (синтетический аналог НК)
1961–1970	Полиарилаты; полиарилены; стереорегулярный изопреновый каучук, аналог НК-СКИ-3 (СССР). Стереорегулярный бутадиеновый (дивиниловый) каучук СКД (СССР); полиформальдегид
1970 и далее	Известные крупнотоннажные полимеры и сополимеры с модифицированной структурой и улучшенными свойствами; малотоннажные полимеры со специальными свойствами; полимерные композиционные материалы; смеси и сплавы полимеров

В повседневной деятельности человека синтетические полимеры и полимерные материалы на их основе теперь играют важную роль. В настоящее время синтезировано большое число полимеров, обладающих огромным разнообразием физических и химических свойств.

Статистические данные показывают, что в настоящее время из всех потребляемых в мире материалов на долю синтетических полимерных материалов (СПМ) приходится более 75 % и на долю металлов – около 20 %. Производство СПМ превышает общий выпуск основных цветных металлов (алюминия, меди, цинка) более чем в 2,5 раза.

В последнее десятилетие около 35 % металлов во многих отраслях народного хозяйства заменено на полимерные материалы. Динамику роста мирового ежегодного производства материалов на полимерной основе (СПМ, синтетических волокон, синтетических каучуков-эластомеров) в сравнении с продукцией металлургии и целлюлозно-бумажной продукции наглядно представляет следующий график (рис. 1.1).

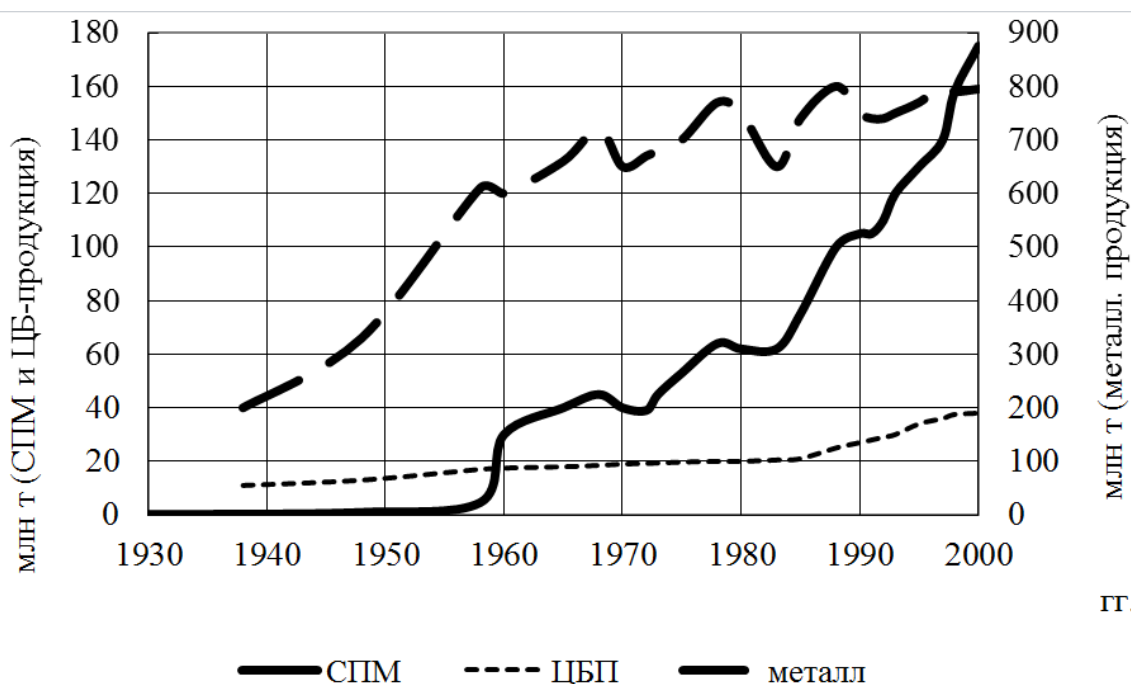


Рис. 1.1. Динамический рост мирового производства синтетических полимерных материалов, продукции металлургии и целлюлозно-бумажной продукции

Если в 1900 году было произведено 20 тысяч тонн полимерных материалов, в 1950 году – 1 миллион тонн, то с 1960-х годов, как

видно из графика, производство СПМ развивается бурными темпами. Замедление роста в начале 70-х, а затем и начале 80-х связывают с экономическими и энергетическими кризисами в эти периоды в мировой экономике.

Фактическая стабилизация и бурный рост производства СПМ происходит с 1985 г. Коэффициент роста ежегодного производства составляет: СПМ – 10 %, металлов – 3 %, ЦБ-продукции – 1 %. Экономические прогнозы производства СПМ, предполагали, что пластмассовый век начнется с 1985 г, когда на душу населения в масштабе всего мира будет произведено полимерных материалов и стали по 25 дм³. Это и подтвердилось развитием всей мировой экономики.

Потребление пластмасс по регионам распределяется неравномерно, к тому же с течением времени значительно меняется его география. На рисунке 1.2 показано производство СПМ в мире по странам-производителям в 2000 г. Более 75 % объема производства приходится на США, Западную Европу и Юго-Восточную Азию (без Японии).

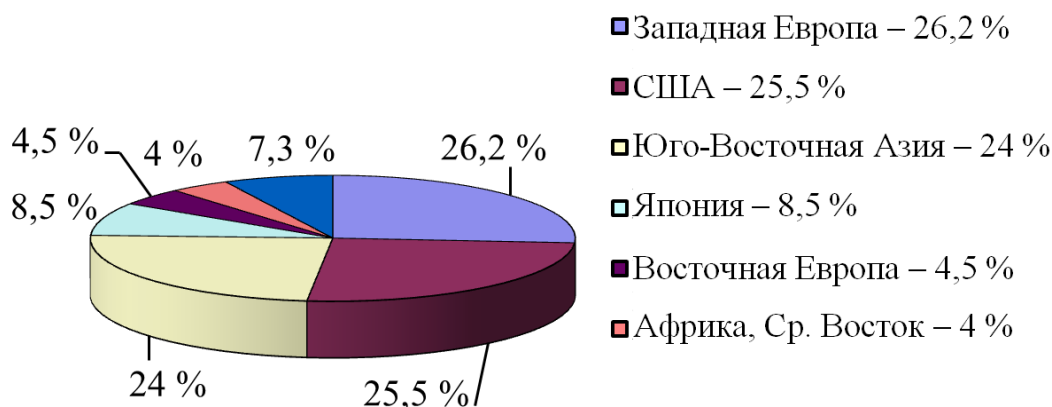


Рис. 1.2. Производство СПМ в мире по странам-производителям на 2000 г. в общемировом масштабе (в 26,2 % Западной Европы входят: Германия – 8,5 %; Франция – 3,5 %; Великобритания – 2,5 %; Италия – 2,5 %; Бенилюкс – 5,5 %; остальная Западная Европа – 1,7 %)

К 2010 г. эта расстановка сил изменилась. Основными потребителями стали жители Юго-Восточной Азии (кроме Японии) – 32,5 %, а на долю Северной Америки и Западной Европы пришлось уже по 26 и 20,5 % соответственно. Интересно, что при незначительной доле потребления полимерных материалов в Восточной Европе, включая Россию (4 %), именно здесь наблюдаются наиболее быстрые темпы развития этого рынка – 8 % (в сравнении со странами

Юго-Восточной Азии – 7,5 %). К 2010 г. потребляется уже 250 млн т пластика. Причем этот рост есть во всех странах, правда, в разном соотношении, как показано на рисунке 1.3.

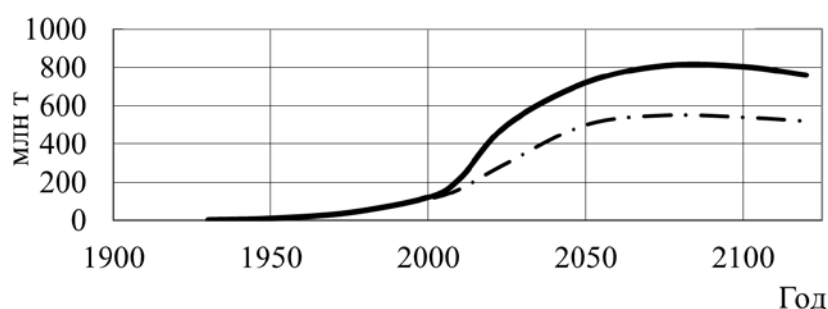


Рис. 1.3. Прогноз глобального потребления пластмасс (по данным Х. Франца, «Пластикс», № 12 (2006))

Как представлено в таблице 1.2, даже в докризисный 1989 г. бывший СССР занимал 4 место в мире по производству СПМ, но на душу населения отставал от ведущих производителей в 7–8 раз.

Таблица 1.2

Производство СПМ на душу населения
в ряде стран (1989 г.)

Государство	Объем выпуска СПМ, тыс. т	Численность населения, млн чел.	Производство СПМ на душу населения, кг/чел.
США	28 500	246,9	115
Япония	11 853	122	97
ФРГ	9 185	78	118
СССР	4 720	286,7	16

Положение с производством СПМ в России ухудшилось в 90-е гг. в период политического и экономического кризисов. В 2000 г. производство СПМ в России составило 2 564,9 тыс. т. В настоящее время мы занимаем 8 место в мире по объему производства СПМ, пропустив вперед такие страны, как Франция, Китай, Италия, Англия.

В России уровень потребления СПМ составляет 25–27 кг/чел. Основная причина – в неконкурентоспособности: низком качестве СПМ из-за устаревшей технологии. Основные производственные фонды созданы 35–40 лет назад и изношены более чем на 60 %.

В ведущих странах существующие в России технологии производства синтетических полимеров давно не применяются. Ситуация с производством полимерных материалов в России стала

существенно меняться с 2000 г., когда стали вкладываться инвестиции в модернизацию и расширение существующих производств в Казани, Уфе, Стерлитамаке, Салавате, Омске, Томске, Буденовске, Нефтекамске, Ангарске, Усолье-Сибирском.

К 2014 г планировалось построить новые крупнотоннажные производства полиэтилена, полипропилена, полистирола в вышеперечисленных городах, а также Тобольске, Новом Уренгое (Западной Сибири). Интенсивно развиваются производства по переработке пластмасс: сейчас насчитывается более 2 000 предприятий и частных производств по переработке полимеров.

1.1. Понятие композиционных материалов как многофазных гетерогенных систем

Применяемые материалы накладывают на историю развития человечества существенный отпечаток, поэтому отдельные эпохи получили название по применяемым тогда материалам (каменный век, бронзовый век и т. п.).

С каждым годом объемы потребления человечеством материальных благ возрастают, а запасы природных ресурсов истощаются. Эффективным способом экономии дефицитных ресурсов сегодня становится внедрение в производство инновационных технологий и новых более совершенных материалов. Такие материалы должны обладать следующим комплексом свойств:

- 1) долговечностью;
- 2) низкой материалоемкостью;
- 3) стойкостью к коррозии;
- 4) способностью применяться для вторичной переработки;
- 5) безотходностью производства.

Всем перечисленным требованиям соответствует лишь один класс современных конструкционных материалов – композиты (композиционные материалы).

Было бы заблуждением полагать, что композиционные материалы – одно из последних достижений научно-технического прогресса. Человечество на протяжении всей своей истории стремилось сочетать материалы в различных комбинациях для придания им особых свойств и более специализированного применения. Тем не менее современная наука о композиционных материалах зародилась совсем недавно – 80 лет назад (после второй мировой войны прошлого столетия). В широком смысле практически современный материал

представляет собой композит. Материалы редко используются в чистом виде. По современным представлениям материал может считаться композитом если:

- 1) это продукт человеческой деятельности;
- 2) является сочетанием не менее двух химически разнородных компонентов;
- 3) имеет четкую границу раздела между фазами;
- 4) обладает свойствами, нехарактерными для его отдельных компонентов.

Иными словами, композиционным называют материалы, состоящие из двух или нескольких компонентов (фаз) и являются многофазными (гетерогенными) материалами. В композиционном материале основной компонент и модифицирующие его добавки составляют *непрерывную фазу* и выполняют роль матрицы. Другой компонент, составляющий также самостоятельную фазу, является *армирующим элементом – наполнителем*. Существование сцепления между несомещающимися матрицей и наполнителем в гетерогенных материалах отличает их от механических смесей и подчеркивается названием «композиционные материалы» (композиты – КМ).

Современные композиционные материалы делят на три основных класса:

- 1) дисперсно-упрочненные или дисперсно-твердеющие;
- 2) дисперсно-наполненные (упрочненные частицами);
- 3) армированные волокнами.

Эти три класса отличаются своей микроструктурой.

Дисперсно-упрочненные КМ (ДУКМ) характеризуются микроструктурой, которая представляет собой матрицу из элементарного вещества или сплава, в которой равномерно распределены мельчайшие частицы наполнителя. Частицы наполнителя в ДУКМ имеют размеры от 0,01 до 0,1 мкм в количестве от 1 до 15 объемных %. В ДУКМ матрица несет основную нагрузку. Примером этого класса КМ могут служить дисперсно-упрочненные металлы (сплавы). Они изготавливаются методом порошковой металлургии, а также поверхностным или внутренним окислением, методами восстановления или разложения солей. Это в основном материалы радиоэлектронного назначения.

Дисперсно-наполненные КМ (ДНКМ) характеризуются тем, что размер частиц в них превышает 1 мкм, а их концентрация – более 25 объемных %. При упрочнении частицами нагрузка распределяется между матрицей и частицами. Хотя данные КМ уступают

по достижению степени упрочнения 3 классу КМ, но по своему практическому распространению они обогнали композиты всех других классов. ДНКМ можно разделить на два вида:

1. Неорганические порошковые композиты, изготовленные из керамических материалов и металлов. Это технические стекла (в том числе упрочненные типа ситаллов) и собственно керамика. В керамической матрице дисперсной фазой служат металлические порошки. И наоборот, металлическая матрица наполнена порошкообразной керамикой и интерметаллами. Неполный перечень областей применения порошковых композитов включает производство:

- деталей с помощью методов порошковой металлургии;
- электрических контактов;
- радиационных экранов;
- режущего инструмента, буровых долот;
- магнитов;
- электродов для искровой обработки;
- сопел ракет и реактивных двигателей.

2. Полимерные композиционные материалы с порошкообразными наполнителями).

3. Армированные волокнами композиционные материалы. Среди конструкционных КМ наибольшее распространение получили КМ, армированные волокнами. Диапазон размеров армирующей фазы в волокнистых КМ значительный. Так, диаметр волокон изменяется в пределах от долей мкм до нескольких десятков и сотен мкм. Другой диапазон армирующих волокон велик и может измеряться десятками и тысячами метров.

В настоящее время можно выделить три самостоятельных вида КМ, армированных волокнами:

1. Композиты на металлической матрице. Например, на титане, алюминии или магнии. Такие композиты могут быть армированы двумя видами волокон:

- с высокой степенью пластической деформации (проволокой из различных металлов: вольфрама, молибдена, бериллия и др.);
- с низкой степенью пластической деформации (карбидом кремния, окисью алюминия, бором или углеродом, нитевидными кристаллами).

2. Композиты на керамической матрице. Это материалы с неорганической, неметаллической термостойкой матрицей. Преимущественно в качестве матриц в них применяют карбиды, бориды, нитриды, а также оксиды бора, алюминия и углерода.

3. *Композиты на полимерной матрице (или армированные пластики)* – композиционные материалы, матрицей в которых являются высокомолекулярные соединения. Армированные пластики в зависимости от химической природы наполнителя разделяют на стекло-, угле-, органо-, базальто-, металло-, керамикопластики и другие.

1.2. Полимерные материалы конструкционного назначения

В данной дисциплине мы будем рассматривать полимерные материалы, применяемые в производстве изделий конструкционного назначения – конструкционные пластики (ненаполненные термопласты и реактопласты, наполненные и армированные пластики, пенопласты).

Традиционно эти материалы относятся к пластическим массам, хотя вы теперь представляете, что из них выделен отдельный класс полимерных материалов – полимерные композиционные материалы (ПКМ – композиты). К ПКМ относят только полимерные материалы, наполненные твердыми наполнителями, в первую очередь усиливающими или армирующими.

В основу классификации полимерных материалов конструкционного назначения (конструкционных пластиков) положено деление их на ненаполненные и наполненные материалы. При чем ПКМ являются одним из видов наполненных пластиков. Практически все ненаполненные пластики могут быть матрицей наполненных материалов.

Общая характеристика ненаполненных пластиков приведена на схеме (рис. 1.4). К этим материалам полностью применим термин «пластические массы», поскольку на одной из стадий переработки они находятся в вязко-текучем или пластическом состоянии.

Основными классами ненаполненных пластических масс являются термопласты и реактопласты. Термопласты, в свою очередь, подразделяются на немодифицированные и модифицированные: стабилизированные, пластифицированные, ориентированные термопластичные полимеры с различной степенью кристалличности и разным физическим состоянием аморфных областей.

К этому классу относят термопластичные полимер-полимерные композиции – смеси и сплавы с термопластичной непрерывной фазой. Ненаполненные реактопласты подразделяются по основным типам реакционноспособных олигомеров на соответствующие отверждающиеся композиции или смеси (друг с другом, с полимерами). Реакционноспособные олигомеры различаются структурой цепей, природой, количеством и распределением по цепи функциональных групп.



Рис. 1.4. Классификация ненаполненных пластиков

Ненаполненные полимерные материалы, кроме того что являются матрицей для наполненных пластиков, служат основой широкого класса конструкционных материалов, таких как:

- ненаполненные пластики (пластмассы, термопласты и реактопласты);
- ненаполненные эластомеры;
- ненаполненные клеи и герметики;
- ненаполненные защитные покрытия;
- ненаполненные волокна и пленки.

Общая классификация наполненных пластиков приведена на схеме (рис. 1.5).

В основе классификации наполненных пластиков обычно лежит природа полимерной матрицы (связующего), природа и назначение твердого наполнителя, форма его частиц и их распределение в полимерной фазе.

1.3. Задачи полимерного материаловедения

Специфичность и многообразие полимерных материалов, способов их получения, методов контроля состава, структуры и свойств, а также все возрастающая роль этих материалов в развитии всех отраслей современной техники и технологии потребовали создание самостоятельного раздела в такой прикладной науке о материалах, как материаловедение.

Основной задачей *полимерного материаловедения* является разработка принципов и условий направленного и контролируемого регулирования состава и структуры полимерных материалов для обеспечения заданных технологических и эксплуатационных свойств. Полимерное материаловедение базируется на общих представлениях о процессах образования, структуре и свойствах полимеров и полимерных материалов. Все это изучается химией, физикой и механикой полимеров.

Полимерное материаловедение решает такую важную задачу, имеющую практическое значение, как классификация полимеров и полимерных композиций, используемых в качестве важных типов полимерных материалов. Прикладные аспекты полимерного материаловедения, которые используются для решения конкретных задач по созданию и применению полимерных материалов, тесно связаны с проблемами технологии получения и переработки полимеров и полимерных материалов.



Рис. 1.5. Классификация наполненных и армированных пластиков (полимерных композиционных материалов) по формам частиц наполнителей и их распределению

Специфика полимерных композиционных материалов, которые теперь являются большим классом веществ, позволяет рассматривать эти материалы как единую независимую область полимерного материаловедения. Эта область материаловедения получила развитие на основе существующих научных представлений и методов исследования о полимерах, о химии и физике твердой поверхности, о волокнах органического и неорганического происхождения.

Работы в области полимерных композитов рассматриваются в двух аспектах.

Первый – достижение рекордных характеристик и свойств: максимальной удельной прочности $[\sigma/\rho]$, жесткости, теплостойкости и других специфических свойств. Развитие этого направления требуется для специальных отраслей промышленности (авиационной и ракетно-космической).

Второй аспект – экономический: применение полимерных композитов может привести к значительному снижению себестоимости продукции – за счет использования более дешевого малоиспользуемого сырья или применения более высокопроизводительных технологий. Экономическая целесообразность обуславливает широкое внедрение полимерных композитов во все сферы промышленного производства.

Все большее внимание вызывает проблема переработки дисперсно-наполненных ПКМ. Для волокнистых ПКМ были разработаны специальные методы, обеспечивающие реализацию заложенных в этих материалах свойств. Дисперсно-наполненные ПКМ на базе реактопластов перерабатывают традиционными методами, как термореактивные пластмассы. Естественно, что ПКМ на основе термопластов пытались переработать традиционными для них методами: литьем под давлением, экструзией, выдуванием. Это заставляло приспосабливать свойства ПКМ на термопластах к требованиям перерабатывающей технологии. Прежде всего, это относится к вязкости расплава ПКМ, которая увеличивается с введением наполнителя.

При обычной технологии переработки порог наполнения, зависящий от формы частиц, не превышает 40–50 % по массе. Сейчас внедряются методы переработки термопластичных ПКМ за счет использования приемов, характерных для реактопластов. При уменьшении сдвиговых деформаций при переработке удастся реализовать более высокие степени наполнения, а также более сложную микроструктуру ПКМ, которая разрушается при традиционных режимах переработки. Однако здесь возникает противоречие между качеством изделия, определяемым структурой материала, и производительностью оборудования. Высокая производительность связана

с большими сдвиговыми деформациями. Эти противоречия удается разрешить путем использования новых технологий. Так в 80-е годы были разработаны технологии получения древесно-полимерных материалов для автомобилестроения из полипропилена и полиэтилена высокой плотности со степенью наполнения до 80 % древесными частицами. Например, экструзионный листовой материал из древесно-наполненного полипропилена «Поливуд» (фирма «Комес», Италия), прессованные листы из древесно-наполненного ПП «Бизолен» (фирма «Бизон», ФРГ). Сегодня изготавливаются методом экструзии стеновые панели со степенью наполнения древесными частицами до 95 %.

Еще одной важной задачей, превращающейся в самостоятельную, является использование различных видов отходов, в том числе вторичных полимерных продуктов в виде наполнителей для ПКМ. Если сначала доминировала проблема удешевления ПКМ таким способом, а затем привлекла внимание возможность расширить сырьевую базу, то теперь основной акцент делается на снижение энергоемкости и охрану окружающей среды от загрязнений. Для некоторых видов отходов найдены удовлетворительные технические и экономические решения. Создание ПКМ путем измельчения этих отходов в тонкодисперсные порошки и смешения с полимерной матрицей представляется наиболее универсальной возможностью. Область применения этих ПКМ включает строительство, создание дешевой теплоизоляции, оборотной тары, дренажных и оросительных труб, искусственной черепицы и кровли и т. п. В 80-е годы прошлого столетия в США, Японии, Германии, СССР практически одновременно было начато использование тонкоизмельченных отходов резины (в особенности изношенных шин) в качестве наполнителей для термо- и реактопластов.

Создание ПКМ во всем мире в последние годы стало генеральной линией развития полимерного материаловедения и технологии переработки полимерных материалов и рассматривается как основной резерв получения новых материалов с улучшенными свойствами.

1.4. Основы выбора полимерных материалов для создания изделий

При выборе полимерного материала для создания изделий получил признание принцип: *марка полимерного материала должна быть доведена до требований каждого изделия*. Реализация этого принципа приводит к росту числа марок полимерных материалов. Сейчас промышленностью во всем мире выпускается несколько тысяч марок

полимерных материалов. Они включают широкий перечень термоактивных и термопластичных полимеров и композиций на их основе, используемых для изготовления изделий различного назначения.

В настоящее время имеется около 50 основных промышленных видов полимеров, в том числе около 36 термопластов и более 12 реактопластов. В каждом виде – более 50 типов и модификаций. Но номенклатура изделий значительно опережает по числу наименований число марок полимерных материалов. Номенклатуру изделий трудно учесть: ориентировочно их в районе 850 тысяч наименований.

Одной из важнейших целей специалиста по переработке пластмасс является осуществление выбора полимера, подходящего для решения конкретных задач, вытекающих из условий изготовления и эксплуатации изделия. В редких случаях перед специалистами встает вопрос создания нового материала.

Создание нового материала – задача непростая и недешевая. Определяющим фактором здесь является выбор базового полимера (матрицы), так как именно его свойствами в основном будут определяться свойства проектируемого композита. Кроме того, одним из направлений в решении задачи создания нового полимерного материала является модификация уже применяемого полимерного материала до нужных свойств в процессе переработки.

Успешное конструирование изделия возможно только при учете комплекса свойств полимеров, условий их эксплуатации и методов переработки в изделия. При конструировании всегда необходимо стремиться к максимально полному использованию материала при минимальной его стоимости.

Для осуществления при конструировании выбора одного конкретного полимера из всего многообразия вариантов разработано множество систем классификации полимеров и композиционных материалов. Полимерные материалы классифицируют по:

- химической структуре;
- областям применения;
- технологическим свойствам;
- стоимости;
- объему производства;
- комплексу параметров эксплуатации.

При выборе полимерного материала для конструирования определяющими являются значения показателей теплостойкости, предела текучести, модуля упругости и твердости. Критерии классификации полимерных материалов по комплексу эксплуатационных характеристик показаны в таблице 1.3 и на рисунке 1.6, где T_g – температура

размягчения по Вика, °С; $\sigma_{т.р}$ – предел текучести при разрыве, МПа; E_p – модуль упругости при растяжении, МПа; HB – твердость по Бринеллю, МПа; T_e – температура во время работы, °С; a – ударная вязкость кДж/м².

Таблица 1.3

Классификация полимерных материалов
по совокупности эксплуатационных свойств

№ группы (рис. 1.6)	Полимерные материалы
1.1	Сополимеры этилена и винилацетата, поливинилхлорид пластифицированный, вспененный полиэтилен
1.2	Поливинилхлорид непластифицированный, вспененный полистирол, этролы, сополимер стирола с метилметакрилатом и нитрилом акриловой кислоты
2.1	Полиэтилен низкой плотности, сополимер этилена и полипропилена, полиуретаны
2.2	Полиэтилен высокой плотности, полиэтилен среднего давления, полипропилен, полистирол, ударопрочные сополимеры стирола, сополимеры стирола с α -метилстиролом или нитрилом акриловой кислоты, фторопласты, жесткие полиуретаны, пентапласт, полиметилметакрилат, сополимер стирола с метилметакрилатом
3.1	Пресс-порошки, пенопласты на основе фенолоформальдегидных, аминокальдегидных, эпоксидных смол, премиксы эпоксидных смол
3.2	Полиамиды, поликарбонат, сополимеры формальдегида, полибутилентерефталат, полифенилоксид, полисульфон, полиакрилаты, препреги, гетинаксы на основе фенолоформальдегидных смол, листовые слоистые материалы на основе аминокальдегидных смол, текстолит
4	Полиамид-66, полибутилентерефталат, полиэфирсульфон, стеклонаполненные композиции на его основе, эпоксикремнийорганические пресс-материалы, стеклотекстолиты на основе фенолоформальдегидных и эпоксидных смол, волокниты, стекло- и асболокниты
5	Фенилон, полиимид, полибензоксазол, полиамидоимиды, композиты на основе кремнийорганических смол

По последней классификации (табл. 1.3) полимерные материалы делят на две большие группы: общетехнического назначения и инженерно-технического назначения.

Конструкционные полимерные материалы общетехнического и инженерно-технического назначения при повышенных температурах и, следовательно, по возможности применения существенно различаются по поведению при воздействии механической нагрузки.

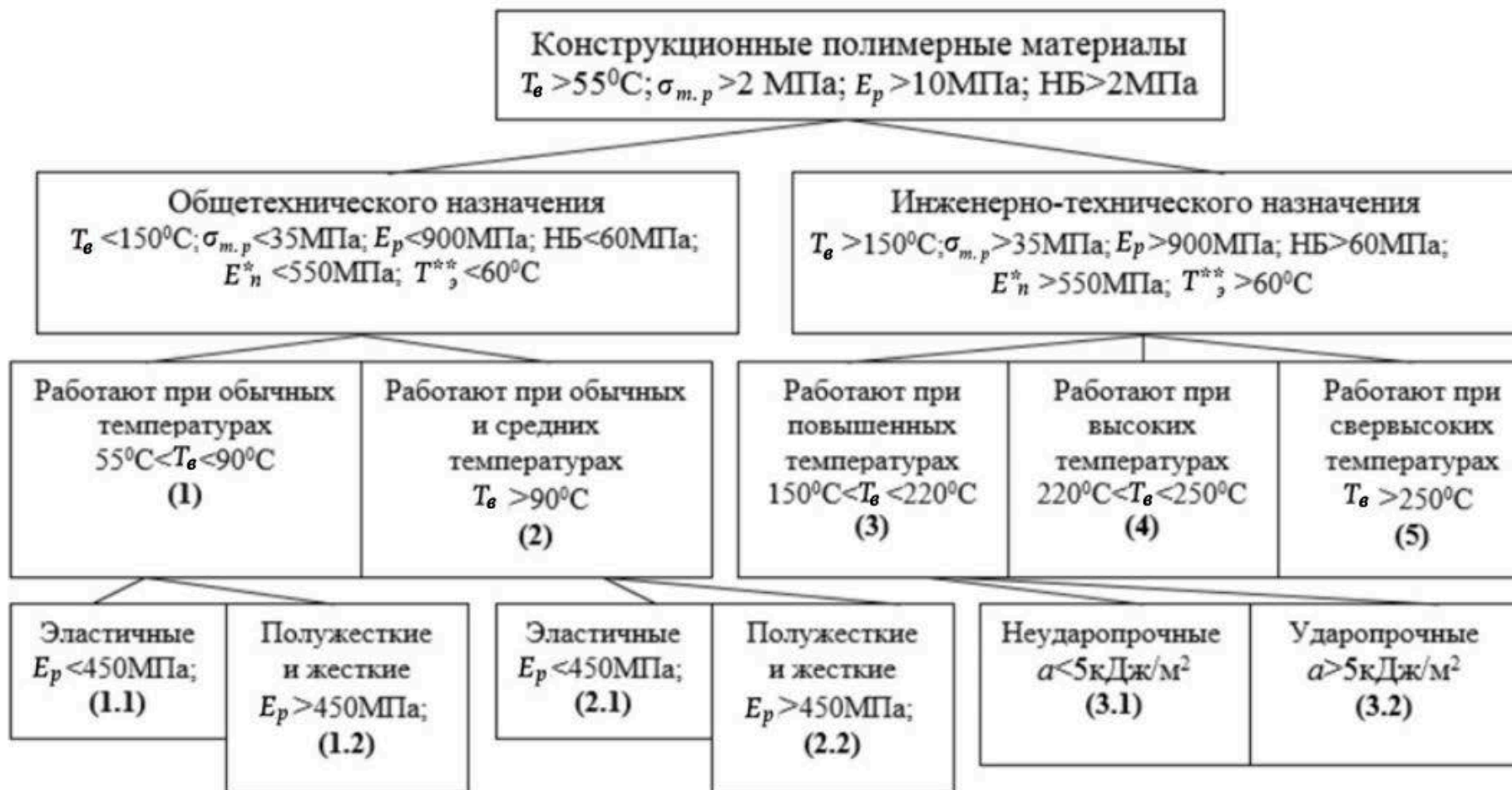


Рис. 1.6. Критерии классификации полимерных материалов по совокупности параметров эксплуатационных свойств (E_n – модуль ползучести при деформации 0,5 % и продолжительности действия нагрузки 1 000 ч; T_{θ} – максимальная температура эксплуатации при длительной статической нагрузке)

Полимерные материалы общетехнического назначения характеризуются резким снижением механических характеристик с повышением температуры, так как имеют низкую теплостойкость. Они неработоспособны при кратковременной нагрузке при температуре $> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и работают в нагруженном, слабонагруженном состоянии при обычных, средних (до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) температурах.

У *полимерных материалов инженерно-технического назначения* более высокие механические характеристики и теплостойкость – меньшее снижение этих параметров с повышением температуры. Полимерные материалы данного класса могут работать при кратковременной нагрузке и высоких температурах ($> 250\text{ }^{\circ}\text{C}$), долго эксплуатироваться под нагрузкой при повышенных температурах.

Какие полимерные материалы будут наиболее востребованы в будущем? Любые прогнозы здесь нужно применять с оговорками. Так, аналитики предсказывали в 1975 г., что к 2005 г. применение стандартных пластмасс сократится и они уступят место техническим пластмассам. Однако сегодня потребность в стандартных пластмассах составляет порядка 85 %, 14 % составляют технические пластмассы и менее 1 % – суперполимеры (полиэфирсульфон, фенилон, полиимид, полибензоксазол, полиамидоимиды). Безусловно, есть тенденция к увеличению доли технических пластмасс: на это указывает усиливающаяся специализация фирм-производителей на производстве инженерных марок полимеров.

Данные об областях применения пластмасс (рис. 1.7) указывают на то, что наиболее серьезные процессы в развитии полимерных производств, происходят в сфере упаковки, автомобилестроения и электронной техники.

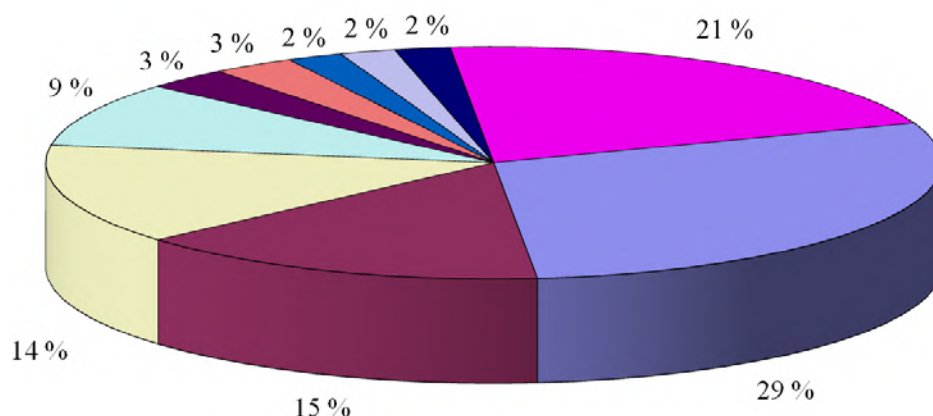


Рис. 1.7. Применение полимерных материалов по отраслям:
 29 % – упаковка; 15 % – электроника/связь; 14 % – автомобили;
 9 % – домашнее хозяйство; 3% – строительство; 3% – игрушки;
 2 % – медицина/лаборатории; 2 % – оптика/точная механика;
 2 % – мебель; 21 % – другие области применения

1.5. Классификация методов переработки полимерных материалов по технологическому назначению

Переработка полимерных материалов – это совокупность процессов, с помощью которых исходный полимер превращается в изделие. Существует более сотни различных методов переработки полимеров и композитов.

Выбор конкретной технологии изготовления изделия в каждом случае определяется исходя из:

- конструктивных особенностей изделия;
- условий его эксплуатации;
- технологических свойств используемого полимера;
- некоторых экономических факторов (например, стоимости или объема производства).

Общая схема и систематизация методов формования изделий из полимерных материалов рассматривается в дисциплине «Технология переработки полимеров».

По технологическому назначению методы переработки полимерных материалов подразделяются на подготовительные, основные и завершающие.

Методы предварительной подготовки сырья используются для улучшения технологических свойств перерабатываемого полимерного сырья, а также для получения полуфабрикатов и заготовок (листов, таблеток, гранул).

Среди подготовительных методов можно выделить *смешение, вальцевание, таблетирование, гранулирование, сушку, предварительный подогрев*. К подготовительным операциям в технологическом процессе переработки полимерных материалов относятся также *дробление, измельчение, сортировку и дозирование*.

Особую группу составляют *методы получения конструкционных изделий* из полимерных композиционных материалов – армированных пластиков. В данном случае основными являются методы: *контактное формование, напыление, насасывание, формование с помощью эластичной диафрагмы, пропитка под давлением в замкнутой форме, намотка, центробежное формование, протяжка (пултрузия), пресование*.

Назначение *завершающих методов* – придание готовым изделиям определенного внешнего вида, создание отдельных элементов изделия. Важнейшими из этих методов являются *механическая обработка, шлифование и полировка изделий, сварка и склейка, термическая обработка, нанесение декоративных покрытий*.

1.6. Требования, предъявляемые к оборудованию по переработке полимерных материалов

Оборудование для переработки полимерных материалов характеризуется широкой номенклатурой по типам машин и агрегатов. Это объясняется разнообразием способов формования и свойствами полимерных материалов. Физико-химические процессы, протекающие при переработке материалов, определяют основные требования к перерабатываемому оборудованию. Кроме основных видов оборудования, в перерабатывающих производствах используют вспомогательное нетиповое оборудование для транспортировки, расфасовки, хранения и складирования.

Основное оборудование для переработки полимерных материалов можно разделить, в соответствии с основными стадиями производства, на оборудование для подготовки собственно формования и обработки, отделки и сборки изделий.

Основное требование ко всем видам оборудования – обеспечение получения продукции отличного качества при высокой производительности и наименьших затратах сырья и энергопотребления. Повышение производительности достигается при использовании агрегатов большой единичной мощности, многопозиционного оборудования, внедрения прогрессивных технологических процессов. Целесообразно соединение в ряде случаев перерабатывающих производств с производствами получения олигомера или полимера, которые предназначены для переработки на данном оборудовании. Наряду с созданием агрегатов большой единичной мощности постоянной тенденцией является разработка широкой гаммы типоразмеров оборудования. Одним из основных направлений совершенствования процессов и оборудования для переработки полимерных материалов является внедрение систем автоматизированного управления технологическими процессами на основе микропроцессорной техники (АСУТП) и автоматизированных роторных линий и комплексов. Для использования этих систем необходимо увеличение надежности оборудования, применение правильно сконструированной оснастки, отработанных технологических режимов.

Решающее значение имеет внедрение прогрессивных, высокопроизводительных, принципиально новых методов переработки с использованием высокого давления, вакуума, радиационного (электронных пушек) и вибрационного (ультразвукового) воздействия.

Получается интенсивное использование манипуляторов (роботов) для управления литьевыми, вакуум-формовочными, выдувными и другими агрегатами. Они производят закладку в форму арматуры, извлечение изделий из формы, отделение литника и другие операции. Использование манипуляторов позволяет повысить производительность труда, снизить себестоимость изделий. Необходимо понять, что роботизация нужна не для экономии рабочей силы, а для укорачивания цикла производства, так как робот в 5 раз быстрее человеческой руки и нужен для получения более качественных изделий.

2. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

2.1. Назначение подготовительного производства

Технология подготовительного производства в промышленности переработки полимерных материалов охватывает большое число способов обработки исходных материалов. Ее основной целью является обеспечение высокого качества конечного продукта.

В технологии переработки полимерных материалов подготовительное производство является промежуточным звеном между производством исходных полимеров и их переработкой, т. е. изготовлением из них полуфабрикатов (рис. 2.1).

В подготовительном производстве преимущественно осуществляют такие процессы, которые облегчают и улучшают переработку полимеров и полимерных материалов. Основное назначение подготовительного производства:

- улучшение перерабатываемости полимерных материалов;
- модификация свойств полимеров в соответствии с требованиями к конечным продуктам;
- обеспечение экономически выгодных процессов производства изделий с хорошими эксплуатационными характеристиками.

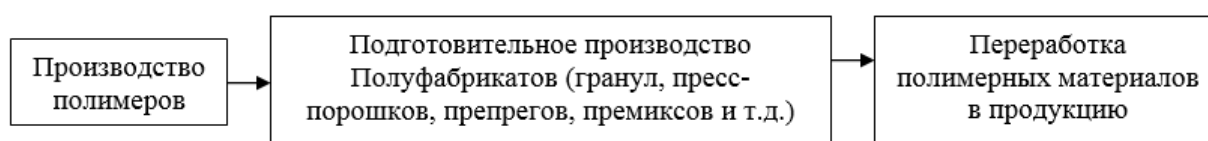


Рис. 2.1. Технология переработки полимерных материалов

Рассматривается главным образом тепло- и массообмен, которые реализуются при смешении и диспергировании под воздействием тепловой и механической энергии.

Наряду с подготовкой исходных компонентов, таких как стабилизаторы, пластификаторы, наполнители, красители и др., часто требуется удалить низкомолекулярные вещества, например, влагу, остаточные мономеры, растворители, и придать наполненному полимеру хорошую перерабатываемость, т. е. улучшить технологические свойства.

К процессам подготовительного производства в технологии переработки полимерных материалов относят модификацию и формование материала. *Модификация материала:*

1. Совмещение, а именно:

- смешение сыпучих материалов с сыпучими;
- смешение сыпучих материалов с жидкостями;
- смешение жидкостей с жидкостями;
- смешение жидкостей с газами;
- пропитка твердых веществ растворами;
- растворение;
- суспендирование;
- вспенивание.

2. Разделение, а именно:

- сортировка твердых веществ;
- удаление жидкостей из твердых частиц (сушка);
- удаление газов и летучих веществ из твердых частиц.

Формование материала:

- агломерация: грануляция, таблетирование, уплотнение;
- измельчение: дробление, диспергирование.

2.2. Оборудование для диспергирования (измельчения) сырья

Сырье, вводимое в состав полимерных материалов, измельчается на дробильно-помольном оборудовании. Под измельчением понимают процесс разрушения твердого тела и превращение кусков в мелкие под действием внешних сил. В зависимости от величины исходного материала и размеров частиц в конечном продукте различают грубое измельчение (дробление) и тонкое измельчение (помол).

Существуют следующие основные способы измельчения материала: *раздавливание, удар, истирание, раскалывание* и сочетание указанных способов. К основным видам дробильно-помольных машин относят дробилки и мельницы.

2.2.1. Дробилки

По конструкции и принципу действия дробилки разделяют на:

1. *Щековые дробилки* с простым и сложным качением подвижной щеки (рис. 2.2).

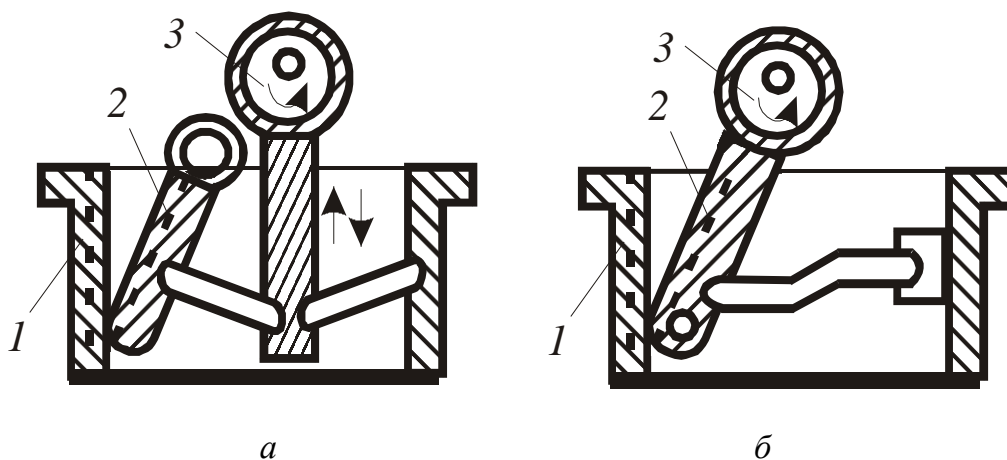


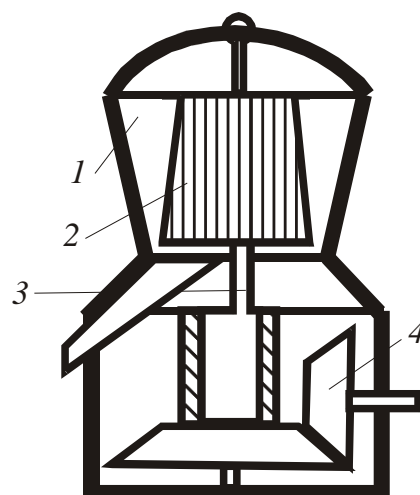
Рис. 2.2. Схема щековых дробилок с простым (а) и сложным качением (б):
1 – неподвижная; 2 – подвижная щека; 3 – эксцентрик

В этих дробилках материал раздавливается и раскалывается между неподвижной и подвижной щеками в результате периодического сближения. Сближение подвижной щеки происходит за счет эксцентрикового вала. Рабочие поверхности щек имеют рифленую (зубчатую) поверхность. В дробилках со сложным качением щеки материал еще и истирается.

2. В *конусных дробилках* (рис. 2.3) материал раздавливается и частично изгибается между внешним неподвижным конусом и внутренним дробящим конусом, которые имеют зубчатую рабочую поверхность. Дробящий конус движется по окружности эксцентрично по отношению к внешнему. В конусных дробилках продукт измельчается непрерывно. Дробилки классифицируют по:

- *технологическому признаку* – мелкого и крупного дробления;
- *конструктивному оформлению* – с подвешенным валом, консольным и эксцентриковым валами.

Рис. 2.3. Схема конусной дробилки:
 1 – неподвижный внешний конус;
 2 – дробящий конус; 3 – эксцентриковый вал;
 4 – конический редуктор



3. *Валковые дробилки* (рис. 2.4), в которых материал раздавливается и частично истирается между валками, вращающимися один навстречу другому.

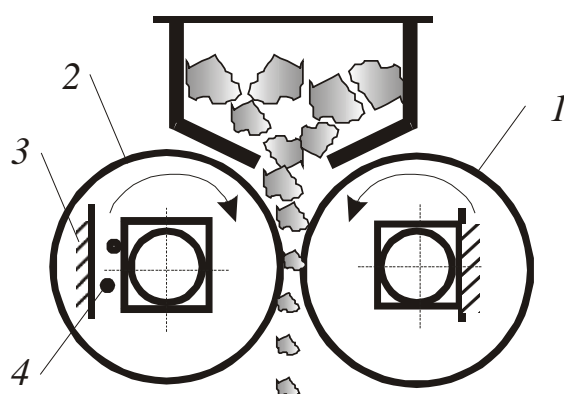


Рис. 2.4. Схема валковой дробилки:
 1 – неподвижный; 2 – подвижный валок; 3 – корпус; 4 – пружина

4. В *молотковых дробилках* (рис. 2.5) материал дробится при ударе молотками, свободно подвешенными на быстровращающемся роторе, и частично истирается. Куски дробятся при ударе друг о друга, дробящие плиты и колосники. Есть молотковые дробилки с жестко закрепленными молотками и шарнирно подвешенными молотками.

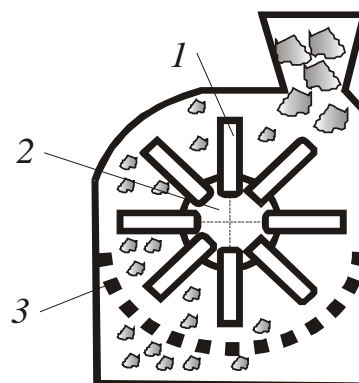


Рис. 2.5. Схема молотковой дробилки:
 1 – молоток; 2 – ротор; 3 – колосник

5. *Бегуны* (рис. 2.6) предназначены для мелкого дробления и грубого помола. Материал раздавливается и истирается между двумя вращающимися катками и чашей.

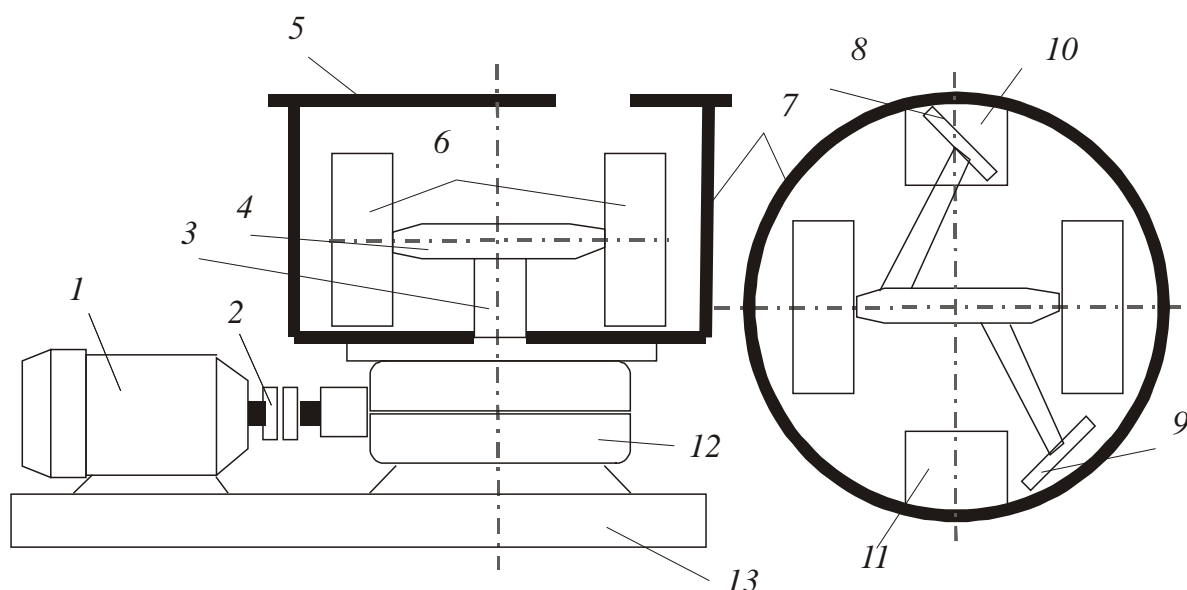


Рис. 2.6. Схема конструкции бегунов: 1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – консольный вал; 4 – траверса; 5 – крышка; 6 – катки; 7 – чаша; 8, 9 – отвалы; 10, 11 – разгрузочные люки; 12 – редуктор; 13 – станина

2.2.2. Мельницы

По конструкции и принципу действия различают следующие основные типы мельниц:

1. *Барабанные (шаровые или стержневые)* (рис. 2.7) предназначены для тонкого помола. При вращении барабана от электродвигателя через редуктор мелящие тела (шары или стержни) перекатываются (скользят), и материал измельчается ударом и частично истирается.

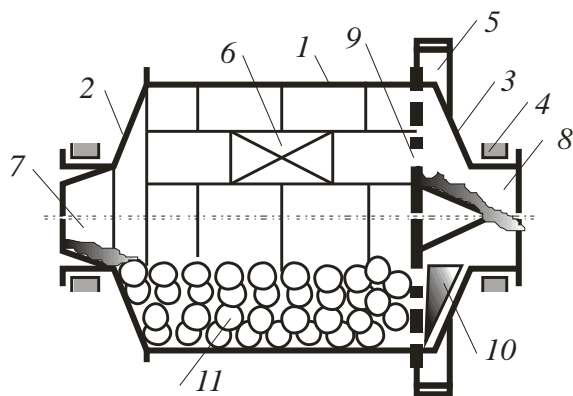


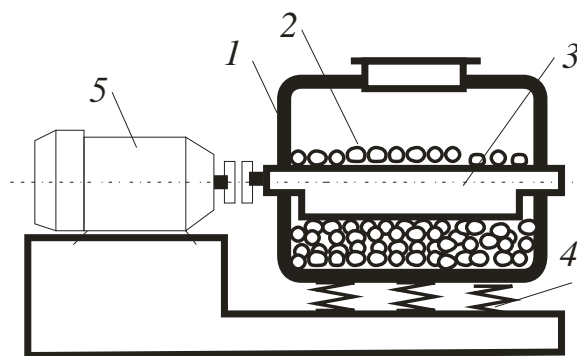
Рис. 2.7. Схема шаровой мельницы:
1 – барабан; 2, 3 – крышки;
4 – подшипник; 5 – зубчатый венец;
6 – плиты; 7 – загрузочная цапфа;
8 – разгрузочная цапфа; 9 – диафрагма;
10 – лифтеры; 11 – шары

Мельницы могут быть периодического и непрерывного действия. Основные преимущества шаровых мельниц – получение высокой и постоянной тонины помола и ее регулирование, возможность подсушки материала в самой мельнице, простота конструкции и надежность работы.

2. *Вибрационные* (рис. 2.8) применяют для тонкого и сверхтонкого помола. Они наиболее эффективны при сверхтонком измельчении (1–10 мкм). Подразделяются на инерционные и гирационные (эксцентрикковые). Вибрация корпуса, опирающегося на пружины, осуществляется вращающимся дисбалансным валом. В этом случае материал подвергается многократному воздействию шаров, поскольку число ударов в вибрационной мельнице во много раз больше чем в шаровой.

Рис. 2.8. Схема вибрационной инерционной мельницы:

- 1 – корпус; 2 – мелющие тела;
- 3 – дисбалансный вал;
- 4 – пружинная опора;
- 5 – электродвигатель



3. *Роликово-маятниковые* (рис. 2.9) предназначены для размола. В них материал раздавливается между неподвижным кольцом и быстровращающимися роликами.

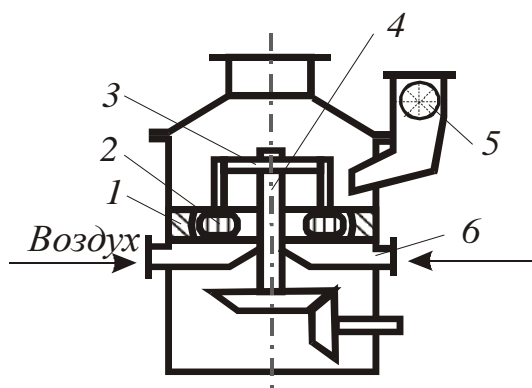


Рис. 2.9. Схема кольцевой ролико-маятниковой мельницы:

- 1 – кольцо; 2 – ролик; 3 – крестовина;
- 4 – вал; 5 – питатель;
- 6 – газовый коллектор

4. *Молотковые ударные* (рис. 2.10) предназначены для грубого и тонкого помола материалов мягких и средней твердости и в некоторых случаях с одновременной подсушкой. Принцип действия такой же, как и у молотковых дробилок.

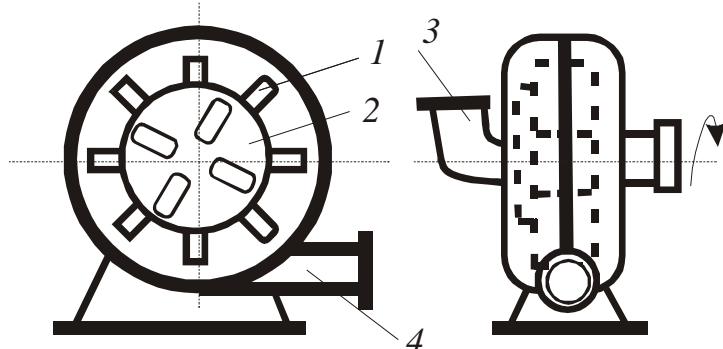


Рис. 2.10. Схема молотковой ударной мельницы:

1 – молотки; 2 – ротор;
3 – загрузочный патрубок;
4 – патрубок выгрузки

5. *Дезинтеграторы* (рис. 2.11) относятся к группе молотковых мельниц и предназначены для измельчения влажных и термочувствительных материалов, например, при получении древесного волокна. Измельчение происходит при ударе частиц о пальцы, одна о другую. Имеет место и частичное истирание.

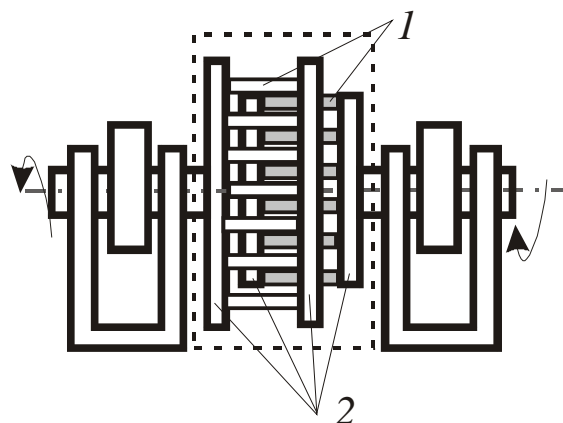


Рис. 2.11. Схема дезинтегратора:

1 – пальцы;
2 – диски крепления пальцев

6. *Пневматические* (рис. 2.12) предназначены для тонкого измельчения. В них материал измельчается при ударе. Кусочки подхватывает воздух, нагнетаемый через сопло. Частицы летят со скоростью 20–80 м/с и ударяются о размольную плиту, друг о друга.

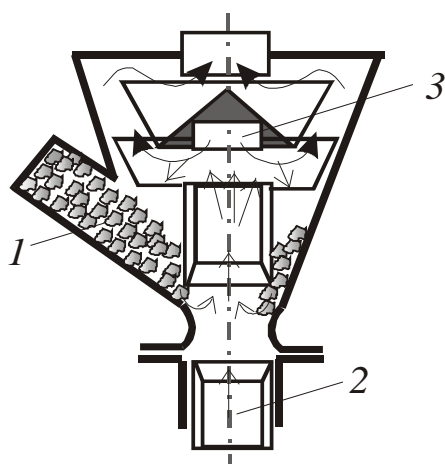


Рис. 2.12. Схема пневматической мельницы:

1 – измельчаемый материал; 2 – сопло;
3 – размольная плита

7. *Струйные* (рис. 2.13) предназначены для сверхтонкого помола. Размол в них происходит за счет соударения частиц, находящихся в турбулентном воздушном потоке, скорость которого сверхзвуковая – около 480 м/с. Мельница выполнена в виде эллиптической трубы, в нижней части которой имеются сопла для подачи воздуха. Частицы материала из приемного бункера поступают в зону диффузора трубы 1, где подхватывается воздухом, поступающим по трубе 2. Затем материал подается в корпус мельницы. В верхней части корпуса мелкие частицы после удара о заслонку (торможения) уносятся из корпуса через патрубок. Более крупные частицы за счет большой инерции движутся по корпусу вниз и снова подхватываются потоком воздуха, соударяясь друг о друга.

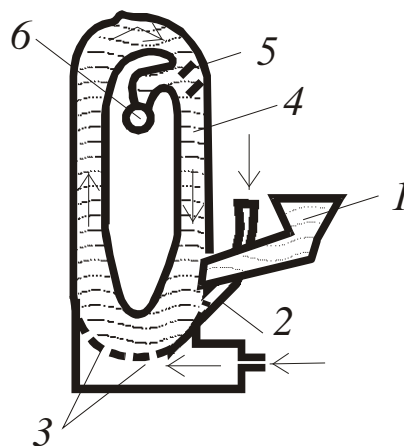


Рис. 2.13. Схема струйной мельницы:
1 – труба-питатель; 2 – воздушная труба;
3 – сопла; 4 – эллиптический корпус;
5 – отбойная заслонка; 6 – выходной патрубок

2.2.3. Оценка степени диспергирования материалов

При измельчении и диспергировании твердое тело под действием внешних сил делится на части с образованием новых поверхностей. Важными характеристиками измельчаемого материала являются форма и размер частиц, а самого процесса диспергирования – степень диспергирования (или измельчения).

Для оценки получаемой смеси частиц необходимо знать средний размер частиц диспергируемой фазы, а также дисперсию среднего размера частиц и объемного содержания диспергируемой фазы по объему смеси. Информацию о размерах диспергируемой фазы получают различными методами дисперсионного анализа (табл. 2.1).

В зависимости от размеров наиболее крупных кусков исходного и частиц измельченного материала различают следующие виды измельчения (табл. 2.2).

Таблица 2.1

Методы дисперсионного анализа

Метод анализа	Размер частиц, м (граница применимости)
Ситовой	$10^{-2} - 10^{-4}$
Сендиметационный	$10^{-4} - 10^{-6}$
Кондуктометрический	$10^{-4} - 10^{-6}$
Микроскопии	$10^{-4} - 10^{-7}$
Фильтрования	$10^{-5} - 10^{-7}$
Центрифугирования	$10^{-6} - 10^{-8}$
Ультрамикроскопии	$10^{-7} - 10^{-9}$
Нефелометрии	$10^{-7} - 10^{-9}$
Электронной микроскопии	$10^{-7} - 10^{-9}$

Таблица 2.2

Классификация измельчения материалов

Класс измельчения	Размер кусков исходного материала (D_c), мм	Размер кусков измельченного материала (dc), мм
Дробление:		
крупное	1 000	250
среднее	250	20
мелкое	20	1–5
Помол:		
грубый	1–5	0,1–0,04
средний	0,1–0,04	0,015–0,005
тонкий	0,1–0,04	0,005–0,001
коллоидный	< 0,1	< 0,001

Наиболее широко используются ситовой анализ и микроскопия (последняя – в виде пленок и микроатомных срезов). При ситовом анализе на практике широко распространено измерение частиц по минимальному диаметру круглого отверстия, через которое может пройти частица. На практике исходный материал и продукт измельчения представляют собой смесь, состоящую из частиц размерами от d_{\min} до d_{\max} . Размеры максимальной частицы принимают равными размеру отверстий сита, на котором не остается материала, а минимальные размеры – размеру отверстий сита, на котором данная фракция остается.

Средневзвешенный размер частиц $d_{с.в}$ продукта измельчения вычисляют по уравнению, мм:

$$d_{с.в} = (\sum d_i x_i) / 100, \quad (2.1)$$

где d_i – среднее арифметическое размеров частиц узкой фракции;
 x_i – выход (содержание) фракции, %.

При проведении ситового анализа размеры ячейки сита, суммарный остаток на котором равен 5 % (d_5), в ряде случаев является более достоверным показателем чем максимальный размер d_{\max} . Другим важным показателем является размер ячейки сита, остаток на котором равен 50 % по массе (d_{50}).

Результаты измельчения материала можно оценивать разными показателями. Основным из них является степень измельчения:

$$i = \frac{D_{с.в}}{d_{с.в}}, \quad (2.2)$$

где $D_{с.в}$ и $d_{с.в}$ – средневзвешенный размер частиц материала соответственно до и после проведения процесса измельчения, мм.

Иногда в качестве показателя степени диспергирования применяется изменение удельной поверхности частиц до и после процесса, мм^{-1} :

$$\Delta S_{уд} = \frac{(i-1)}{D_{с.в}}. \quad (2.3)$$

2.3. Оборудование для сортировки материалов

2.3.1. Назначение и способы сортировки

При обработке сырья, применяемого для получения полимерных материалов, во многих случаях, особенно после диспергирования (измельчения) необходимо материалы разделить на фракции по крупности частиц, т. е. сделать сортировку.

Эффективность (качество) процесса сортировки определяется степенью извлечения мелких частиц (нижнего класса) из исходного материала (верхнего класса):

$$\eta = \frac{U}{A} = \frac{A - C}{A}, \quad (2.4)$$

где U – фактическое содержание частиц нижнего класса, прошедшего через сито;

A – действительное количество частиц нижнего класса в исходном материале;

C – количество частиц нижнего класса, задержавшихся на сите среди крупных частиц верхнего класса.

В соответствии с технологией и свойствами перерабатываемых материалов применяют следующие способы сортировки:

- механические (грохочение);
- воздушные (сепарацию);
- гидравлические (классификацию);
- электромагнитную сепарацию.

2.3.2. Грохоты для механической сортировки

Механическая сортировка, или грохочение, выполняется на машинах (*грохотах*), в которых сортируемый материал пропускается через решета или сита. Количество получаемых фракций материала определяется количеством сит в грохоте, а крупность фракций – размерами отверстий в решетках или ситах. Грохоты в зависимости от формы решета или сита подразделяются на:

- *плоские* с горизонтальным или наклонным расположением сит;
- *барабанные*, в которых сито имеет форму цилиндра или многогранной усеченной пирамиды.

По характеру движения грохоты подразделяются на *качающиеся*, *вращающиеся*, *вибрационные*. Вибрационные в свою очередь *подразделяются на гирационные* (эксцентрикковые), *инерционные*, *электромагнитные*, *ударного действия*. Наиболее распространены плоские гирационные грохоты (рис. 2.14).

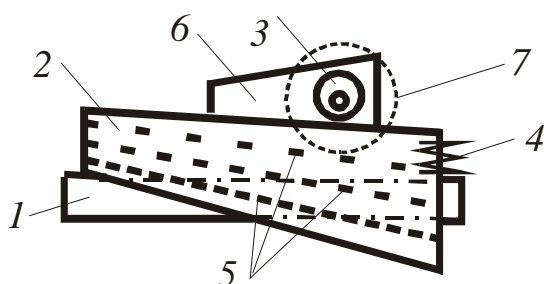


Рис. 2.14. Эксцентриковый грохот:

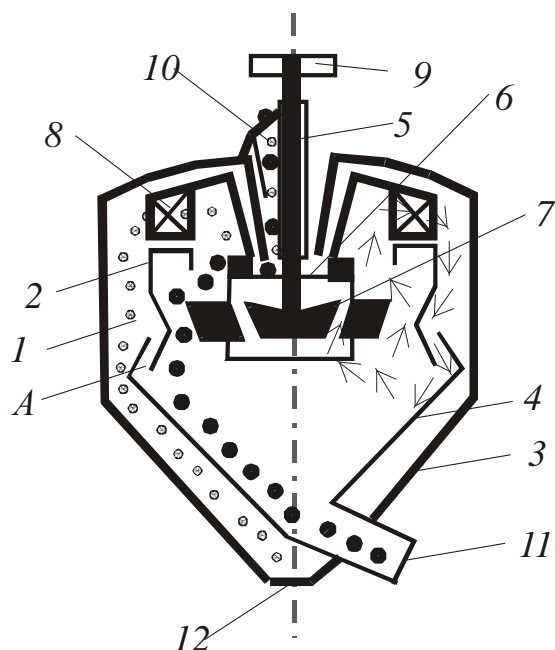
- 1 – рама; 2 – вибрирующая рама;
3 – эксцентриковый вал; 4 – пружинные амортизаторы; 5 – сита;
6 – боковые косынки; 7 – шкив привода

2.3.3. Воздушные сепараторы

Воздушная сепарация применяется преимущественно для выделения тонких фракций при сухом помоле. Она эффективна при дальнейшей пневматической транспортировке размолотых материалов, а также при параллельной их подсушке горячим воздухом. В процессе воздушной сепарации крупные и мелкие частицы материала разделяются в воздушном потоке под действием сил тяжести, центробежных сил и давления струи воздуха.

Обычно применяются сепараторы *замкнутого* типа центробежного действия (рис. 2.15).

Рис. 2.15. Воздушный сепаратор замкнутого типа:
1 – наружный барабан; 2 – внутренний барабан; 3 – наружный конус; 4 – внутренний конус; 5 – вал; 6 – распределительный диск; 7 – нагнетательный вентилятор; 8 – всасывающий вентилятор; 9 – приводной вал; 10 – подающая труба; 11, 12 – патрубки для отвода частиц; А – отводной канал воздуха



Материал из подающей трубы попадает на вращающийся распределительный диск и под действием центробежных сил слетает с него и отбрасывается к стенкам барабанов. Более тяжелые частицы отбрасываются к кожуху внутреннего барабана, опускаются по его конусной части вниз и удаляются через патрубок. Мелкие частицы сначала увлекаются вверх потоком воздуха от нижнего, а затем подхватываются потоком воздуха от верхнего вентилятора и попадают в пространство между наружным и внутренним барабанами. При переходе воздушного потока из внутреннего барабана в наружный частицы материала выходят из воздушного потока, опускаются вниз и отводятся через центральный патрубок. Воздух, освобожденный от материала, возвращается через отводной канал во внутренний кожух сепаратора.

2.3.4. Гидравлические классификаторы

Применяются для разделения на фракции продуктов тонкого мокрого помола. Этот способ сортировки основан на использовании разности скоростей падения частиц крупных и мелких фракций. Схема спирального классификатора представлена на рисунке 2.16.

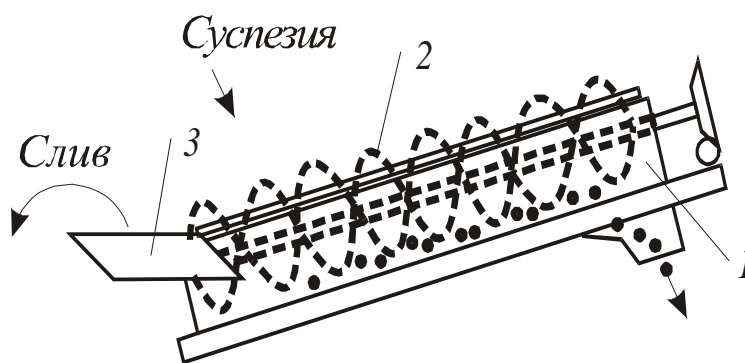


Рис. 2.16. Схема спирального классификатора:
1 – корыто; 2 – спираль; 3 – сливной порог

Мелкие фракции материала удаляются через слив с жидкой фазой суспензии. Крупные фракции, осевшие на дно корыта, вращающейся спиралью поднимаются вверх и через лоток удаляются из классификатора.

2.3.5. Электромагнитные сепараторы

Электромагнитная сепарация применяется главным образом для выделения из сырья ферромагнитных примесей во избежание поломок деталей перерабатывающих машин и агрегатов. Принцип магнитной сепарации заключается в том, что материал пропускают через зону с сильным магнитным полем. При этом материалы, обладающие магнитными свойствами, притягиваются к магниту, а затем отводятся. Материалы, не обладающие магнитными свойствами, не подвергаются действию магнита.

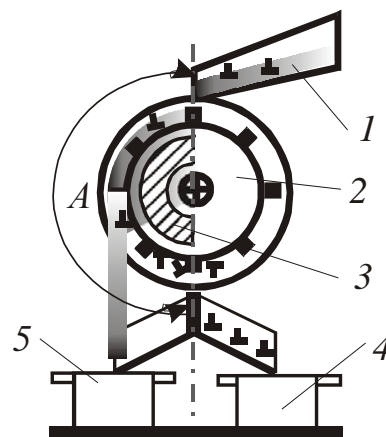
Все применяемые электромагнитные сепараторы классифицируются по:

- технологическим признакам – *сухие* и *мокрые*;
- конструктивным признакам – *шкивного* и *барабанного* типов;
- принципу действия – *электромагнитные* и *индукционные*.

На рисунке 2.17 представлена принципиальная схема действия сухого электромагнитного сепаратора.

Рис. 2.17. Электромагнитный сепаратор:

- 1 – лотковый питатель; 2 – барабан;
- 3 – магнитная система; 4 – приемник ферромагнитных включений;
- 5 – бункер для очищенного материала;
- A – участок магнитного поля



Материал подается лотковым питателем на вращающийся барабан, в котором установлена неподвижная магнитная система. Электромагнит создает магнитное поле на участке A. В этом участке все посторонние включения, проявляющие ферромагнитные свойства, притягиваются к поверхности барабана и совершают вместе с ней движения по окружности до нижней границы действия магнитного поля. Пройдя эту границу, частицы размагничиваются, отделяются от барабана и поступают в специальный бункер-приемник. Очищенный от посторонних включений материал поступает в бункер 5.

2.4. Оборудование для смешения и пропитки

2.4.1. Классификация смесительного оборудования

Теоретические аспекты смешения рассматривают в рамках дисциплины «Технология переработки полимеров».

При производстве и переработке полимерных материалов применяют различные смесительные машины и аппараты. Единая классификация оборудования для смешения компонентов полимерных материалов затруднена ввиду его разнообразия как по конструкции и назначению, так и по принципу действия. Это объясняется несколькими следующими причинами.

Компоненты смеси могут находиться в различных начальных состояниях (жидкость, порошок, гранулы) и иметь разные физико-механические свойства. Смешение часто сопровождается термодинамическими и химическими процессами. Часто требуется смешивать

материалы очень сильно различающиеся по своим физическим свойствам. Процесс смешения сопровождается пластикацией. Однако по ряду признаков механические смесители различают по:

1) конструктивным признакам: барабанные смесители без перемешивающего и с перемешивающими устройствами; смесители-пластикаторы (это одно-, многочервячные и дисковые экструдеры, червячные смесители типа «ко-кнеттер» и вальцы);

2) физическому состоянию исходных компонентов – порошка, гранулята, жидкости различной вязкости;

3) характеру процесса смешения – периодического и непрерывного действия;

4) частоте вращения перемешивающего устройства – тихоходные и быстроходные смесители;

5) механизму процесса смешения – конвективное, диффузионное и конвективно-диффузионное смешение;

6) режиму работы машины – турбулентное и ламинарное смешение;

7) способу воздействия на смесь – гравитационные, центробежные и сдвиговые смесители;

8) степени автоматизации – ручные, полуавтоматические, автоматические;

9) способу смешения – статические и динамические смесители.

Обычно следуют классификации смесителей по конструктивному признаку. В промышленности полимерных материалов часто применяют быстроходные смесители с вертикальным или горизонтальным положением привода, а также смесители закрытого типа и экструдеры. Кроме механических, применяют и другие смесители. Прежде всего, пневматические, пересыпные, а также смешивающие дозаторы, питатели и транспортеры.

К смесителям, наряду с обеспечением заданного качества смешения, предъявляются такие требования, как кратковременность пребывания материала в смесителе, обеспечение полной выгрузки и самоочистки. При выборе смесителя для определенных технологических задач учитывают следующие параметры:

- габариты смесителя;
- его производительность;
- затраты на обслуживание;
- ожидаемые отходы производства;
- численность обслуживающего персонала;
- стоимость.

Процесс смешения в каждом смесителе зависит как от его конструктивных особенностей, так и от свойств исходных компонентов смеси. Для интенсивного перемешивания необходимо конструктивными средствами обеспечить двух- или трехмерное движение компонентов смеси. Движение частиц должно происходить как можно с большей скоростью. В смесителе не должно быть застойных зон, где смесь находилась бы без движения.

2.4.2. Смесители для жидких материалов

Для перемешивания полимерных растворов, суспензий, эмульсий с вязкостью до $2 \cdot 10^6$ (МН·с)/м² наибольшее распространение получили смесители периодического действия.

Смесители по принципу действия подразделяются на *механические* и *пневматические*. Механические смесители представляют собой резервуар, внутри которого расположен ротор-мешалка. Как выглядят конструктивно механические смесители и типы роторов, известно из дисциплины «Основные процессы и аппараты». Вид типа ротора определяется вязкостью перемешиваемой смеси (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Типы мешалок для перемешивания жидкостей

Тип мешалки	Вязкость смеси, (МН·с)/м ²
Лопастные	$1 \cdot 10^3$
Пропеллерные	$(1-2) \cdot 10^3$
Якорные	$1 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^5$
Турбинные	$> 2 \cdot 10^5$

При пневматическом перемешивании через среду пропускают воздух, который приводит ее в движение. Воздух подают через отверстия трубок (*барбатеров*), расположенных на дне аппарата. Пневматическое перемешивание не требует сложных приспособлений, и при наличии сжатого воздуха достаточно барбатера, присоединенного к воздуховоду.

2.4.3. Смесители для сыпучих материалов

Смесители для сыпучих материалов подразделяют на механические и *пневматические*. Механические смесители бывают *барабанными*, с *перемешивающими устройствами*, *лопастными*.

Наиболее распространенным типом смесителя, предназначенного для смешивания сухих материалов (возможно присутствие небольшого количества жидкости), являются барабанные (рис. 2.18).

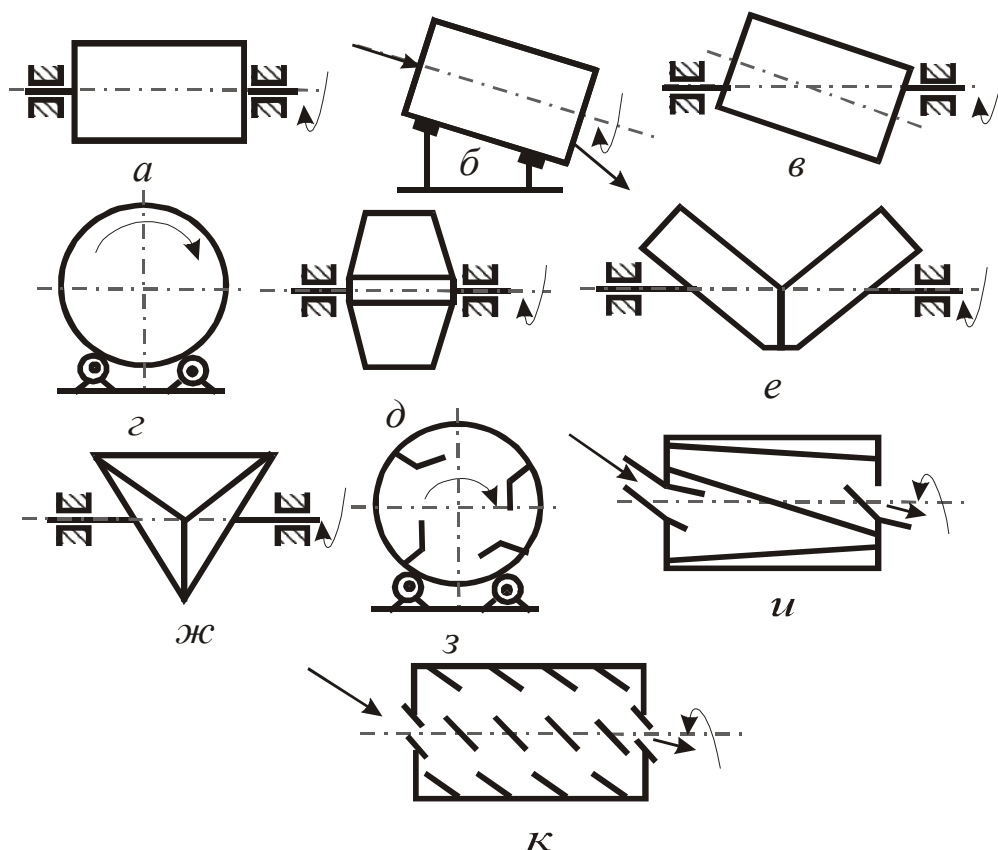


Рис. 2.18. Схемы барабанных смесителей для сыпучих материалов:

- а* – горизонтального типа; *б* – с наклонной осью вращения;
- в* – с осью вращения, несовпадающей с осью барабана типа «пьяная бочка»;
- г* – с приводными катками (*1* – приводные катки; *2* – барабанный смеситель);
- д* – биконические; *е* – V-образные; *ж* – тетраэдрические;
- з* – с подъемными полками; *и* – с оребренной внутренней поверхностью;
- к* – с наклонными полками

Они представляют собой вращающиеся барабаны, содержащие внутри различные перемешивающие устройства (например, горизонтальные полосы на внутренней поверхности или параллельные оси). Перемешивающие устройства повышают качество смешения в осевом направлении.

Качество смеси при данной продолжительности смешения зависит от частоты вращения барабана. При заданной частоте вращения частицы под действием центробежных сил прижимаются к внутренней поверхности барабана, обрушиваются и снова вовлекаются в движение. Характер движения частиц зависит от степени заполнения и частоты вращения. Она должна быть оптимальной, выше которой определенные слои материала не будут участвовать в перемешивании. Путем установки полочек или выбора формы барабана достигается и трехмерное движение частиц. Барабанные смесители применяют в основном для предварительного приготовления порошкообразных рецептур смеси.

Смесители с перемешивающими устройствами

В них перемешивание частиц осуществляется с помощью специальных перемешивающих устройств. Перемешивание производится в радиальном и аксиальном направлениях. По типу используемых перемешивающих устройств такие смесители разделяют на шнековые, ленточные и лопаточные (рис. 2.19).

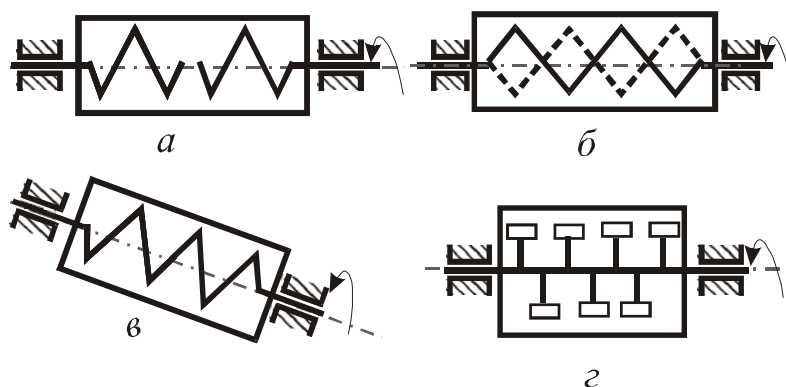


Рис. 2.19. Схемы барабанных смесителей с перемешивающими устройствами: *а* – с двумя перемешивающими устройствами; *б* – с перемешивающими устройствами червячного (шнекового) типа; *в* – с наклонной осью вращения перемешивающего устройства; *г* – с перемешивающим устройством лопастного типа

В *шнековых смесителях* периодического и непрерывного действия смешивание осуществляется за счет радиального, но горизонтального и вертикального перемешивания массы.

Ленточные смесители периодического или непрерывного действия выполняют смешение ленточными спиралями (рис. 2.20), укрепленными на горизонтальных валах смесителя. Ленточные спирали также перемешивают смесь вдоль вала.

В *лопаточных смесителях* лопатки можно рассматривать как прерывистую ленточную спираль. В смесителях непрерывного действия лопатки закреплены на валу по винтовой линии (рис. 2.21). Такая конструкция обеспечивает одновременность стадий перемешивания и перемещения. В лопаточных смесителях периодического действия смесь перемешивается с помощью радиальных лопастей, слегка отклоненных от оси вращения.

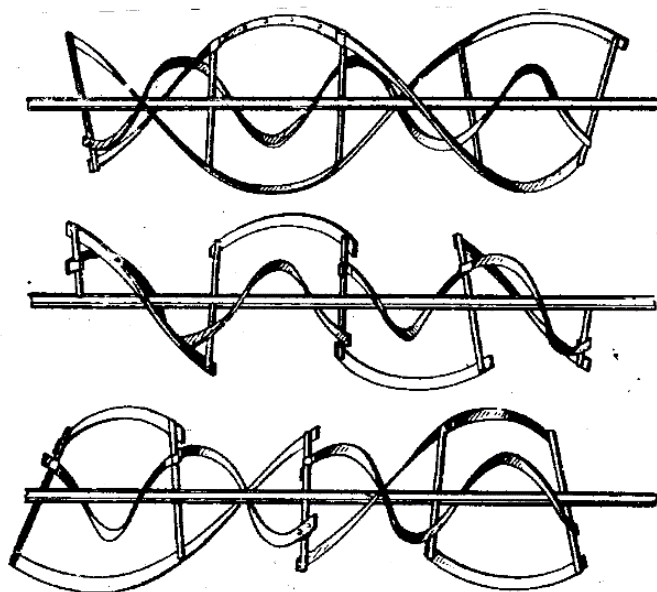


Рис. 2.20. Спирали ленточных смесителей

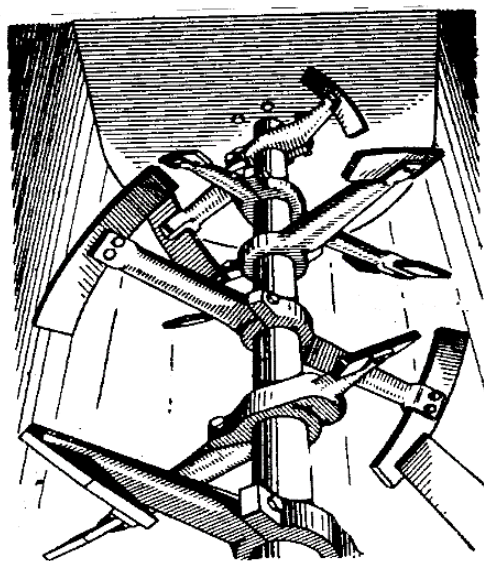


Рис. 2.21. Одновальный смеситель с радиальными лопатками

Центробежные смесители (миксеры) с вертикальным расположением оси вращения перемешивающего устройства в технике переработки полимерных материалов занимают особое место, так как представляют универсальный тип машин. Их называют скоростными (центробежными) или турбулентными смесителями.

Перемешиваемая масса быстроходным перемешивающим устройством отбрасывается к стенкам аппарата. По стенке она поднимается вверх и перемещается вновь к стенке смесителя. Благодаря этому масса интенсивно перемешивается и разогревается под воздействием диссипативного тепловыделения. Центробежные смесители применяют для приготовления полимерных композиций. Такой смеситель периодического действия показан на рисунке 2.22. Они используются в двух вариантах: с обогреваемыми (смесителями горячего смешения) и охлаждаемыми (смесителями холодного смешения) корпусами.

Универсальным являются двухстадийный турбоскоростной центробежный смеситель, который состоит из двух самостоятельных баков верхнего (горячего смешения) и нижнего (холодного смешения) (рис. 2.23). Принцип работы данного смесителя основан на гидродинамической циркуляции. В верхнем баке перемешивание осуществляется с помощью крыльчатки и центробежного лопастного диска. В нижнем баке смесь перемешивается двухлопастным ротором.

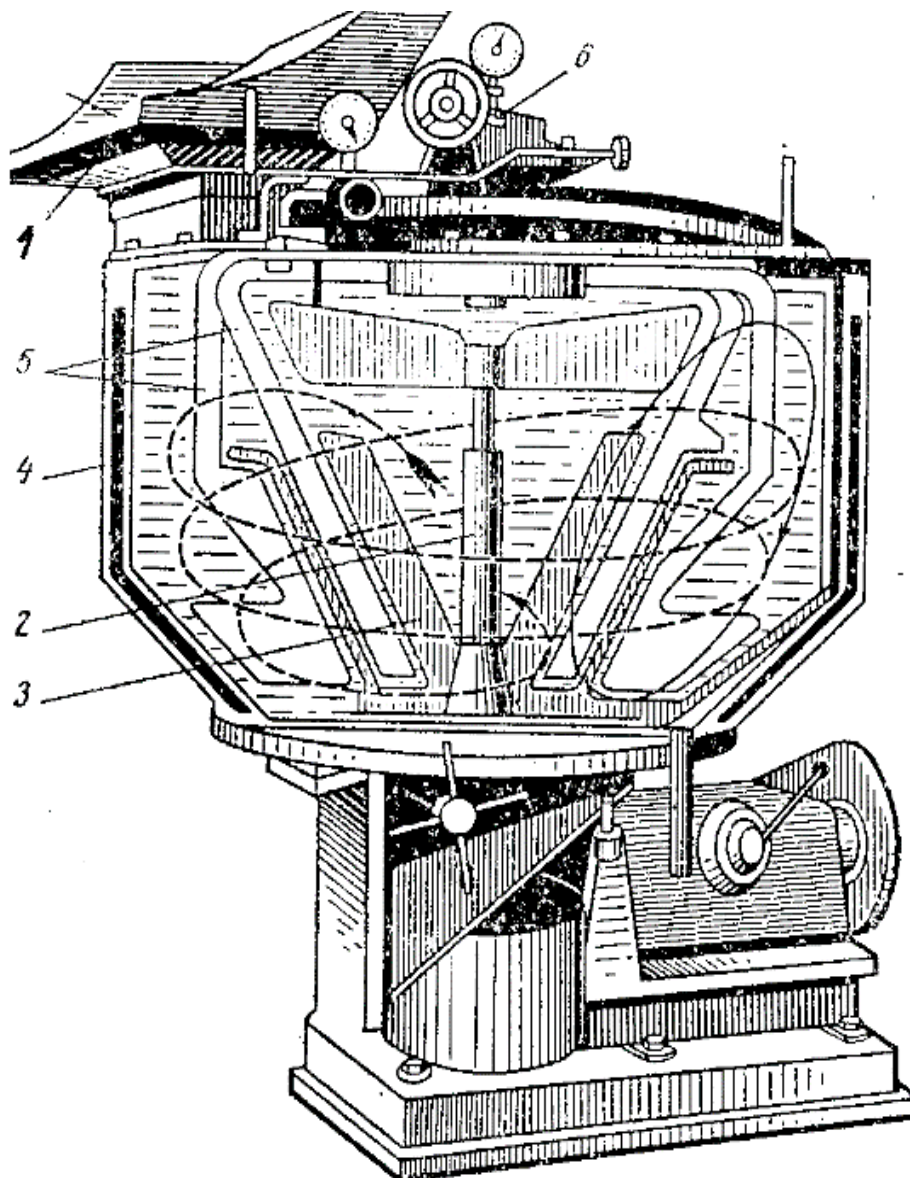


Рис. 2.22. Центробежный смеситель:

- 1 – питательный бункер; 2 – вал с присоединенным конусом;
3 – конус; 4 – корпус; 5 – перемешивающие лопасти;
6 – тормозное устройство

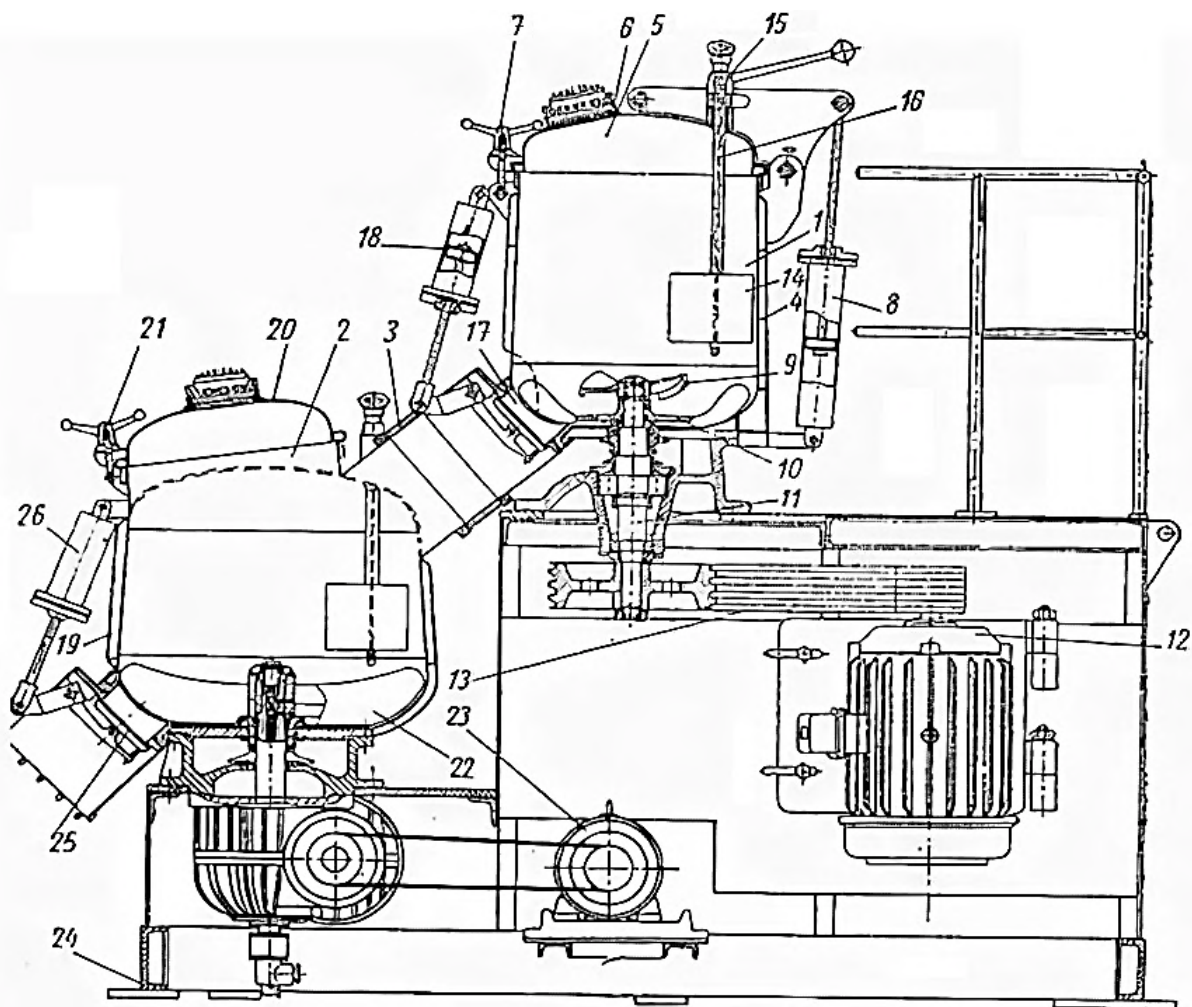


Рис. 2.23. Двухстадийный турбоскоростной смеситель:

- 1 – корпус верхнего смесителя; 2 – корпус нижнего смесителя;
 3 – соединительная труба; 4 – обогревательная рубашка; 5 – откидная крышка;
 6 – штуцер; 7, 21, 25 – затворы; 8, 18, 26 – пневмоцилиндры;
 9 – нож-ротор; 10 – лопастной диск; 11 – вал; 12, 23 – электродвигатели;
 13 – клиноременная передача; 14 – направляющая лопатка; 15 – регулятор;
 16 – термopapa; 17 – патрубок; 19 – охлаждающая рубашка; 20 – крышка;
 22 – двухлопастной ротор; 24 – опорная рама

2.4.4. Смесители для пластических (вязких) материалов

К высоковязким средам относят расплавы полимеров, пасто- и тестообразные полимерные композиции. Их перемешивание осуществляется в основном различными механическими способами. Совмещение происходит в ламинарном режиме. Такие смесители могут

быть периодического и непрерывного действия. В смесителе могут происходить следующие виды течения:

- *тангенциальное* – масса перемещается параллельно пути, описываемому рабочим перемешивающим органом;
- *радиальное* – масса движется от рабочего органа перпендикулярно оси его вращения;
- *осевое* – масса поступает и вытекает из смесителя параллельно оси вращения рабочего органа.

Для перемешивания высоковязких сред наиболее распространены *лопастные, планетарные, червячные смесители, вальцы*.

Червячные и дисковые смесители и вальцы будем рассматривать в темах по экструзии и вальцеванию.

Лопастные смесители периодического действия широко используют в процессах разминания и перемешивания с одновременным нагревом или охлаждением разнообразных пластичных материалов, паст, замазок, клея и т.п. Рабочие органы лопастных смесителей изготавливают обычно в виде двух отдельных Z-образных лопастей сплошного профиля.

На рисунке 2.24 представлен двухвальный смеситель с Z-образными лопастями. Лопасты вращаются в противоположных направлениях с различными скоростями.

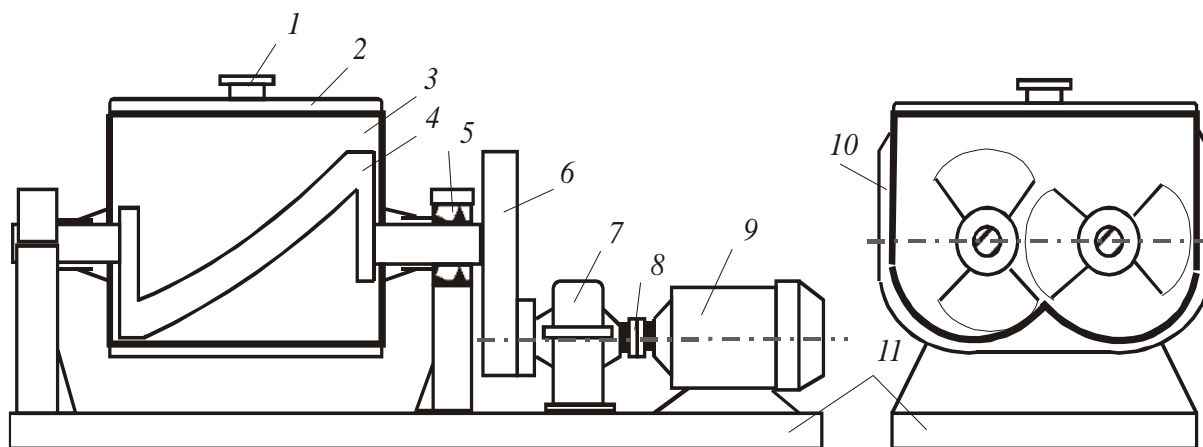


Рис. 2.24. Двухвальный смеситель с Z-образными лопастями:

- 1 – загрузочный штуцер; 2 – крышка; 3 – стенка корыта;
4 – Z-образные лопасти; 5 – подшипники; 6 – приводные зубчатые колеса;
7 – цилиндрический редуктор; 8 – муфта; 9 – электродвигатель;
10 – рубашка охлаждения; 11 – станина

Смесители работают под вакуумом или атмосферным давлением. Смесь выгружается опрокидыванием смесителя или через нижний выгрузочный затвор. Недостатки двухвальных смесителей: большой расход энергии, сложность загрузки, длительная очистка после каждого цикла.

Планетарные смесители, у которых смешивающий рабочий представляет собой лопасть Т- или П-образной формы и вращается вокруг своей оси, одновременно движется вокруг корпуса смесителя (рис. 2.25). Движения могут быть направлены в одну и в разные стороны. В некоторых планетарных смесителях вращается и корпус. Есть шнековые планетарные смесители, в которых шнек вращается вокруг своей оси и одновременно вокруг оси конического корпуса.

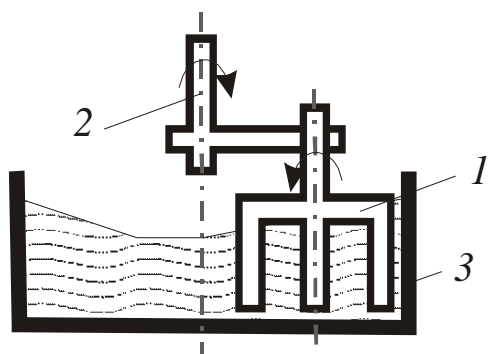


Рис. 2.25. Планетарный смеситель:
1 – лопасть; 2 – вал; 3 – корпус

Роторные смесители, лопасти которых занимают 60 % объема закрытой смесительной камеры, называют *закрытыми роторными смесительными машинами*. Лопасти таких смесителей носят название *роторов*. Наиболее распространены двухроторные скоростные смесители периодического действия типа «Бенбери» (рис. 2.26). Основными путями повышения интенсивности процесса смешения в этих машинах являются увеличение частоты вращения роторов и повышение давления смеси.

В *зубчато-дисковых мешалках (диссоolverах)* рабочим органом служит зубчатый диск смесительной головки. Диск представляет собой плоскую круглую пластину с расположенными по кромке зубцами (рис. 2.27).

Привод мешалки обслуживает несколько передвижных емкостей – деж, которые фиксируются зажимами. Смесительная головка опускается в дежу и диском приводит во вращательно-бегающее движение композицию.

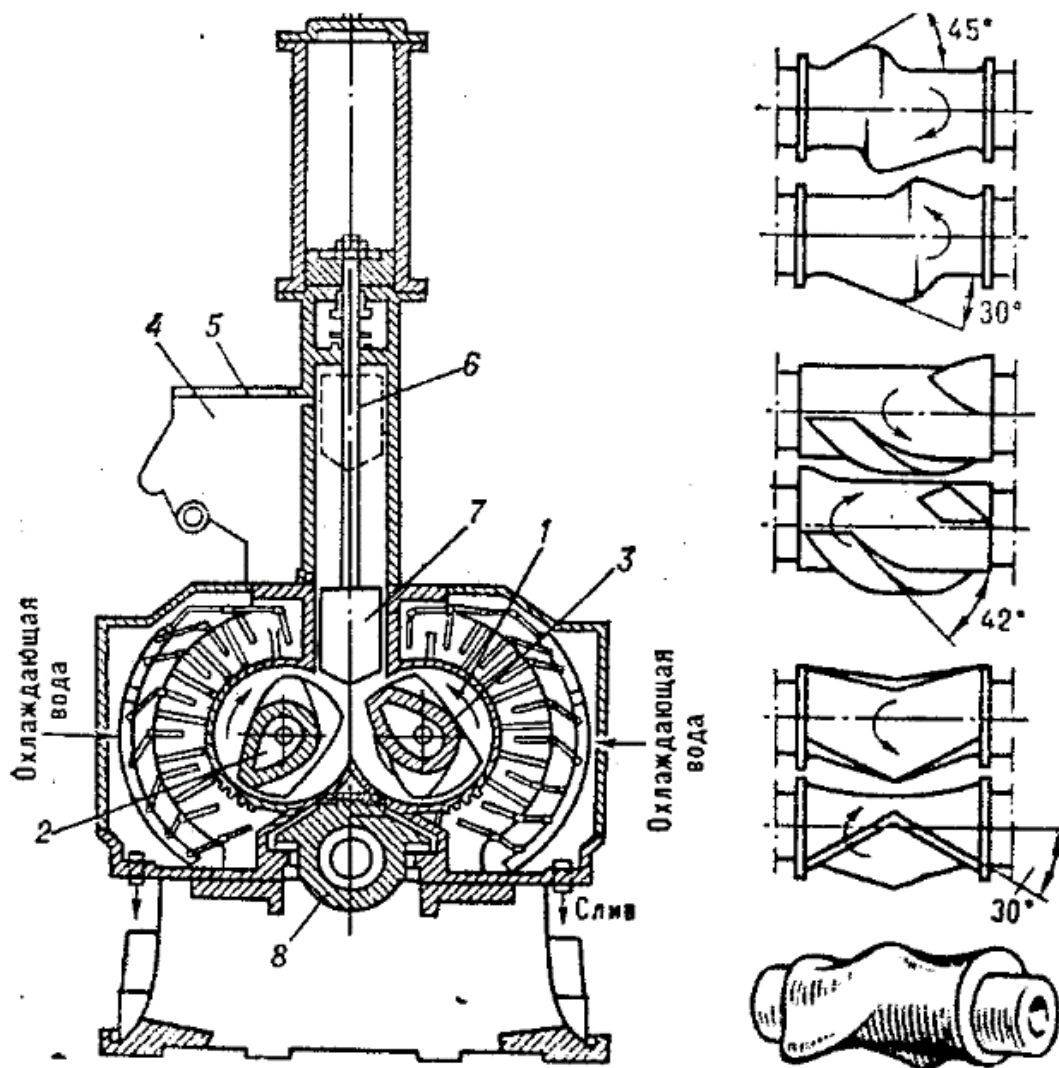


Рис. 2.26. Двухроторный смеситель закрытого типа «Бенбери» (камера с давлением) и конфигурации роторов для них:

- 1 – смесительная камера; 2 – передний ротор; 3 – задний ротор;
4 – загрузочная воронка; 5 – заслонка; 6 – шток поршневого затвора;
7 – подвижный поршневой затвор загрузочного окна смесительной камеры;
8 – клиновой затвор разгрузочного окна смесительной камеры

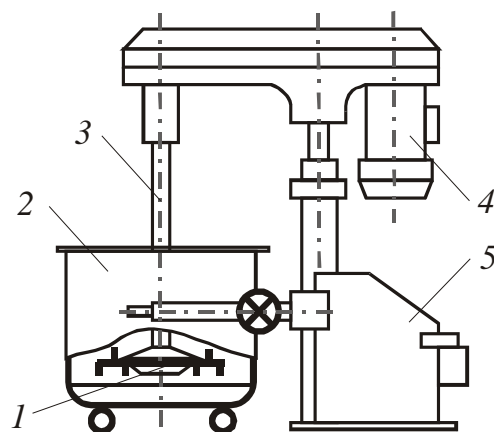


Рис. 2.27. Зубчато-дисковая мешалка (диссоolver):

- 1 – зубчатый диск; 2 – передвижная дежа-емкость; 3 – вал; 4 – электродвигатель привода смесительной головки;
5 – пульт управления

2.4.5. Пропиточные машины

Пропиточные машины применяют для пропитки основы (тканевой, бумажной, волокнистой) полимерными связующими в производстве слоистых и армированных пластиков. Основные узлы пропиточных машин – это ванна пропитки и сушильная камера с соответствующими механизмами протяжки основы (рис. 2.28).

Пропиточные машины подразделяют:

- в зависимости от конструкции сушильной камеры – на *туннельные, контактные, камерные*;
- в зависимости от направления движения основы – на *вертикальные и горизонтальные*;
- по способу термообработки – с *воздушной, радиационной и высокочастотной сушкой* (токами высокой частоты).

Пропиточные машины с радиационной сушкой в зависимости от способа нагрева подразделяют на машины с:

- внутренними нагревателями и принудительной подачей воздуха;
- внутренними нагревателями без принудительной циркуляции воздуха.

Камерные машины в зависимости от хода материала подразделяются на *петлевые и спиральные*.

Наибольшее применение при производстве слоистых пластиков нашли туннельные машины с радиационным обогревом материала вертикального типа. Эти машины универсальны и характеризуются меньшим временем термообработки по сравнению с машинами воздушной сушки. Основное их преимущество – это компактность.

Вертикальные пропиточные машины бывают *однопоточными, двухпоточными односторонними и двухпоточными двухсторонними*.

На рисунке 2.28 показан общий вид однопоточной вертикальной пропиточной машины. Пропитываемое полотно основы с рулона через ряд направляющих валиков поступает в пропиточную ванну, где впитывает раствор связующего.

После выхода из ванны основа проходит отжимное устройство, удаляющее избыток связующего, и поступает в сушильную камеру, которая обогревается при помощи паровых змеевиков. Циркуляция воздуха обеспечивается подачей его через калориферы в нижней части сушильной камеры и отсасыванием в верхней ее части. Через приводные и перевальные валики пропитанное полотно движется

вниз. После выхода из сушильной камеры тянущие валики подают высушенное полотно под ротационный нож, где нарезают на листы определенного формата; полотно поступает на приемный транспортер для складирования в стопы.

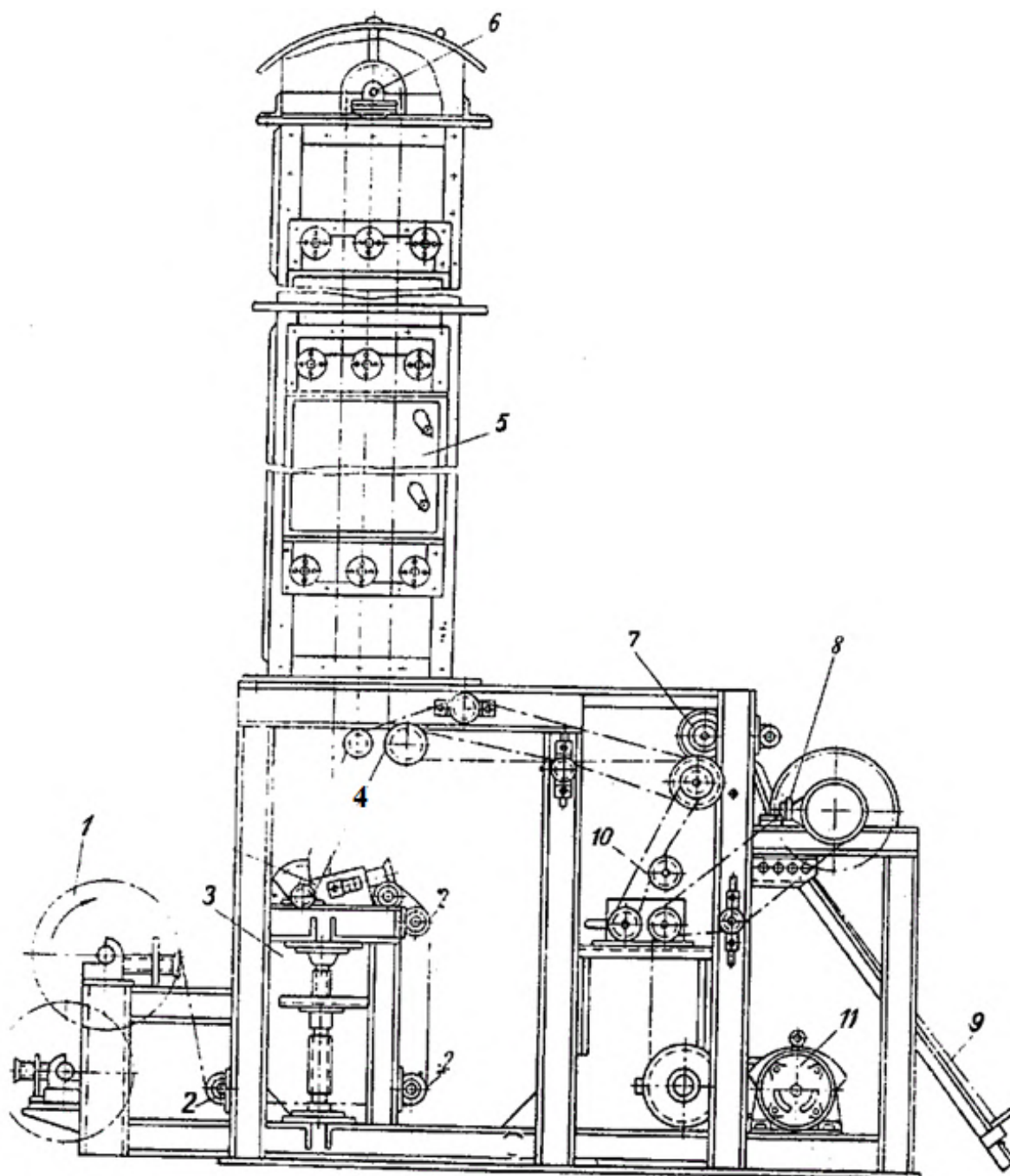


Рис. 2.28. Однопоточная вертикальная пропиточная машина:

- 1 – рулон исходного полотна; 2 – направляющие валики;
- 3 – пропиточная ванна; 4 – отжимное устройство; 5 – сушильная камера;
- 6 – приводные и перевальные валики; 7 – тянущие валики; 8 – ротационный нож;
- 9 – приемный транспортер; 10 – коробка передач; 11 – привод машин

С помощью коробки передач можно изменять формат листа. Привод машины состоит из электродвигателя, редуктора и цепных передач. Высота камеры составляет 6–14 м; температура термообработки – 130–150 °С; производительность – 18–20 м/мин.

На рисунке 2.29 на примере получения однонаправленного стекловолоконного пресс-материала АГ-4С показана схема пропитки и сушки длиноволокнистого наполнителя непрерывным способом.

Волокнистый наполнитель в виде нитей или ровницы сматывается с бобин и проходит через пропиточную ванну, где на него наносится связующее, подаваемое из емкости для связующего. Пропитанная лента, образованная из отдельных нитей, сушится токами высокой частоты (см. раздел 2.8).

В сушильной камере волокнистый наполнитель с нанесенным на него связующим проходит между системой электродов, расположенных по длине ленты и чередующихся по знаку. К электродам подводится высокочастотное напряжение 8–18 кВ; мощность генератора ТВЧ – 25 кВт. Высушенная бесконечная лента через тянущее устройство наматывается на барабан или разрезается на полосы определенной длины.

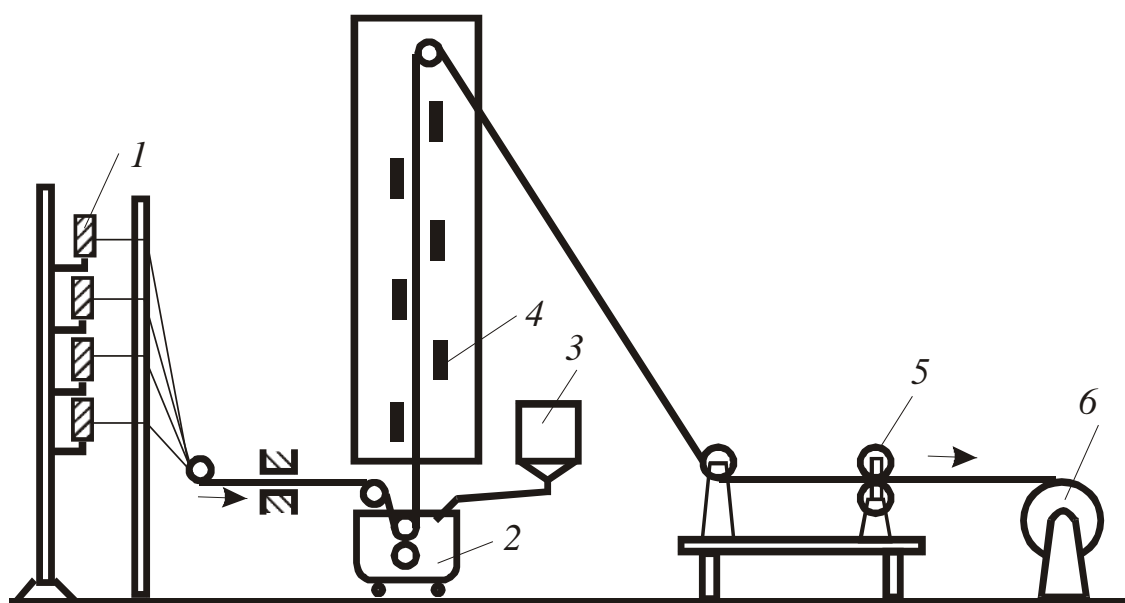


Рис. 2.29. Схема получения стеклонаполненного пресс-материала АГ-4С:
1 – бобины стекловолокна; 2 – пропиточная ванна;
3 – емкость для связующего; 4 – электроды ТВЧ; 5 – тянущее устройство;
6 – барабан для намотки материала

Производительность такой установки при наличии в ленте 800–900 нитей по ширине составляет 5 кг/час при скорости движения ленты 4–5 м/мин.

2.5. Оборудование для сушки полимерных материалов

В производстве полимерных материалов значительное место занимает сушка промежуточных и конечных продуктов, а также часто и сушка при их переработке. Сушка может происходить при непосредственном соприкосновении влажного материала с теплоносителем (конвективная) или через обогревательную стенку (контактная), токами высокой частоты и инфракрасным излучением. Последние два способа нашли применение для сушки пропитанных термореактивными связующими волокнистых и тканых наполнителей.

Конвективные сушилки для полимерных материалов классифицируются в зависимости от:

- *давления в рабочем пространстве* – атмосферные и вакуумные;
- *цикличности процесса* – периодические и непрерывные;
- *движения теплоносителя по отношению к высушиваемому материалу* – прямоточные, противоточные, перекрестные;
- *конструкции* – барабанные, гребковые, туннельные, шахтные, вальцовые, ленточные, распылительные, «кипящего слоя», турбинные, роторные и комбинированные.

В крупносерийном производстве при переработке термопластов на экструзионном и литьевом оборудовании, работающем в автоматическом режиме, устанавливаются приемные бункера-сушилки, а также специальные сушилки с регенерацией влажного воздуха, например, системы Colotronic, позволяющие высушивать гранулы до остаточной влажности 0,0002 %. Например, в сушилке марки СТТ 20412, в которой воздух не только нагревается, но из него также удаляется влага (проходит через адсорбент), прежде чем он проходит через сушильную воронку с гранулами термопласта. Функциональная схема сушилки представлена на рисунке 2.30.

Сушильные секции работают поочередно: первая – на стадии сушки, вторая – на стадии регенерации (очистки от влаги адсорбента). После достижения точки росы в первой секции она переключается на режим регенерации, а вторая – на режим сушки.

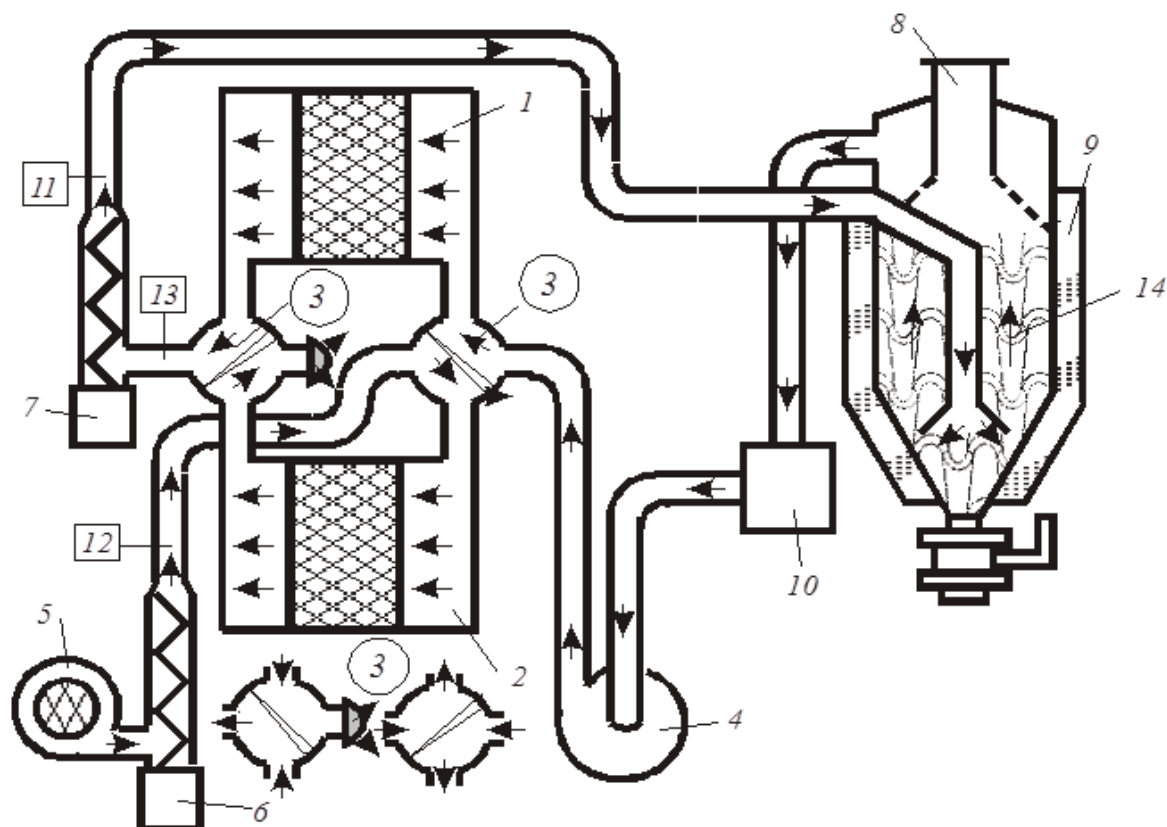


Рис. 2.30. Функциональная схема адсорбционной сушилки с регенерацией воздуха СТТ 20412:

1 – сушильная секция 1; 2 – сушильная секция 2; 3 – вентиль;
 4 – воздуходувка сушилки; 5 – воздуходувка с фильтром регенерации (очистки от влаги сушильной секции 2); 6 – нагреватель воздуха регенерации;
 7 – нагреватель воздуха, поступающего из сушильной секции 1;
 8 – сушильная воронка с высушиваемым материалом 14;
 9 – теплоизоляция сушильной воронки; 10 – воздушный фильтр;
 11 – температурный датчик сушки материала; 12 – температурный датчик воздуха регенерации; 13 – датчик точки росы; 14 – высушенный материал

2.6. Оборудование для дозирования материалов

В производстве и переработке полимерных материалов дозирование исходных материалов является одной из основных технологических операций. Весоизмерительные и весодозирующие устройства применяются для дозирования сыпучих и жидких материалов. По назначению они разделяются на шесть групп:

1. *Весы дискретного действия*, которые изготавливают с коромыслами шкального типа, с циферблатными и квадратными указателями, с цифруказывающими и печатающими указательными приборами и пультами, с печатающими аппаратами автоматической записи результатов взвешивания.

2. *Весы непрерывного действия* конвейерные и ленточные, ведущие непрерывный учет массы транспортируемого материала.

3. *Дозаторы дискретного действия.* К ним относятся дозаторы для суммарного учета (порционные весы) и дозаторы для фасовки сыпучих материалов, используемые в технологических процессах, а также специальные комплексы и линии автоматического дозирования.

4. *Дозаторы непрерывного действия*, используемые в различных технологических процессах, где требуется непрерывная подача материала с заданной производительностью.

5. К пятой и шестой группам относятся *образцовые весы и гири*, передвижные весоуповерочные средства, устройства для специальных измерений.

В непрерывном технологическом процессе производства полимерных композиций, когда дозирование сухих компонентов ведется дискретным или пульсирующими способами, но с определенным периодом, применяют автоматические дозаторы. Например, весы автоматические дозирочные ДСС-1 (рис. 2.31). Порошки в грузоприемное устройство подаются в них через загрузочную воронку при помощи электровибратора. Управление весами электропневматическое дистанционное.

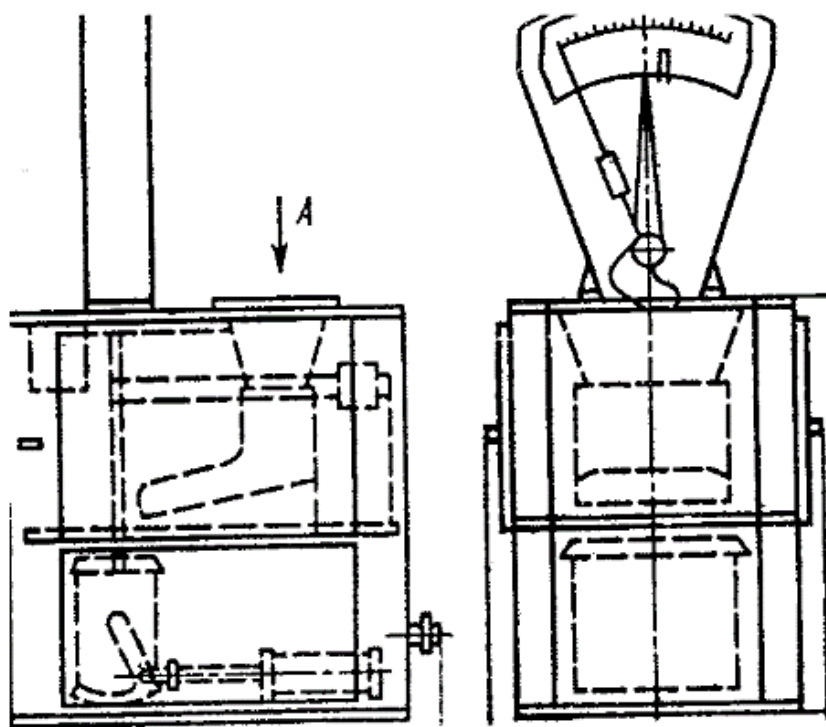


Рис. 2.31. Весы автоматические дозирочные для порошкообразных материалов ДДС-1

Еще один пример – дозаторы автоматические для составных частей полимерных материалов ОДП-2 (рис. 2.32). Материал в грузоприемное устройство весов подается питателями навесных бункеров. Управление весами электропневматическое дистанционное с пульта управления. Применяются в схеме программного управления в автоматических линиях приготовления полимерных композиций на предприятиях переработки пластмасс, кабельной, резинотехнической и шинной промышленности.

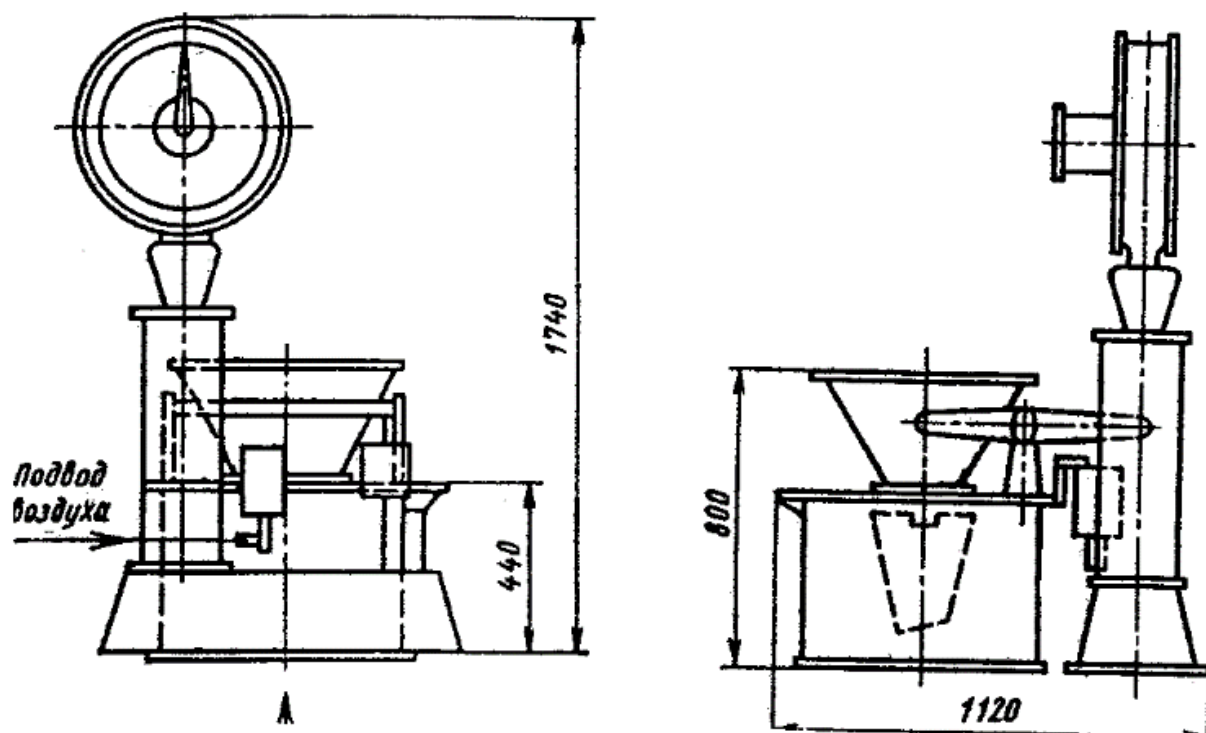


Рис. 2.32. Дозаторы автоматические для составных частей полимерных материалов ОДП-2

Для загрузки дозаторов применяют винтовые шнековые питатели, например ПШ-220 (рис. 2.33).

На центральных складах сырья предприятий для учета поступающих на переработку полимерных материалов применяют следующие весы: платформенные типа РП (шкальные и циферблатные), автомобильные и вагонные типа РС.

Для порционного дозирования жидкостей применяют весовые дозаторы, например, дозатор автоматический для жидких составных частей полимерных материалов АДЖ. Жидкость в грузоприемное устройство дозатора подается через сливную трубу. Управление весами электропневматическое дистанционное (рис. 2.34).

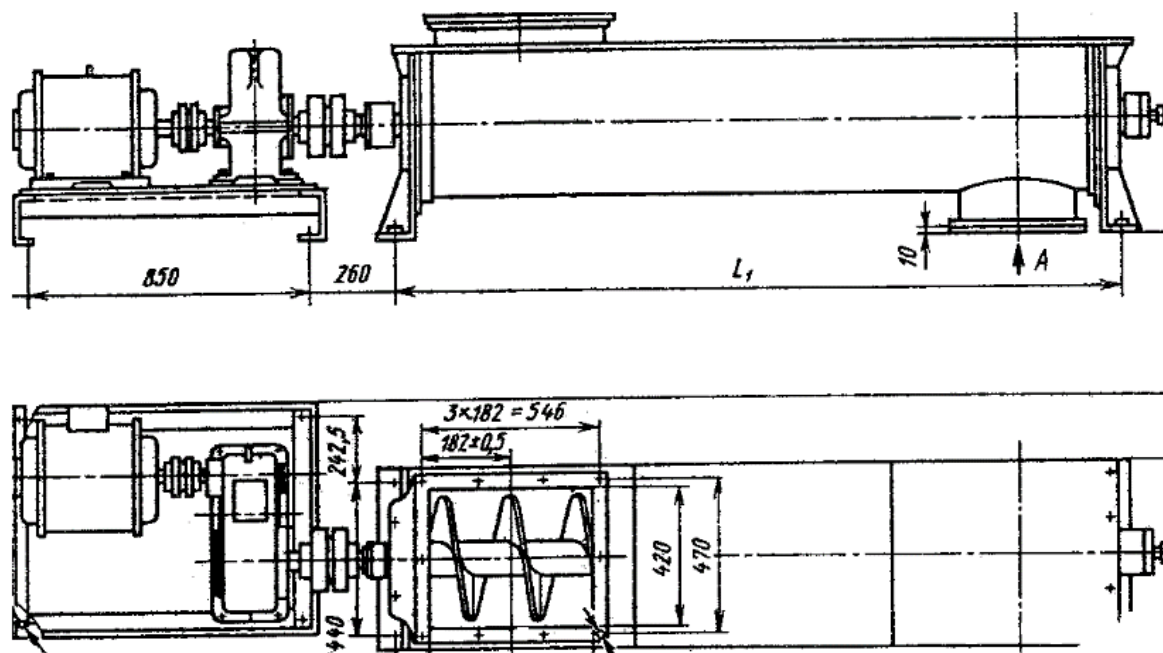


Рис. 2.33. Питатель шнековый ПШ-220
(предназначен для питания дозаторов)

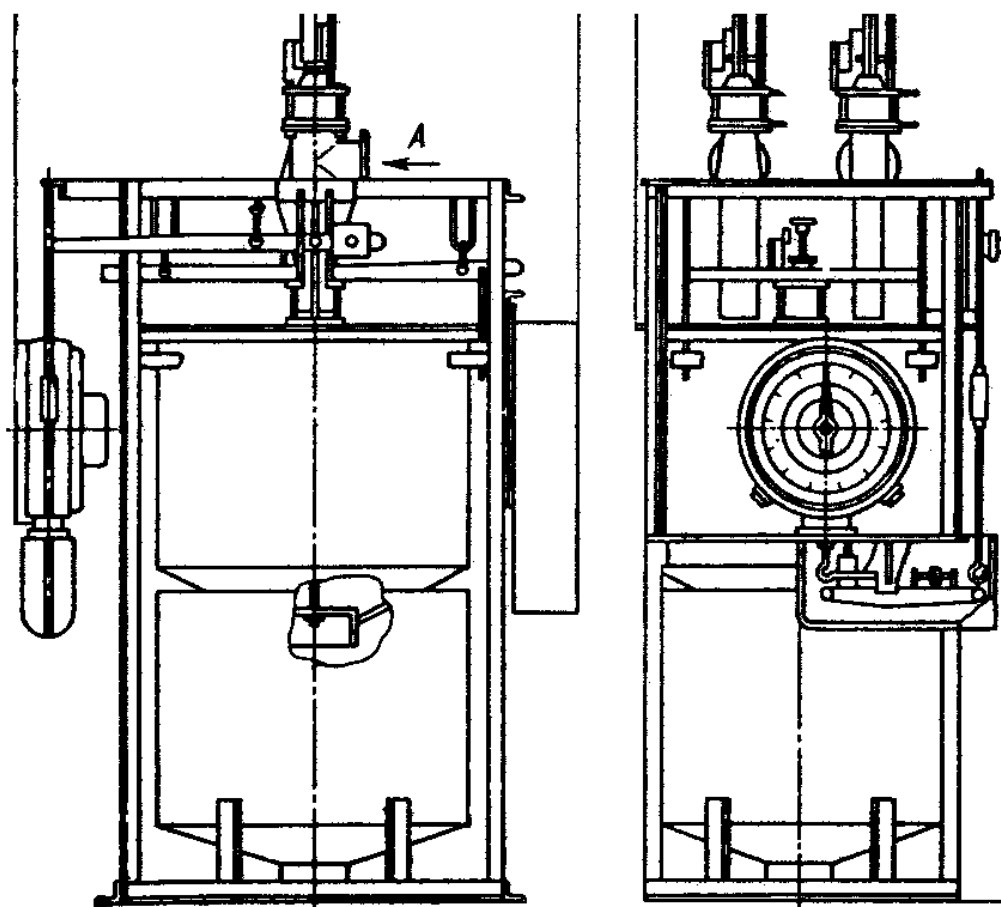


Рис. 2.34. Дозатор автоматический
для жидких составных частей полимерных материалов АВДЖ

При дозировании жидких материалов применяется как объемное, так и весовое дозирование. Для объемного дозирования при работе смесителей непрерывного действия широко применяют насосы-дозаторы марки НД (рис. 2.35).

Это агрегаты электронасосные, дозировочные, одноплунжерные, которые предназначены для объемного дозирования жидкостей, эмульсий суспензий с кинематической вязкостью от 0,0035 до 8 см²/с с температурой от минус 15 до 200 °С и концентрацией твердой фазы до 10 % (масс).

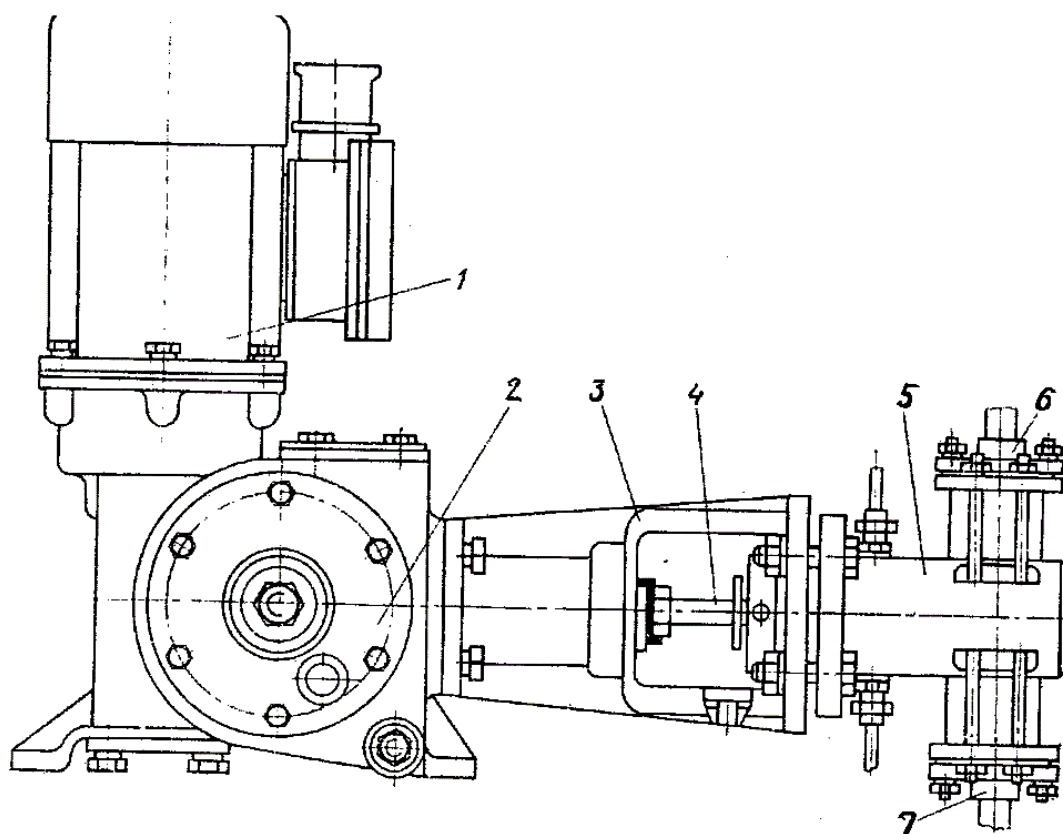


Рис. 2.35. Насос-дозатор марки НД:

1 – электродвигатель; 2 – редуктор червячный, 3 – кронштейн, 4 – ползун;
5 – цилиндр (рабочая камера); 6, 7 – нагнетательный и всасывающие ниппели

2.7. Оборудование для таблетирования полимерных материалов

Таблетирование – процесс изготовления из порошкового или волокнистого термореактивного пресс-материала заготовок (таблеток), определенной формы, размеров и плотности. Прессование одно- или двухстороннее является основным этапом таблетирования (рис. 2.36).

Под действием давления прессуемый материал из порошкообразного или волокнистого превращается в пористый, а затем – в твердое тело.

Основным фактором, обеспечивающим образование прочной таблетки при прессовании, являются силы электростатического притяжения. Они проявляются при сближении частиц на расстоянии порядка 10^{-8} см. Это обеспечивается без нагрева материала при давлении 75–120 МПа. Обычно таблетирование осуществляется в цилиндрических матрицах между двумя пуансонами, при их движении навстречу друг другу (схема б на рис. 2.36).

Наиболее распространена цилиндрическая форма таблеток с плоскими основаниями.

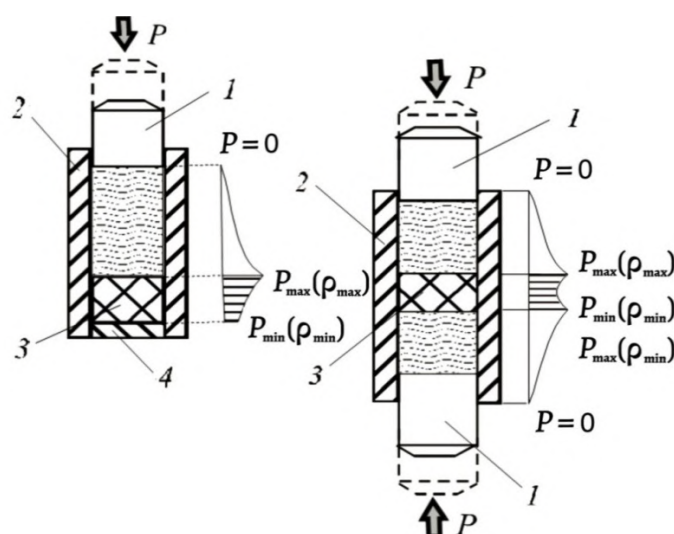


Рис. 2.36. Схема таблетирования и эпюры распределения плотности и сжимающих давлений по высоте таблетки:

а – одностороннее прессование; *б* – двухстороннее прессование;

1 – подвижный пуансон; *2* – матрица; *3* – таблетка; *4* – неподвижный пуансон

Таблетирование применяется для повышения плотности, теплопроводности материала, удаления воздуха между частицами, уменьшения размеров загрузочных камер пресс-форм, сокращения длительности предварительного подогрева и цикла прессования пресс-изделий, уменьшения пыления, обеспечения чистоты рабочего места прессовщика, при транспортировке, повышения точности дозирования и качества пресс-изделий.

Таблетирование осуществляют в автоматических таблеточных машинах. Таблеточные машины, применяемые в промышленности полимерных материалов и других отраслях, например, в фармацевтической, по существу являются пресс-автоматами (более 50 типов), специализированными для выпуска таблеток определенных размеров и массы.

По виду привода таблет-машины делятся на *механические* и *гидравлические*. Механические, в свою очередь, делятся на *кривошипные (эксцентрикковые)* и *ротационные*. По расположению рабочих органов они могут быть *горизонтальными* (гидравлическими) и *вертикальными* (механическими).

Кривошипные (эксцентрикковые) таблет-машины с усилием таблетирования от 20 до 1 000 кН применяются для изготовления точных по массе таблеток диаметром $\varnothing 12\text{--}100$ мм и высотой 15–200 мм. На рисунке 2.37 представлена кинематическая схема работы машины.

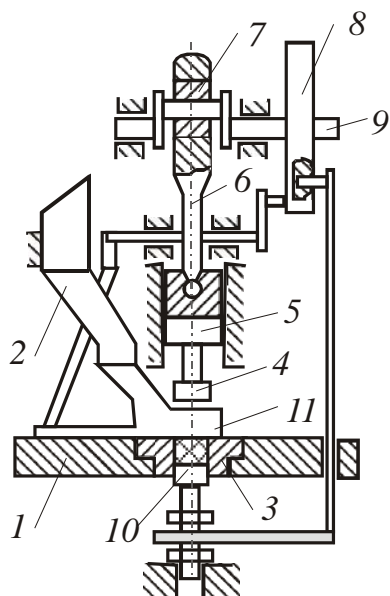


Рис. 2.37. Кинематическая схема эксцентрикковой однопуансонной таблеточной машины:

1 – стол; 2 – бункер; 3 – матрица; 4 – пуансон;
5 – ползун; 6 – шатун; 7, 8 – эксцентрики;
9 – коленчатый вал; 10 – выталкиватель;
11 – загрузочное устройство

По конструкции машина представляет собой автоматический однопозиционный пресс с приводом всех исполнительных механизмов от главного коленчатого вала. Эксцентрик при помощи тяги перемещает загрузочное устройство к матрице. В нее высыпается доза таблетлируемого материала. Затем загрузочное устройство отводится назад, а пуансон, приводимый в движение через шатун, опускается вниз и прессует таблетку. После подъема пуансона эксцентрик при помощи тяги и выталкивателя выталкивает таблетку из матрицы.

Ротационные таблет-машины – многопозиционный пресс-автомат, в котором все операции осуществляются при непрерывном вращении ротора. Ротационные машины имеют высокую производительность – от 6,6 до 338 тыс. шт./ч в зависимости от числа комплектов пуансонов и матриц, расположенных в роторе от 4 до 47). Усилие таблетирования невелико – 60–200 кН, поэтому такие машины применяют для изготовления небольших таблеток $\varnothing 20\text{--}40$ мм. Таблетки отличаются по массе.

На рисунке 2.38 представлен общий вид отечественной машины марки МТ-3А (модернизация МТ-3А и МТР-6,5*2).

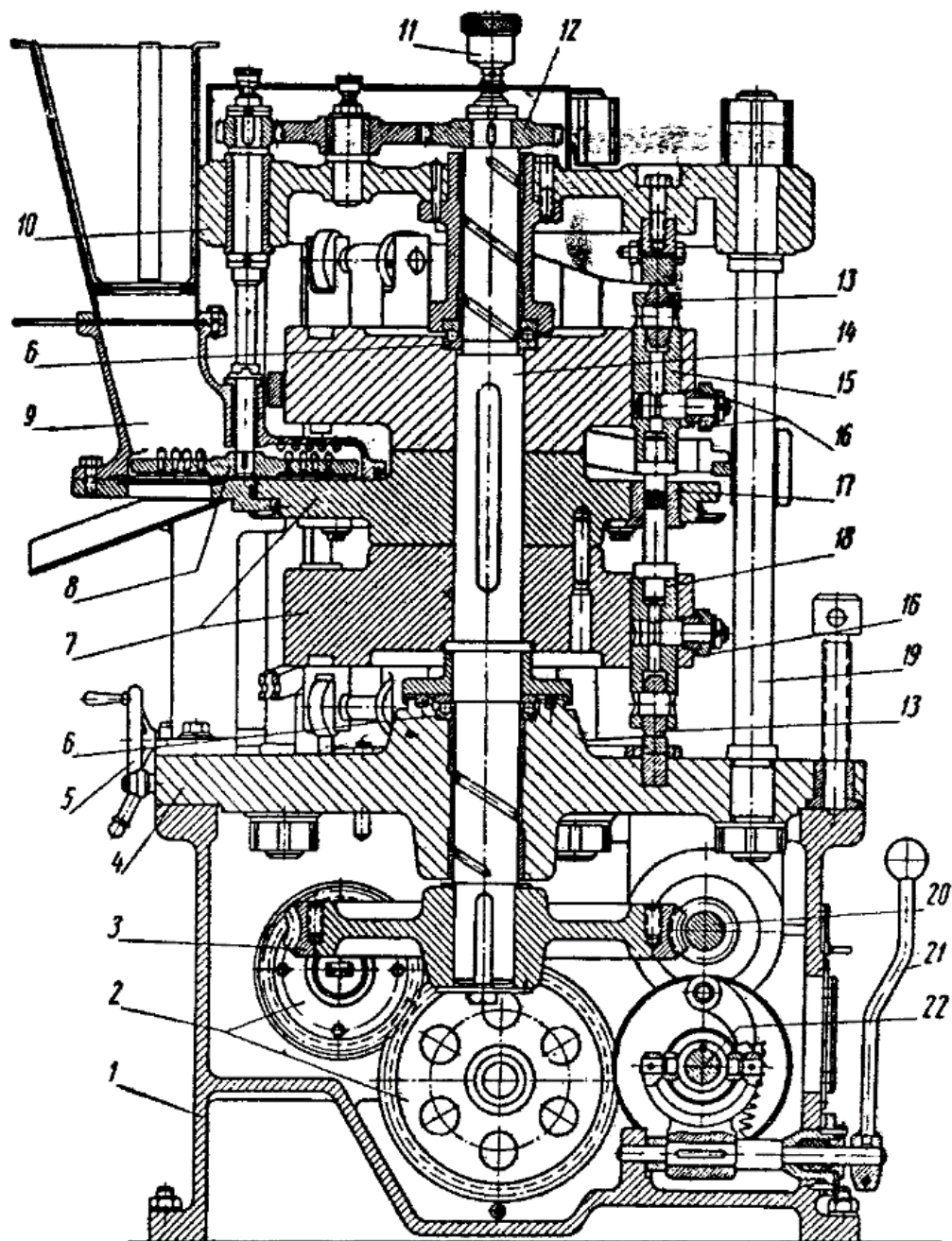


Рис. 2.38. Ротационная таблеточная машина МТ-3А:

- 1 – станина; 2 – цилиндрический редуктор; 3 – червячная шестерня;
- 4 – монтажная плита; 5 – штурвал регулирования массы таблетки;
- 6 – упорные шариковые подшипники; 7 – ротор; 8 – ворошитель;
- 9 – бункерный питатель; 10 – верхняя плита; 11 – капельная масленка;
- 12 – шестерня привода ворошителя; 13 – торцевые ролики;
- 14 – центральный вал; 15 – верхний пуансон; 16 – боковые ролики;
- 17 – матрица; 18 – нижний пуансон; 19 – колонны; 20 – червячный редуктор;
- 21 – рычаг сцепления фрикционной муфты; 22 – фрикционная муфта сцепления

На рисунке 2.39 представлена циклограмма работы этой машины (в скобках показаны позиции, соответствующие рисунку 2.38).

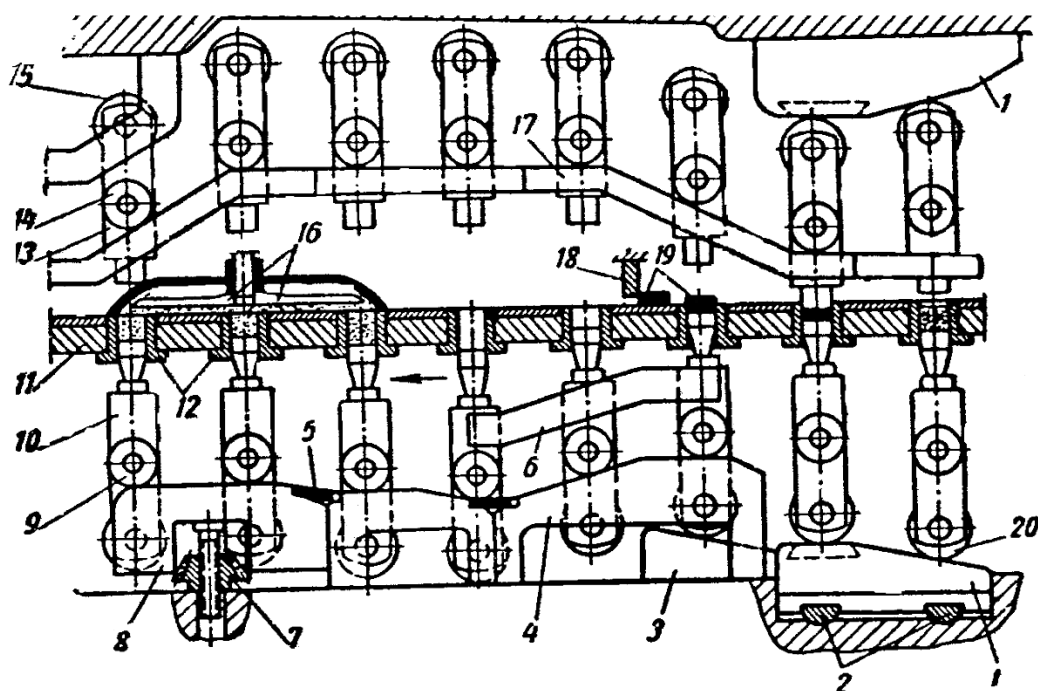


Рис. 2.39. Циклограмма работы таблеточной машины МТ-3А:

1 – клинья давления; 2 – клиновые регуляторы давления; 3 – выталкивающий клин; 4 – копир для предохранения машины от аварии; 5 – переходные мостики; 6 – промежуточные копиры; 7 – шестеренно-винтовой регулятор глубины загрузочной камеры матрицы; 8 – дозировочные копиры; 9 (16) – нижние боковые ролики; 10 (18) – нижние пуансоны; 11 (7) – вращающийся ротор (вращения показано стрелкой); 12 – матрицы; 13 (15) – верхние пуансоны; 14 (16) – верхние боковые ролики; 15 (13) – торцевые ролики верхних пуансонов; 16 (8) – вращающиеся лопасти ворошителя 17 – вспомогательные копиры боковых роликов (14); 18 – упор сброса таблеток; 19 – таблетки, торцевые ролики нижних пуансонов

Кинематика работы заключается в следующем. По окружности ротора на равных расстояниях один от другого расположены комплекты пресс-инструмента, состоящие из матриц и пуансонов верхнего и нижнего. Оси пуансонов параллельны оси вращения ротора. Пуансоны по мере вращения ротора совершают возвратно-поступательные движения в вертикальном направлении при помощи неподвижных направляющих-клиньев давления. Торцевые ролики верхних и нижних пуансонов при вращении ротора набегают на клинья давления, и идет двухсторонне прессование.

Гидравлические таблет-машины представляют собой горизонтальный пресс-автомат. На таких машинах изготавливают таблетки

повышенной массы Ø 35–230 мм и высотой 50–190 мм. Машины можно использовать как 1-, 2- и 3-гнездные.

В зависимости от конструкции пресс-инструмента на гидравлической таблет-машине изготавливают круглые и прямоугольные таблетки. Усилие прессования – от 120 до 1 520 кН. Производительность их небольшая – 350–2 100 шт./ч. На рисунке 2.40 представлена принципиальная схема работы машины (отечественные машины марок МГТ-32, МГТ-63-1, МГТ-1000).

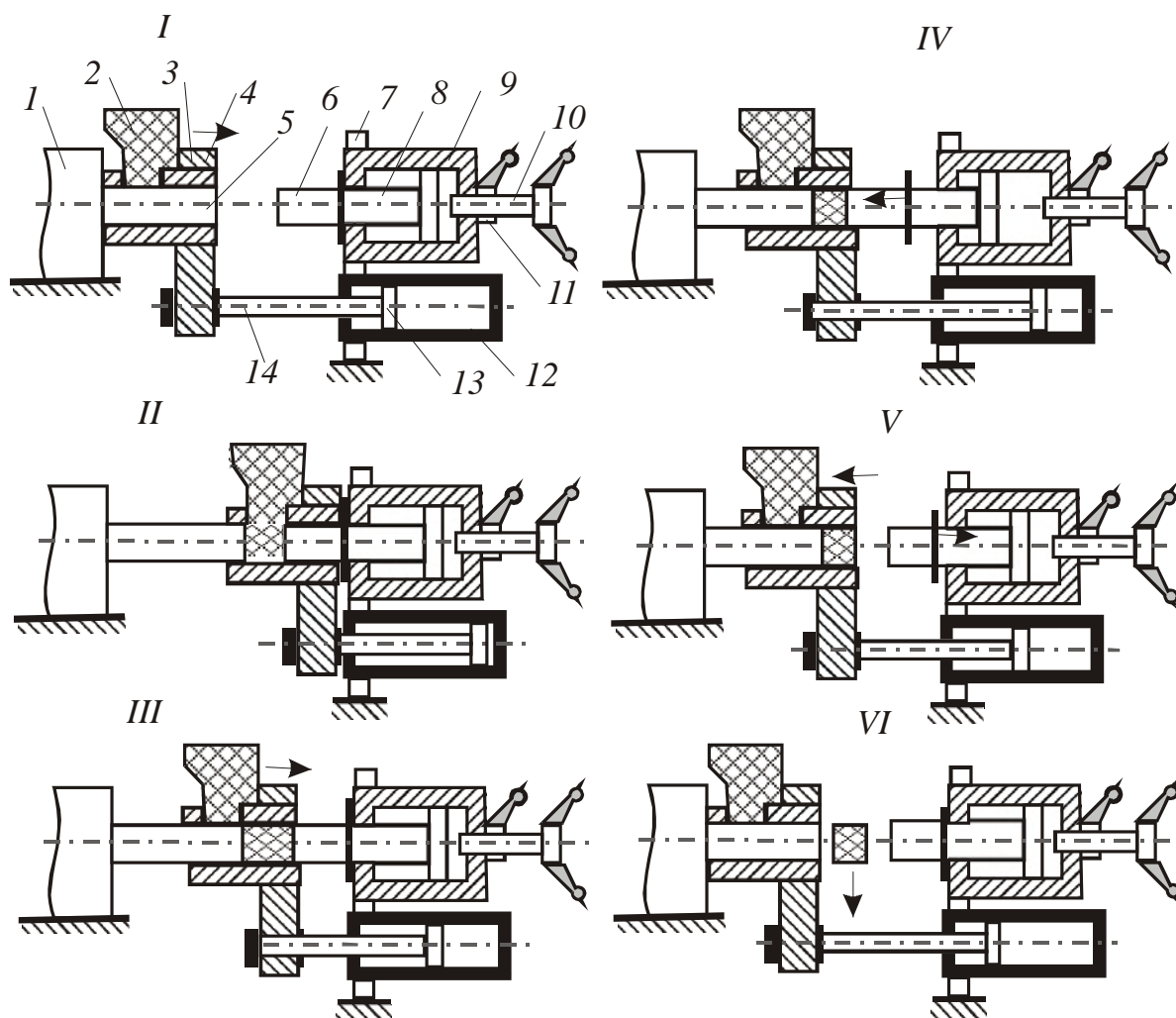


Рис. 2.40. Принципиальная схема работы гидравлической таблеточной машины:

- I* – исходная позиция; *II* – дозирование; *III* – предварительное прессование; *IV* – окончательное прессование; *V* – выталкивание таблетки; *VI* – сброс таблетки.
- Узел дозирования: 1 – неподвижная плита; 2 – бункер; 3 – подвижная плита; 4 – матрица; 5 – неподвижный пуансон. Узел таблетирования: 6 – подвижный пуансон; 7 – неподвижная плита; 8 – дифференциальный плунжер; 9 – гидроцилиндр таблетирования; 10 – винт регулировки хода плунжера 8 (установки дозы материала); 11 – контргайка фиксации винта 10; 12 – гидроцилиндр привода перемещения плиты с матрицей 4; 13 – дифференциальный плунжер; 14 – тяга перемещения плиты 3

Шнековые (червячные) пластикаторы как самостоятельное оборудование применяют в основном при переработке реактопластов. Они предназначены для получения пластицированных доз пресс-материала перед прессованием.

Эффективность использования пластикаторов заключается в том, что изготавливаются стабильные по массе таблетки. Они находятся перед прессованием в пластичном состоянии. Их применение существенно сокращает цикл прессования, дает возможность автоматизации процесса. По исполнению шнековые пластикаторы разделяют на горизонтальные, вертикальные и наклонные. Основной рабочий орган – обогреваемый цилиндр, внутри которого вращается шнек.

На рисунке 2.41 представлена принципиальная схема работы горизонтального пластикатора.

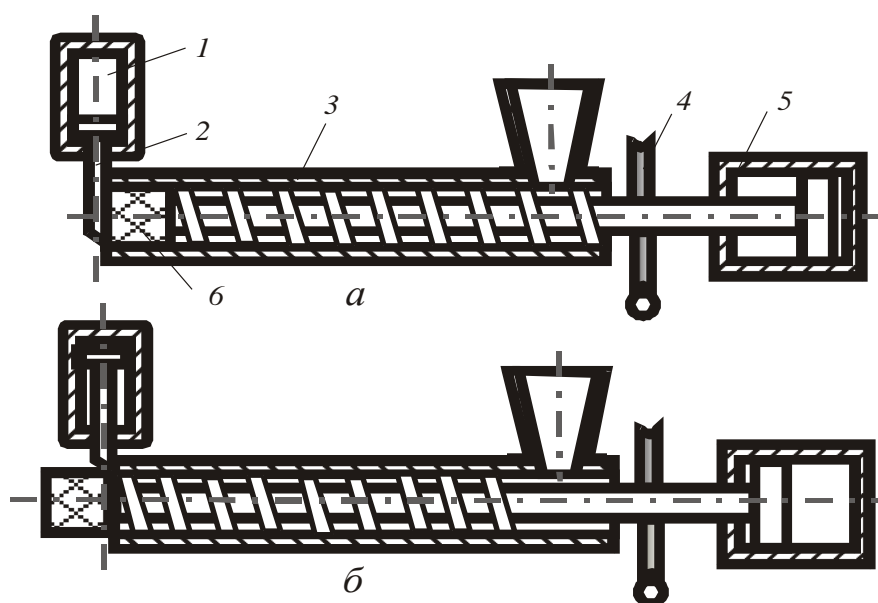


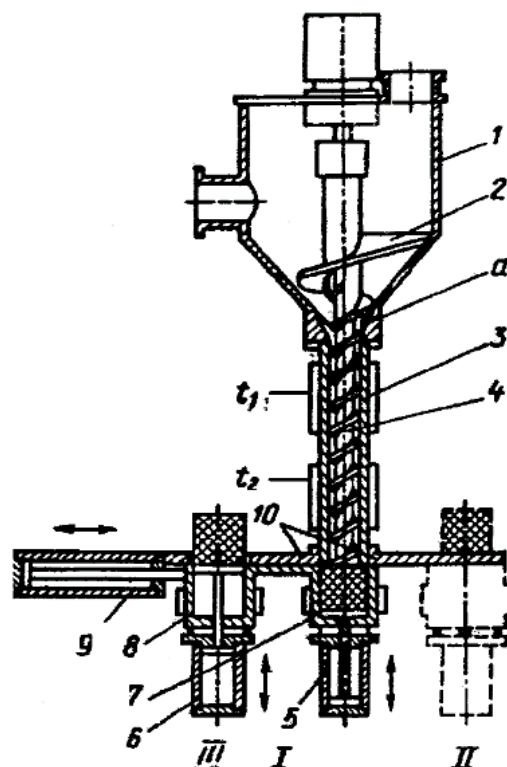
Рис. 2.41. Таблетирование при помощи шнекового пластикатора горизонтального типа: *а* – пластикация материала и его нагнетание в копильник; *б* – выдавливание из копильника и отрезание таблетки:

- 1* – гидропривод ножа; *2* – нож; *3* – пластикационный цилиндр;
4 – червячная передача привода вращения червяка;
5 – гидропривод осевого перемещения червяка; *6* – таблетка

На рисунке 2.42 представлена схема работы вертикального пластикатора волокнитов: позиция *I* – набор дозы пластифицированного материала в камеру 7; позиция *II* – перемещение камер 7 и 8 вправо; выталкивание таблетки из камеры 7 гидроцилиндром 5; одновременный набор дозы в камеру 8; позиция *III* – перемещение камер 7 и 8 в позицию *I*; выталкивание таблетки из камеры 8 гидроцилиндром 6; одновременный набор дозы в камеру 7.

Рис. 2.42. Вертикальный шнековый пластикатор волокнитов:

1 – загрузочный бункер; 2 – конический шнек бункера; 3 – цилиндр пластикации с двумя зонами обогрева t_1 и t_2 ; 4 – пластикационный шнек (червяк); 5 и 6 – гидроцилиндры дозирования; 7 и 8 – приемные камеры пластифицированного материала; 9 – гидроцилиндр совместного перемещения гидроцилиндров 5 и 6 с камерами 7 и 8; 10 – направляющая планка перемещения камер 7 и 8 с гидроцилиндрами



Так, отечественный шнековый пластикатор волокнитов типа ПВЧ-63В с часовой производительностью 60 кг/ч позволяет изготавливать таблетки Ø 63, 85, 100 мм и высотой 50–200 мм с максимальной массой 2 100 г. Парк типоразмеров зарубежных шнековых пластикаторов большой и позволяет изготавливать таблетки с массой от 65 до 1580 г.

2.8. Аппараты для предварительного подогрева материалов

2.8.1. Цель предварительного подогрева

Полимерные материалы при их переработке в изделия предварительно нагревают, прежде всего, для интенсификации процесса производства. Так, предварительный нагрев термореактивных пресс-материалов (реактопластов) позволяет снизить давление и время прессования, увеличить текучесть материала, прессовать изделия со сложной и тонкой арматурой, удалять влагу и летучие вещества. Это способствует повышению диэлектрических свойств и уменьшению усадки изделия. При переработке термопластов предварительный нагрев применяется при формовании изделий на внутренней или внешней поверхности из листовых материалов и при сварке.

2.8.2. Способы предварительного нагрева

Предварительный нагрев осуществляют в *шкафах-термостатах* (конвективный нагрев), в *контактных нагревателях* (контактная теплопередача), *инфракрасными нагревателями* (радиационный нагрев), в *генераторах токов высокой частоты* (высокочастотный нагрев).

Термостаты применяют главным образом для подогрева реактопластов в виде порошка или гранул при температуре 80–140 °С в течение 5–20 мин. Нагрев применяют электрический, паровой или воздушный. Паровой или воздушный – для регулирования содержания влаги в материале, что положительно влияет на усадку и устойчивость размеров пресс-изделий. Подогрев сухим воздухом (электрическим) используют, когда необходимо получить изделия с хорошими диэлектрическими свойствами. Предварительный нагрев пресс-материала в термостатах в настоящее время в массовом производстве используют редко, как самый продолжительный. Он может вызвать преждевременное отверждение реактопласта. При прессовании изделий большой массы из волокнитов это является эффективным.

Инфракрасные нагреватели применяют при формировании на внутренней или внешней поверхности крупногабаритных изделий из листовых термопластов и при некоторых видах их сварки. Инфракрасный нагрев относится к радиационному типу нагрева (лучеиспускание). Применяют лампы с инфракрасным излучением или нагревательные спирали сопротивления.

Контактные нагреватели применяют при предварительном нагреве таблеток диаметром до 30 мм из реактопластов. Интенсивность нагрева почти в два раза выше чем в термошкафах, так как осуществляется контактным способом теплопередачи.

На рисунках 2.43 и 2.44 представлены два типа контактных малогабаритных нагревателей. При их работе исключены радио- и тепломехи, которые имеют место при работе генераторов ТВЧ.

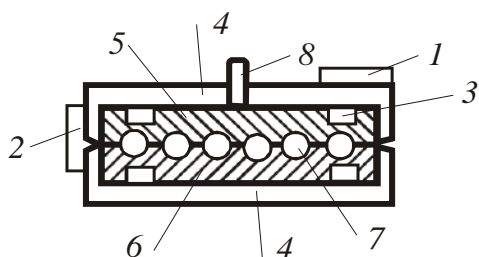
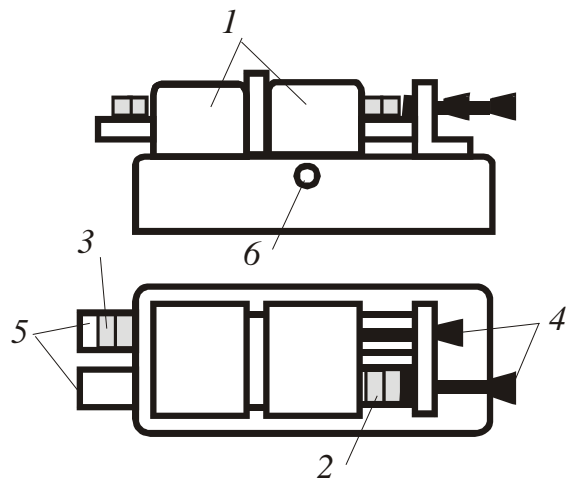


Рис. 2.43. Устройство для контактного нагрева таблеток завода «Карболит»:

- 1 – регулятор мощности нагрева; 2 – шарнир;
- 3 – индукционный нагреватель;
- 4 – теплоизоляция; 5, 6 – греющие плиты;
- 7 – пазы для таблеток; 8 – рукоятка подъема верхней плиты

Рис. 2.44. Общий вид контактного нагревателя с индукционным обогревом Cycleg фирмы Beanwy Electric (Великобритания):
 1 – нагреватели; 2 – «холодные» таблетки; 3 – нагретые таблетки;
 4 – регуляторы подачи таблеток;
 5 – желоба для таблеток;
 6 – сигнальная лампа



Генераторы токов высокой частоты

Контактный и тем более конвективный нагрев не обеспечивают равномерного распределения температуры в материале и высокой скорости нагрева. В современном производстве пресс-изделий из реактопластов распространен высокочастотный (диэлектрический) предварительный подогрев, обладающий следующими преимуществами по сравнению с другими методами нагрева:

- высокой скоростью;
- равномерностью и избирательностью нагрева;
- простотой регулирования режимов нагрева;
- возможностью механизации и автоматизации техпроцессов.

Принцип нагрева реактопластов (полярных диэлектриков) токами высокой частоты заключается в следующем. В полярном диэлектрике каждая молекула имеет равное количество положительных и отрицательных зарядов. Они находятся в устойчивом равновесии. Если диэлектрики поместить в электрическое поле, то положительные заряды смещаются по направлению к отрицательному электроду, а отрицательные – к положительному. Происходит электрический сдвиг. В переменном электрическом поле этот сдвиг будет происходить с частотой, близкой к частоте этого поля. В материале возникают токи сдвига. При токах сдвига вследствие внутреннего молекулярного трения возникают диэлектрические потери, которые вызывают образование тепла. Количество тепла зависит от частоты электрического поля. При низких частотах поля в диэлектриках возникает небольшое количество тепла, а при высоких (15–80 МГц) выделяется такое количество тепла, которое можно использовать для промышленного нагрева реактопластов. Поскольку преобразование электрической энергии в тепловую происходит по всей массе материала, то температурные перепады минимальны (рис. 2.45).

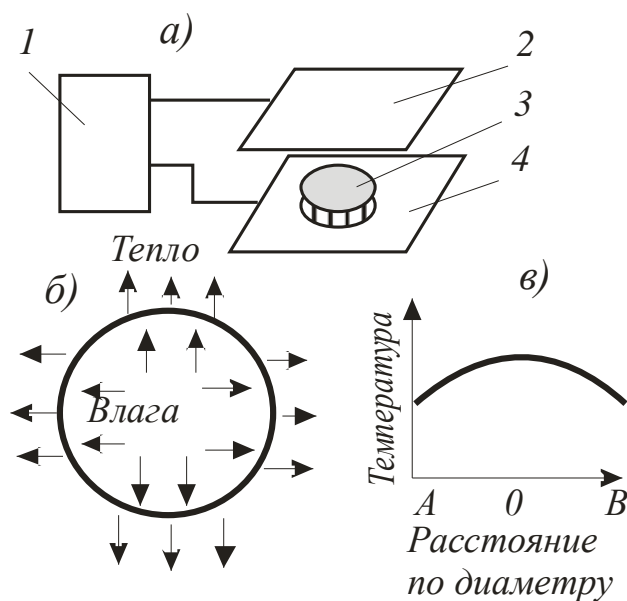


Рис. 2.45. Схема нагрева таблеток в поле ТВЧ:

а – расположение таблетки между пластинами рабочего конденсатора высокочастотного генератора;

б – движение тепла и влаги в таблетке при нагреве ее в поле ТВЧ;

в – распределение температуры по средней части таблетки вдоль ее диаметра:

1 – генератор ТВЧ; *2, 3* – пластины конденсатора; *4* – таблетка

Нагрев материала происходит из центра объема материала. Высокочастотный нагрев эффективен при подогреве таблетированных пресс-материалов, так как скорость нагрева зависит от плотности материала.

Различные полимерные материалы, помещенные в переменное электрическое поле, нагреваются с разной интенсивностью. Критерием оценки поведения материала в высокочастотном электрическом поле является величина коэффициента диэлектрических потерь K , равного произведению диэлектрической проницаемости ε на тангенс угла диэлектрических потерь $\tan \delta$:

$$K = \varepsilon \tan \delta. \quad (2.5)$$

Удельная мощность, выделяемая в виде тепла в единице объема диэлектрического материала при нахождении его в электрическом поле, определяется как, Дж/м³:

$$p = 0,555 \cdot 10^{-8} K f E, \quad (2.6)$$

где f – частота колебаний электрического поля, Гц;

E – напряженность поля, В/м.

Для предварительного нагрева полимерных материалов применяют различные типы генераторов токов высокой частоты. Они различаются выходной мощностью (0,63–10 кВт) и работают на двух частотах: 40,68, 81,36 МГц. Они отличаются размерами (настольные и напольные шкафы). Масса нагреваемого материала – от 0,08 до 1,6 кг.

На рисунке 2.46 представлен график скоростей нагрева таблетированного пресс-материала различными способами.

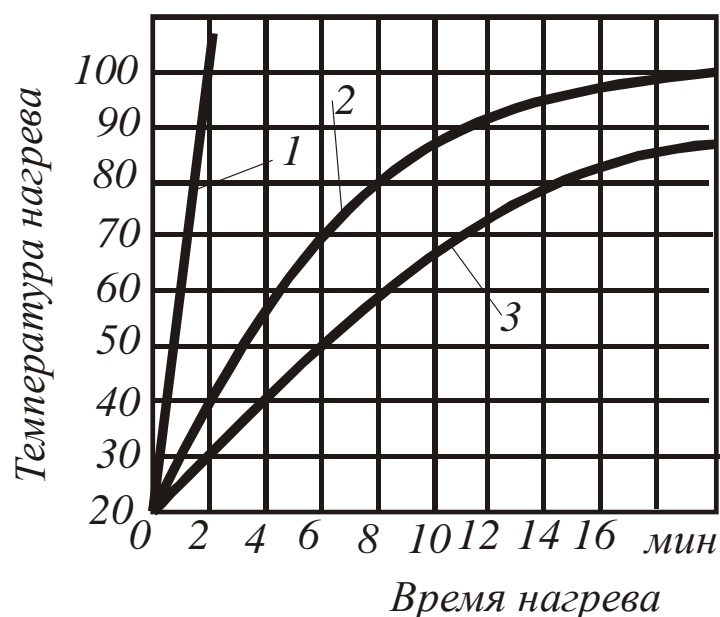


Рис. 2.46. График скоростей нагрева таблетированного материала различными способами:

1 – в генераторе ТВЧ; 2 – в контактном нагревателе;
3 – в термошкафу

3. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ

3.1. Принцип формования изделий методом прессования

Прессование – это технологический процесс изготовления изделий из полимерных материалов, заключающийся в пластической деформации материалов при действии на него давления и последующей фиксации формы изделия. Основной формующий инструмент – пресс-форма, давление в которой создается прессом.

Если формуемый материал способен к пластической деформации без нагревания, то прессование производится в холодной форме и называется холодным прессованием. В случае холодного прессования образование прочного изделия обуславливается действием сил электростатического притяжения макромолекул полимера и отдельных группировок в их составе. Электростатические взаимодействия намного слабее химических связей и вступают в действие только при сближении отдельных частиц на расстоянии до 10^{-9} м.

Прессование в разогретой форме (горячее прессование) применяется, когда высокая температура необходима для того, чтобы обеспечить более низкую вязкость материала и повысить его текучесть. При горячем прессовании изделие образуется из расплава полимера:

- за счет реакции отверждения, которая может протекать при повышении температуры, использовании отвердителя или комбинации этих методов (при прессовании реактопластов);
- при охлаждении отформованного изделия за счет электростатического взаимодействия молекул полимера (при прессовании термопластов).

В зависимости от конструкции пресс-формы горячее прессование разделяют на прямое (компрессионное) и литьевое (трансферное). Прессование широко применяется при переработке реактопластов, резин, а также высоконаполненных полимерных композиций на основе термопластов.

Компрессионное прессование реактопластов – наиболее простой и распространенный метод прессования. Прямое прессование применяется при переработке высоконаполненных пресс-материалов на основе реакционноспособных смол, содержащих до 70 % наполнителя: пресс-порошков, волокнитов и слоистых пластиков. Этот метод используют при изготовлении изделий конструкционного назначения. Прямое прессование осуществляется в пресс-форме, форма внутренней полости которой соответствует форме поверхности конструируемого изделия (рис. 3.1).

При формовании изделий сложной конструкции, имеющих малую толщину стенки и большую высоту либо имеющих тонкую сквозную арматуру, применяется *метод литьевого прессования*.

Процесс литьевого прессования представляет собой впрыскивание или выдавливание расплава полимера в формующую полость пресс-формы из загрузочной камеры через литниковые каналы (или литники). Этим методом перерабатываются быстроотверждающиеся

реактопласты, а также высоковязкие и высоконаполненные термопласты. Литьевое прессование делится на два вида:

- собственно *литьевое* прессование, осуществляемое в пресс-форме с верхней загрузочной камерой, называемой передаточной;
- *трансферное* прессование, которое осуществляется в пресс-форме с нижней загрузочной камерой и вспомогательным плунжером.

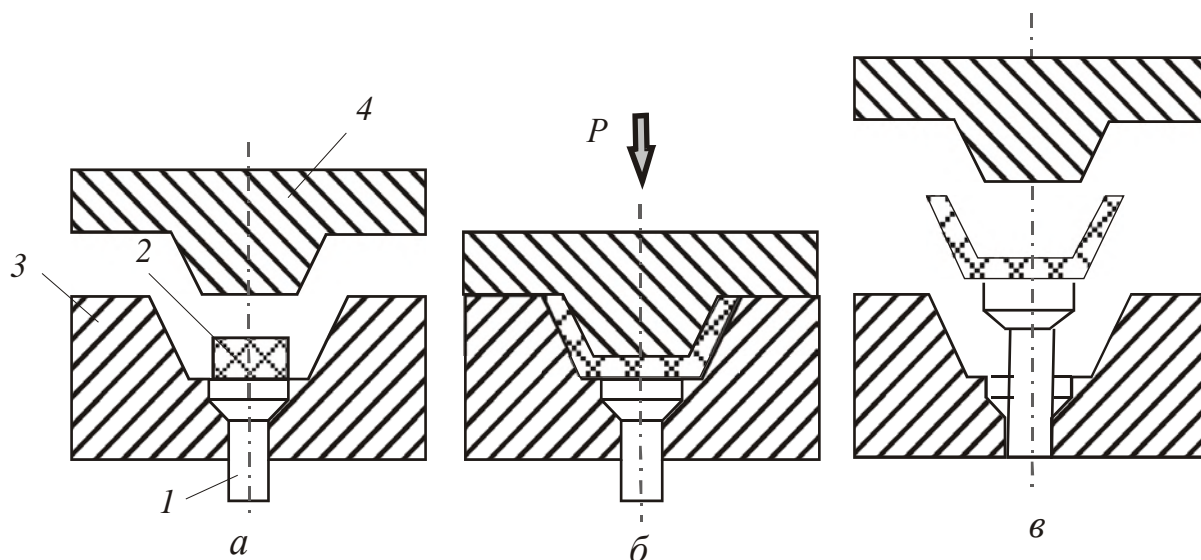
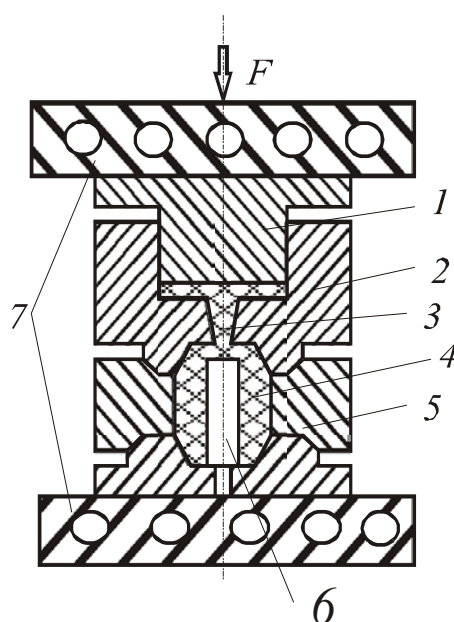


Рис. 3.1. Схема изготовления изделий методом прямого прессования:
 а – загрузка пресс-материала; б – смыкание формы;
 в – раскрытие формы и извлечение готового изделия;
 1 – выталкиватель; 2 – пресс-материал; 3 – матрица; 4 – пуансон

Схемы двух способов литьевого прессования представлены на рисунках 3.2 и 3.3.

Рис. 3.2. Схема литьевого прессования с верхней загрузочной камерой:
 1 – пуансон; 2 – загрузочная (литьевая) камера; 3 – литниковый канал;
 4 – пресс-изделие; 5 – обойма матрицы;
 6 – оформляющий стержень;
 7 – греющие плиты



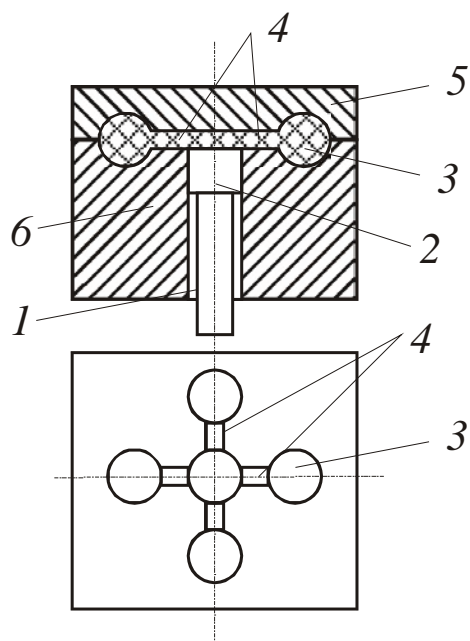


Рис. 3.3. Схема трансферного прессования с нижней загрузочной камерой:

1 – загрузочная (литьевая) камера;

2 – нижний рабочий плунжер;

3 – гнезда пресс-формы (изделия);

4 – разводящие (литниковые) каналы;

5 – пуансон; 6 – матрица

Штранг-прессование можно рассматривать как поршневую экструзию. Особенность метода – использование открытой проходной пресс-формы, давление в которой создается при продавливании пресс-материала поршнем через канал (рис. 3.4). Пуансон пресс-формы связан с плунжером горизонтального пресса и совершает возвратно-поступательное движение. Штранг-прессованием получают изделия большой протяженности профильной формы из высоконаполненных пресс-порошков и волокнитов.

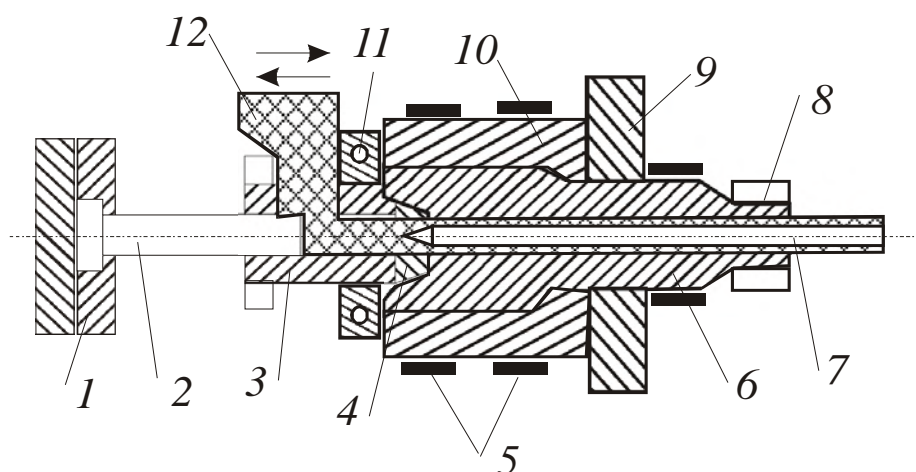


Рис. 3.4. Схема пресс-формы для профильного (штранг) прессования:

1 – фланец крепления плунжера; 2 – плунжер; 3 – загрузочная камера;

4 – дорнодержатель; 5 – обогрев электрический; 6 – матрица; 7 – дорн;

8 – мундштук; 9 – фланец; 10 – обойма; 11 – каналы охлаждения;

12 – загрузочный бункер

3.2. Физико-химические основы формирования изделий из реактопластов методом прессования

При прямом прессовании термореактивный пресс-материал, испытывая давление, которое передается через пуансон пресс-формы от усилия пресса:

- 1) превращается в расплав в результате теплопередачи от нагретых формирующих поверхностей матрицы и пуансона;
- 2) уплотняется и заполняет всю формирующую полость пресс-формы;
- 3) отверждается в результате образования пространственной сетчатой структуры полимерной матрицы с выделением или без выделения тепла экзотермической реакции отверждения.

Таким образом, прессование можно рассматривать, как процесс нестационарного течения сплошной среды, сопровождающийся химическими превращениями материала, и его можно описать соответствующими уравнениями теплопередачи, гидродинамики и химической кинетики.

В уплотнении исходного пресс-материала в пресс-форме различают три стадии (рис. 3.5):

- 1) сближение частиц;
- 2) образование компактного тела (частицы сближаются настолько, что между ними возникают силы межмолекулярного и электростатического взаимодействия);
- 3) объемное сжатие компактного тела.

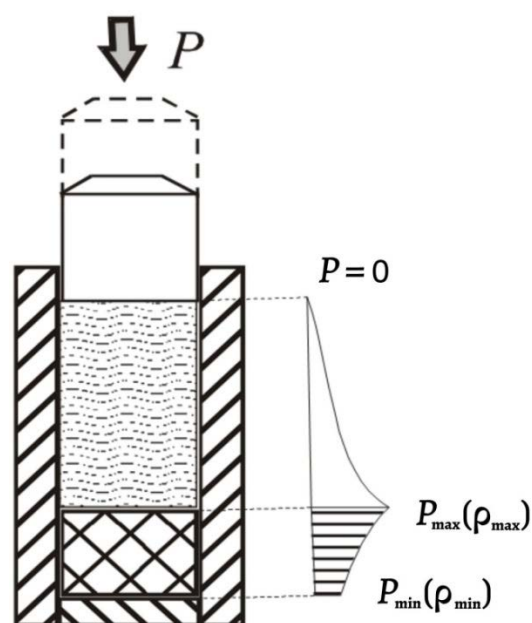


Рис. 3.5. Эпюры распределения давления при смыкании пресс-формы

Коэффициент уплотнения (отношение прироста плотности материала к приросту давления ($\Delta P/\Delta \rho$)) максимален на первой стадии и минимален на третьей. Практическое значение имеет вторая стадия уплотнения, для которой характерна следующая зависимость:

$$\rho = P/RT(A + BP), \quad (3.1)$$

где ρ – плотность материала, кг/м³;

P – давление прессования, Па;

R – универсальная газовая постоянная;

T – температура прессования, °К

A и B – постоянные коэффициенты.

Течение пластицированного реактопласта и заполнение пресс-формы – это процесс, при котором давление на материал не остается постоянным.

Изменение давления в цикле формования наглядно показывает диаграмма «давление в форме – время» (рис. 3.6).

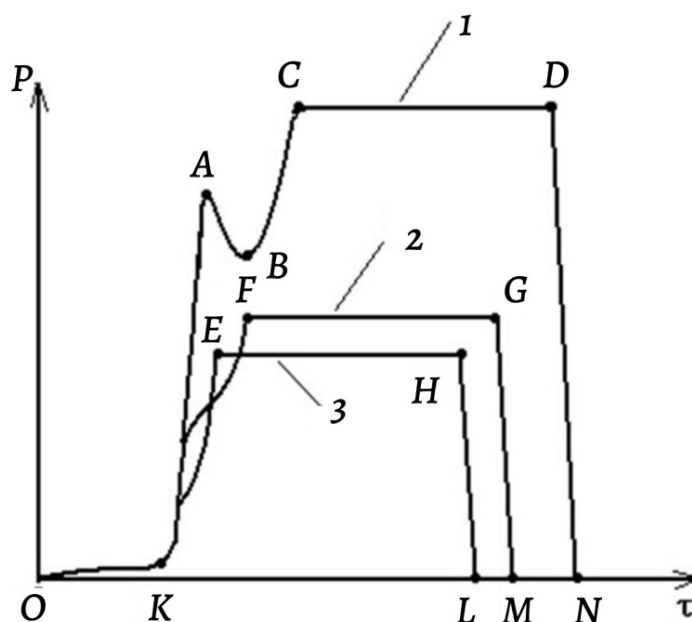


Рис. 3.6. Распределение давления в пресс-материале при прессовании реактопластов:

1 – предварительно не нагретый материал; 2 – материал, нагретый в ГТВЧ;

3 – материал, пластицированный в шнековом (червячном) пластикаторе;

OK – начальный период смыкания пресс-формы; KABC, KF, KE – окончательное смыкание формы; CD, FG, EH – отверждение материала в замкнутой форме;

DN, GM, HL – размыкание формы; AB – растекание материала в полости формы; BC – замыкание форм

На данной диаграмме можно выделить следующие участки. *ОК* – начальный период смыкания пресс-формы. Для растекания не нагретого предварительно пресс-материала необходимо относительно длительное время прессования и повышенное давление (кривая 1).

Участок *КАВС* – окончательное смыкание пресс-формы. На отрезке *АВ* давление снижается из-за растекания материала по всей формующей полости. Точка *В* соответствует началу отверждения материала. Последний подъем давления (отрезок *ВС*) связан с замыканием пресс-формы. Отверждение пресс-материала происходит при практически постоянном давлении (отрезок *CD*). При размыкании формы давление резко снижается (отрезок *DN*).

Для прессования реактопластов, предварительно нагретых ТВЧ требуется значительно меньшее давление (кривая 2). В этом случае оно повышается до момента полного смыкания формы (точка *F*), продолжительность отверждения (отрезок *FG*) и всего цикла прессования сокращается. Еще более эффективно прессование материала, предварительно пластифицированного в червячном пластикаторе (кривая 3), поскольку такой материал находится практически в вязко-текучем состоянии. Давление смыкания (точка *E*) еще ниже, чем точка *F* на кривой 2.

Теплохимические процессы отверждения реактопластов при прессовании

Процесс нагрева пресс-материала от формующих поверхностей матрицы и пуансона (теплопередача) – первичный процесс (рис. 3.7), т. е. материал разогревается от начальной температуры T_n и переходит в вязко-текучее состояние, затем химический – отверждения. Эти процессы начинают протекать одновременно, когда материал прогреется до определенной температуры.

Данная температура называется *температурой начала интенсивного отверждения* T_1 – это температура, при которой процесс отверждения начинает протекать с заметной скоростью.

Характер изменения температуры в объеме прессуемого изделия за время выдержки будет определяться так: отверждается ли данный реактопласт без выделения или с выделением тепла экзотермической реакции.

Для пресс-материалов, которые отверждаются без выделения экзотермического тепла (на основе КФО, КОС, ПИ), термограмма процесса отверждения имеет следующий вид (рис. 3.7, а).

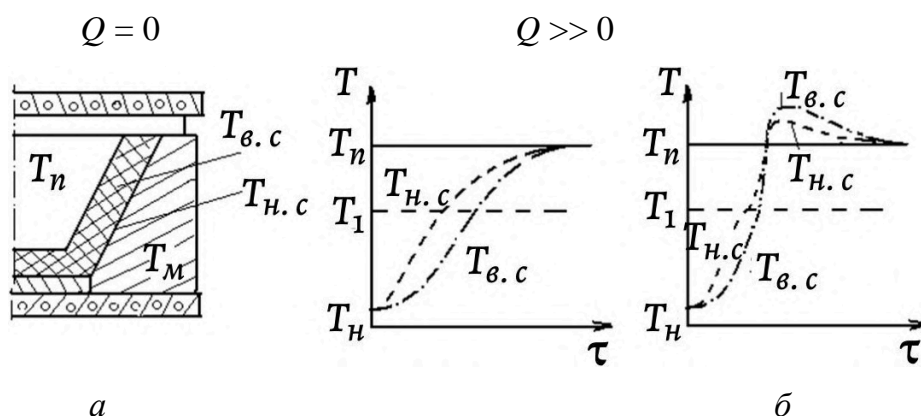


Рис. 3.7. Термограммы процесса отверждения реактопластов:
 а – отверждающиеся без выделения экзотермического тепла;
 б – отверждающиеся с выделением экзотермического тепла; T_n – начальная температура пресс-материала; T_n – температура прессования (пресс-формы);
 T_1 – температура начала интенсивного отверждения; $T_{н.с}$ – изменение температуры наружных слоев материала в процессе прессования;
 $T_{в.с}$ – изменение температуры внутренних слоев материала в процессе прессования; T_m – температура материала

После загрузки пресс-материала в пресс-форму и его уплотнения под давлением пуансона сначала прогреваются наружные слои $T_{н.с}$, а через некоторое время и внутренние слои $T_{в.с}$. В это время наружные слои в зависимости от толщины изделия (h) и температуры прессования T_n имеют температуру порядка 120–150 °С. Также вперед начинают отверждаться наружные слои после их разогрева выше температуры начала интенсивного отверждения T_1 , а потом и внутренние слои.

После прогрева наружных, а затем и внутренних слоев выше T_1 начинают протекать одновременно два процесса: нагрева от T_1 до T_n и отверждения полимерной матрицы в этом интервале температур нагрева, т. е. в *неизотермических условиях* (не при постоянной температуре). Когда весь объем прессуемого изделия прогреется до температуры прессования T_n , то уже при этой температуре идет доотверждение в *изотермических условиях* (при постоянной температуре) до конечной заданной степени отверждения.

При прессовании реактопластов, отверждающихся с выделения экзотермического тепла (на основе ФФО, ЭС, НПС и их модификаций), термограмма процесса отверждения имеет следующий вид (рис. 3.7, б). До температуры начала интенсивного отверждения T_1 нагрев материала происходит так же, как и в первом случае (рис. 3.7, а). После T_1 прогрев ускоряется за счет выделения тепла

экзотермической реакции отверждения. Температуры прессования T_n все слои изделия достигают практически одновременно. Затем температура внутренних слоев $T_{в.с}$ превышает температуру прессования. Величина температурного градиента ($\Delta T = T_{в.с} - T_n$) зависит от типа связующего и его содержания, вида наполнителя (влияет на теплопроводность материала), толщины изделия и температуры прессования. Величина ΔT может превышать 200 °С. Из рисунка 3.7, б следует, что процесс отверждения происходит в неизотермических условиях.

Оба процесса нагрева и отверждения, протекающие при прессовании реактопластов, характеризуются следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}\frac{\partial T}{\partial \tau} &= a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{Q}{c\rho} \frac{\partial \alpha}{\partial \tau} \\ \frac{\partial \alpha}{\partial \tau} &= K_0 f(\alpha) e^{-\frac{U}{RT(\tau)}},\end{aligned}\quad (3.2)$$

где a – коэффициент температуропроводности, м²/с;

Q – количество экзотермического тепла, кДж/кг;

c – удельная теплоемкость, кДж/(кг·К);

ρ – плотность материала, кг/м³;

α – степень отверждения;

τ – время отверждения материала, с;

K_0 – коэффициент диэлектрических потерь;

$f(\alpha) = \alpha^m (1 - \alpha)^n$ – степенной закон изменения степени отверждения, m и n – показатели порядка реакции;

U – кажущаяся энергия активации процесса отверждения, кДж/моль;

R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К);

$T(\tau)$ – закон изменения температуры в материале в процессе прессования.

Первое уравнение Фурье – уравнение теплопроводности, которое характеризует процесс нагрева материала с учетом тепла экзотермической реакции. Второе уравнение – уравнение химической кинетики, которое характеризует процесс отверждения на основе закона Аррениуса.

На основании данной системы уравнений рассчитывается время выдержки (время прессования) изделия в пресс-форме до достижения необходимой степени отверждения или заданных эксплуатационных свойств. Как показывает эта система, время выдержки (время прессования) является функцией следующих параметров процесса прессования, с:

$$\tau_{\epsilon} = f[h^2; a; \beta; T_n; T_n; \tau_0(T_0); Q; U], \quad (3.3)$$

где h – толщина изделия, м;

β – коэффициент, определяющий скорость нагрева в зависимости от формы изделия;

τ_0 – время отверждения материала при температуре стандартных испытаний T_0 , с.

3.3. Конструкции и классификации прессов

Для изготовления изделий из реактопластов методом прессования основным видом оборудования являются прессы. Исходя из целевого назначения, прессовое оборудование классифицируется по многим конструктивно-технологическим признакам.

Прежде всего прессы классифицируют по типу станины и виду привода. По типу станины прессы делятся на *колонные, рамные, челюстные*.

Колонные прессы бывают двух-, четырех- и многоколонные (рис. 3.8). Рамные (рис. 3.9) и челюстные (рис. 3.10) могут быть двух- и многостоечными. При этом каждая из стоек вырезается из листового проката. Челюстные прессы применяют в тех случаях, когда при изготовлении изделий необходим доступ к пресс-форме с трех сторон, например, при прессовании изделий из пенопластов.

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

К *механическим* прессам относятся *винтовые, коленорычажные, эксцентриковые и ротационные*. Их целесообразно применять для изготовления мелких деталей при больших скоростях прессования, коротких выдержках и небольших усилиях прессования. В промышленности пластических масс механические прессы нашли наибольшее применение для таблетирования пресс-материалов, а также в конструкциях некоторых пресс-автоматов.

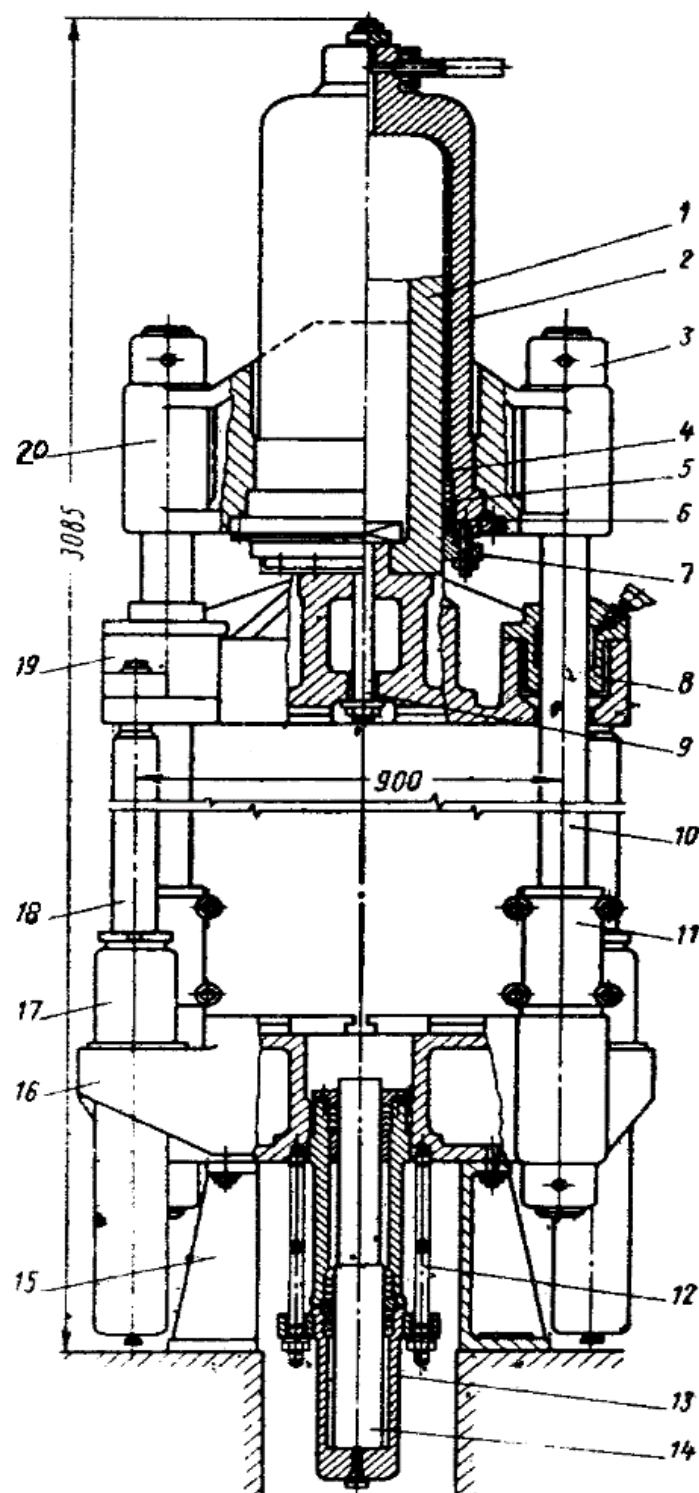


Рис. 3.8. Четырехколонный гидравлический пресс:

- 1 – главный плунжер; 2 – главный гидроцилиндр; 3 – гайка;
 4 – направляющая втулка; 5 – манжета; 6 – сальник; 7 – фланец;
 8 – направляющая втулка; 9 – болт; 10 – колонна; 11 – ограничитель хода;
 12 – шпилька; 13 – гидроцилиндр выталкивателя; 14 – плунжер выталкивателя;
 15 – стойка; 16 – нижняя переключательная с рабочим столом;
 17 – возвратный ретурный цилиндр; 18 – ретурный плунжер;
 19 – верхняя подвижная плита; 20 – верхняя переключательная (архитрав)

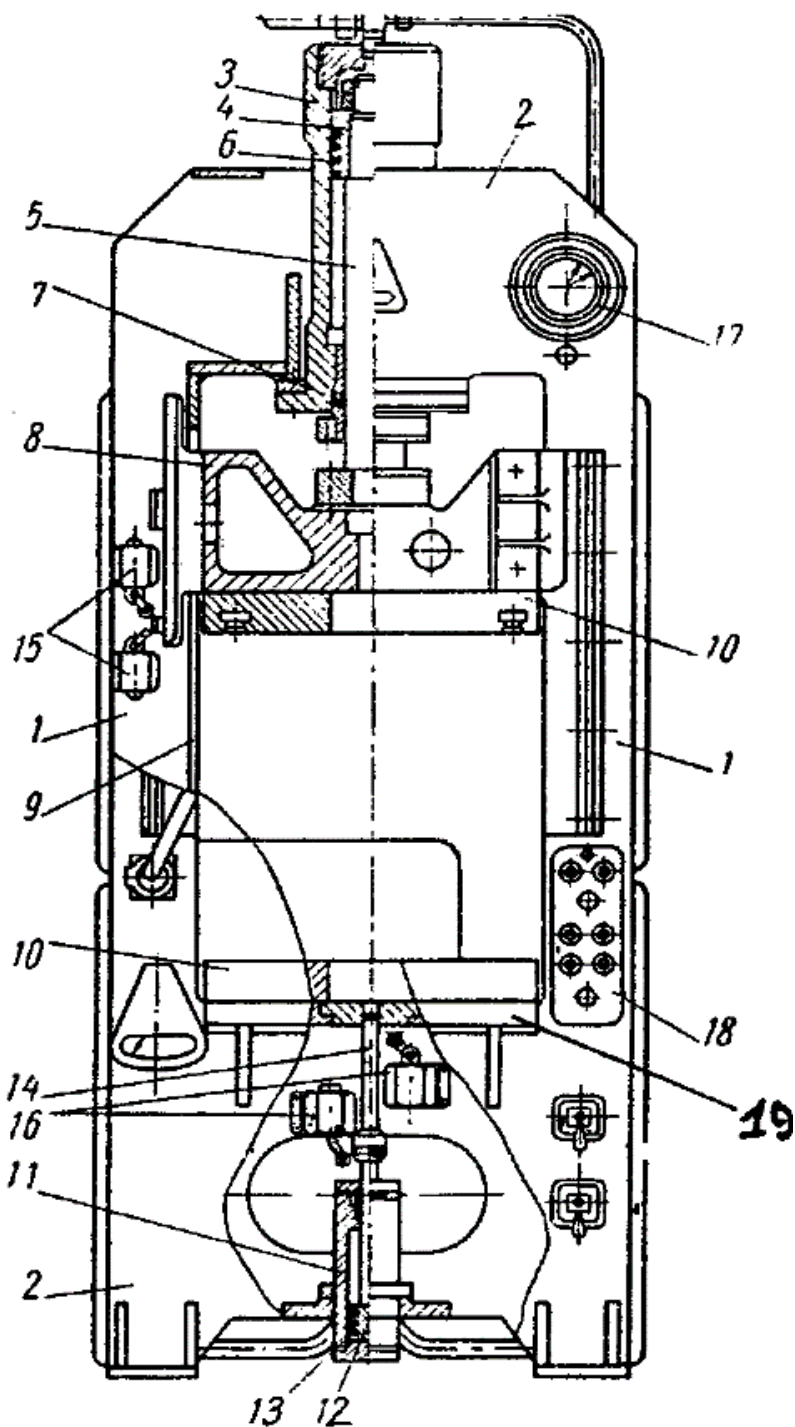


Рис. 3.9. Рамный гидравлический пресс: 1 – стойки; 2 – плиты; 3 – главный гидроцилиндр; 4 – дифференциальный плунжер; 5 – шток; 6, 7 – уплотнительные манжеты; 8 – подвижная верхняя плита; 9 – направляющие; 10 – верхняя и нижняя рабочие плиты; 11 – гидроцилиндр выталкивателя; 12 – дифференциальный плунжер выталкивателя; 13 – уплотнительные манжеты; 14 – шток выталкивателя; 15 – конечные выключатели (ограничители хода) верхней плиты; 16 – конечные выключатели хода выталкивателя; 17 – электроконтактный манометр давления; 18 – пульт управления пресса; 19 – стол

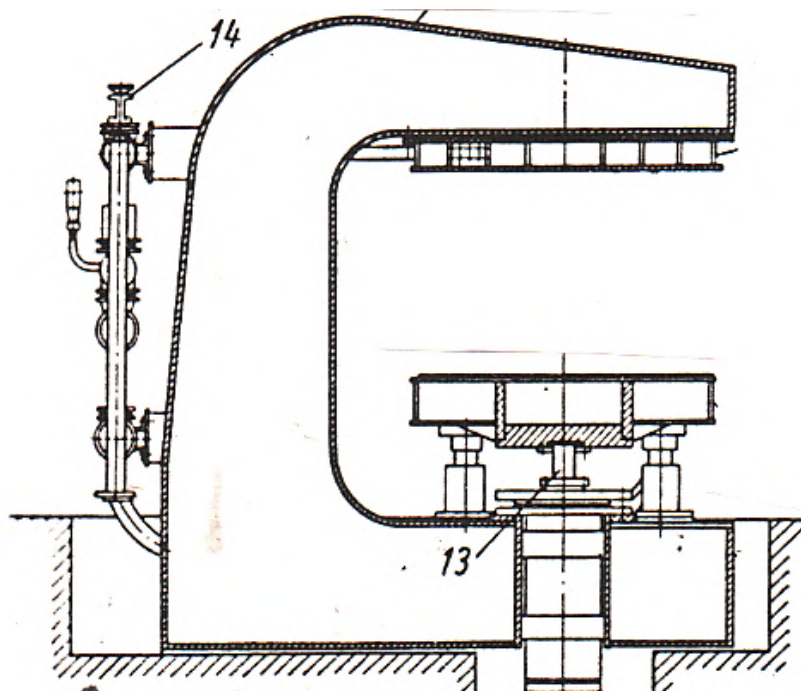


Рис. 3.10. Челюстной пресс

Гидромеханические прессы позволяют, используя рычажные механизмы, получить в начале рабочего хода большую скорость смыкания и небольшое усилие на рабочей плите (от механического привода), а в конце рабочего хода – большее усилие при небольшой скорости смыкания. Гидромеханические прессы имеют высокую производительность, но конструктивно сложнее чем гидравлические и дороже.

Они имеют ряд преимуществ по сравнению с механическими и гидромеханическими прессами. Обеспечивают возможность определять и в широких пределах регулировать усилие прессования. Позволяют регулировать величины и скорости рабочего хода, а также осуществлять выдержку под давлением и ее регулирование. В гидропрессах обеспечивается независимость величины усилия прессования от хода пресса, отсутствует жесткая связь пресса с приводом.

3.4. Конструкционная классификация гидравлических прессов

На заводах промышленности пластических масс применяются гидропрессы с размерами рабочего стола от 200×200 мм до $2\,500 \times 10\,000$ мм, с ходом подвижной плиты от 20 до 4 000 мм. Гидравлические прессы имеют комбинированную систему низкого

и высокого давления от 2 до 4 МПа во время замыкания пресс-формы и от 10 до 55 МПа в процессе прессования.

Гидравлические прессы подразделяются в зависимости от:

- усилия прессования – прессы *малой* мощности от 250 до 10 000 кН и *большой* мощности от 10 000 до 50 000 кН;
- конструкции станины – *колонные* и *рамные*;
- типа привода – с *индивидуальным* и *групповым* приводом; в последних – давление в гидроцилиндрах создается от гидрокомперсаторных аккумуляторных станций;
- направления закрытия пресс-формы – *вертикальные*, *горизонтальные* и *угловые*;
- направления главного рабочего усилия – с *вертикальным*, *нижним* и *комбинированным* давлением;
- количества главных рабочих гидроцилиндров – *одноцилиндровые* и *многоцилиндровые*;
- конструкции главного гидроцилиндра – прессы с цилиндром *одностороннего* действия и *возвратными* (ретурными) цилиндрами, прессы с цилиндром *двухстороннего* действия, снабженного *дифференциальным* плунжером;
- количества прессующих плит – *одноэтажные*, *двухэтажные* и *многоэтажные*;
- периодичности работы – прессы *циклические* и *карусельные*;
- способа управления – с *ручным*, *полуавтоматическим* и *автоматическим* управлением.

3.5. Общее устройство и работа гидравлического прессы

Рассмотрим на примере рамного прессы с верхним давлением (см. рис. 3.9). Рама прессы сварная и состоит из двух стоек, связанных поперечными плитами (две плиты сверху и две плиты снизу). В верхней части жестко закреплен главный гидроцилиндр прессы (рис. 3.11).

В цилиндре движется дифференциальный плунжер с прикрепленным к нему штоком. Плунжер и шток уплотняются с гидроцилиндром манжетами. Шток соединен с подвижной плитой. Она перемещается по направляющим, прикрепленным к стойкам.

К подвижной плите и рабочему столу прикреплены стальные рабочие плиты с пазами для крепления пуансона и матрицы пресс-формы. В нижней части рамы прессы расположен выталкиватель,

состоящий из гидроцилиндра, дифференциального плунжера с уплотняющими манжетами и штока. Для ограничения хода подвижной плиты и штока выталкивателя предусмотрены конечные выключатели.

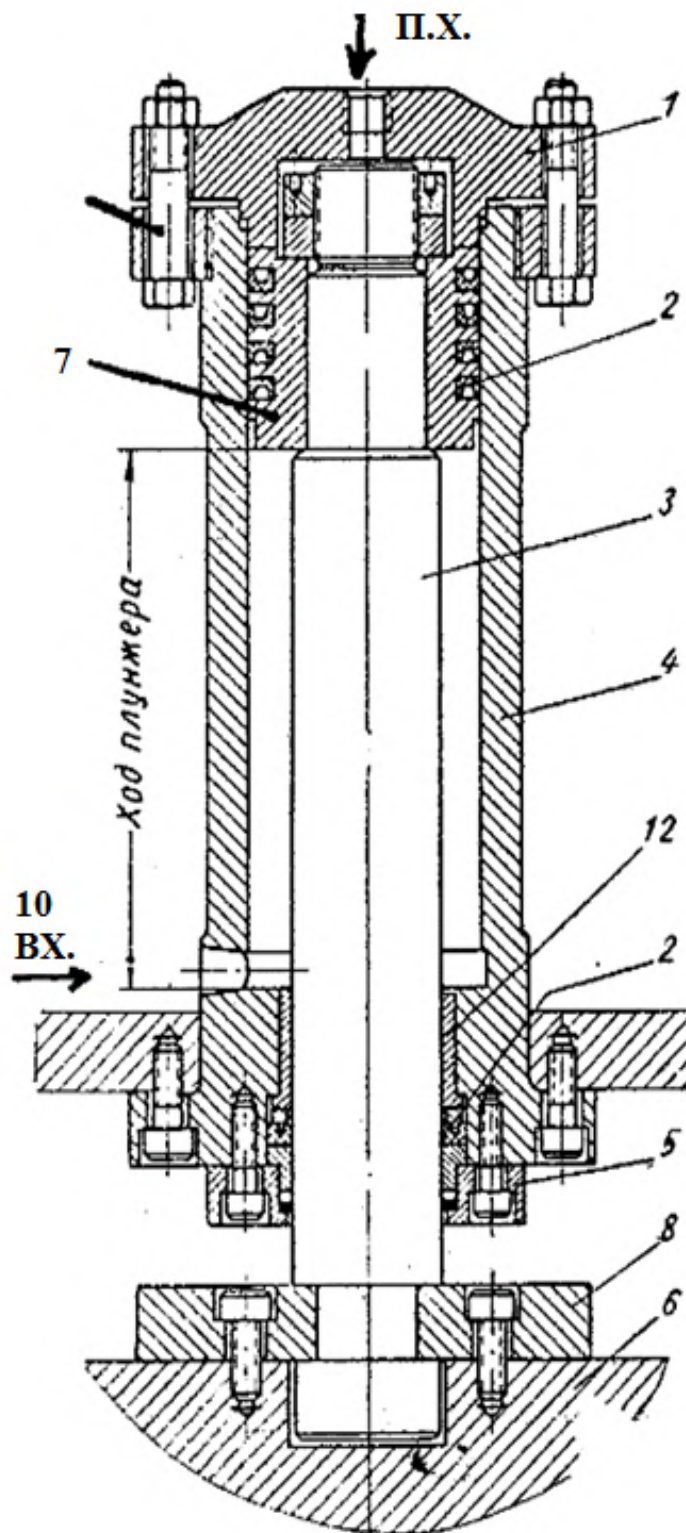


Рис. 3.11. Главный гидроцилиндр рамного пресса:
 1 – крышка цилиндра;
 2 – манжеты; 3 – шток;
 4 – цилиндр; 5 – нижняя грутбукса (фланец);
 6 – подвижная плита пресса; 7 – поршень плунжера; 8 – крепление штока и плиты; 9 – штуцер прямого хода; 10 – штуцер возвратного хода;
 11 – болты; 12 – направляющая втулка штока

Главный гидроцилиндр и гидроцилиндр выталкивателя соединены с индивидуальным гидроприводом (рис. 3.12). Он состоит из масляного бака, куда заливается масло через фильтр, двух насосов – поршневого высокого давления и шестеренного низкого давления, электродвигателя и гидравлической аппаратуры управления.

Гидравлическая аппаратура управления состоит из гидропанели, регулятора промежуточного давления и предохранительного клапана. Клапанами, находящимися в гидропанели, управляют электромагниты. Управление гидропрессами сводится к распределению рабочей жидкости по цилиндрам пресса при помощи различного вида распределителей (дистрибьюторов). При этом управление может быть ручным, полуавтоматическим и автоматическим.

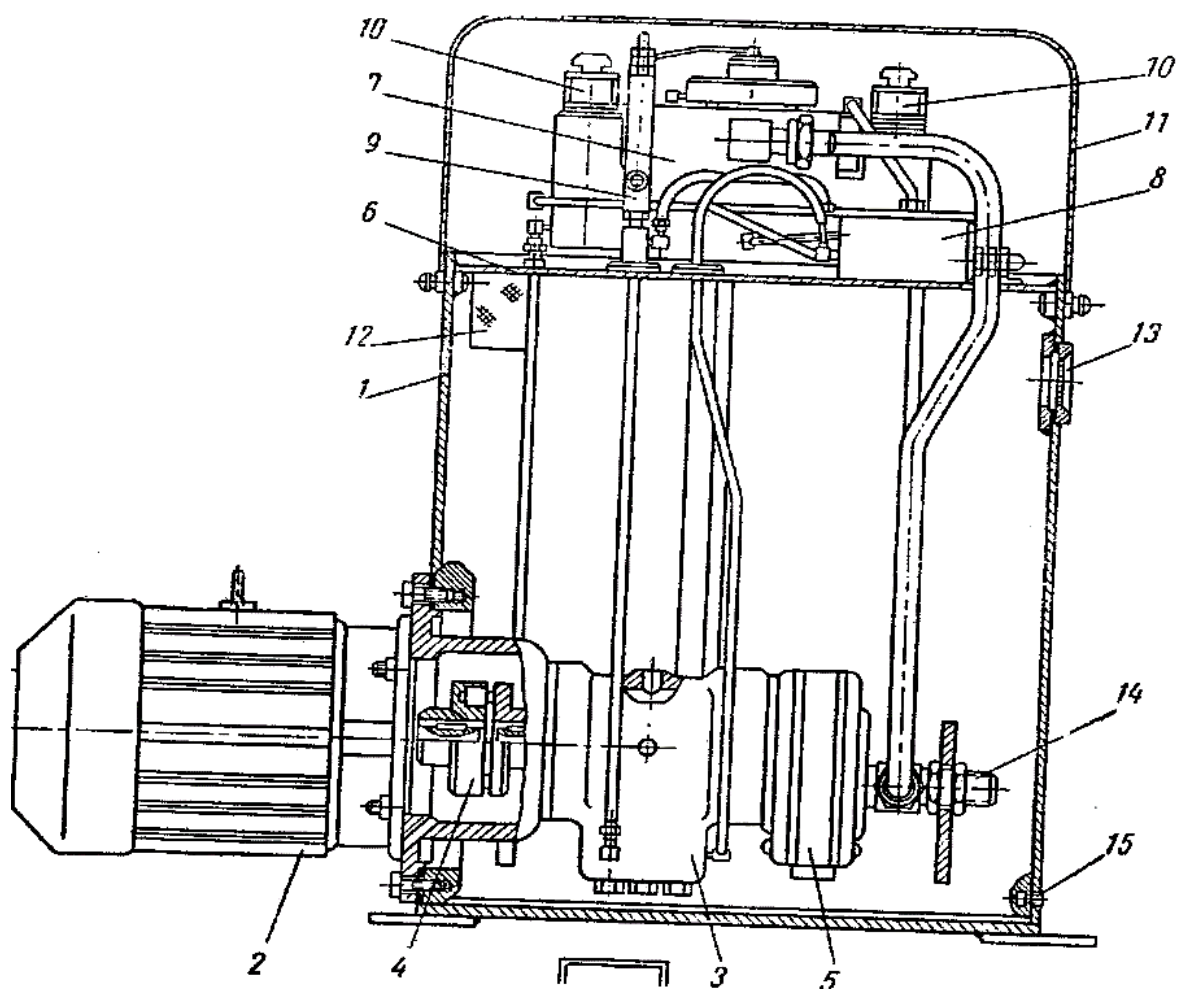


Рис. 3.12. Индивидуальный гидропривод рамного пресса:
 1 – бак рабочей жидкости; 2 – электродвигатель; 3 – насос высокого давления;
 4 – муфта сцепления; 5 – насос низкого давления; 6 – плита; 7 – гидропанель;
 8 – регулятор промежуточного давления; 9 – предохранительный клапан;
 10 – электромагниты; 11 – кожух; 12 – фильтр для заливки масла;
 13 – смотровое окно; 14 – патрубок; 15 – сливное отверстие

Распределители изготавливаются трех видов: шпиндельные, золотниковые и клапанные. В прессах с индивидуальным гидроприводом применяются клапанные дистрибьюторы для автоматического управления прессом. Работой клапана управляет соленоидная электромагнитная катушка.

3.6. Прессы специального назначения

Угловой гидравлический пресс (рис. 3.13) служит для прессования сложных изделий, извлечение которых из пресс-форм возможно только при разьеме формы по двум взаимно перпендикулярным плоскостям. Такие прессы имеют верхний и боковые цилиндры. Угловые прессы могут применяться также для литейного прессования изделий в форме с вертикальным разъемом.

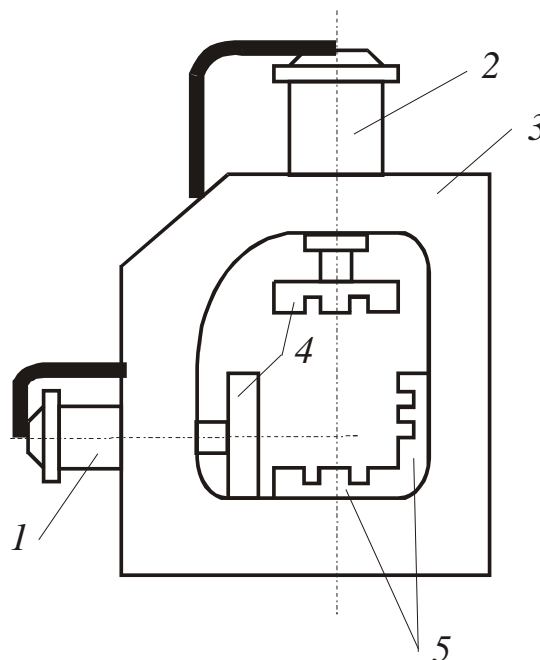


Рис. 3.13. Угловой пресс с одним угловым цилиндром:
1 – боковой гидроцилиндр; 2 – верхний гидроцилиндр; 3 – рама (стойка);
4 – подвижные рабочие плиты;
5 – неподвижные рабочие плиты

Этажные прессы нашли эффективное применение полуавтоматических гидропрессов на базе обычного колонного пресса с индивидуальным приводом для *двухэтажного прессования*.

Между подвижной плитой и столом пресса на двух колоннах установлена промежуточная плита. Плиты обогрева двух пресс-форм крепятся к столу, подвижной и промежуточными плитами пресса через теплоизоляционные прокладки (рис. 3.14).

Для прессования листов и плит из слоистых пластиков и древесных пластиков применяются этажные прессы (рис. 3.15). Они всегда имеют нижнее расположение рабочих цилиндров. При больших

размерах рабочих плит с целью более равномерной передачи на них усилия прессования и для уменьшения диаметра рабочего цилиндра применяется два и более гидроцилиндров. Между нижней греющей плитой, лежащей на подвижном столе, и верхней, прикрепленной к архитраву, монтируются промежуточные греющие плиты.

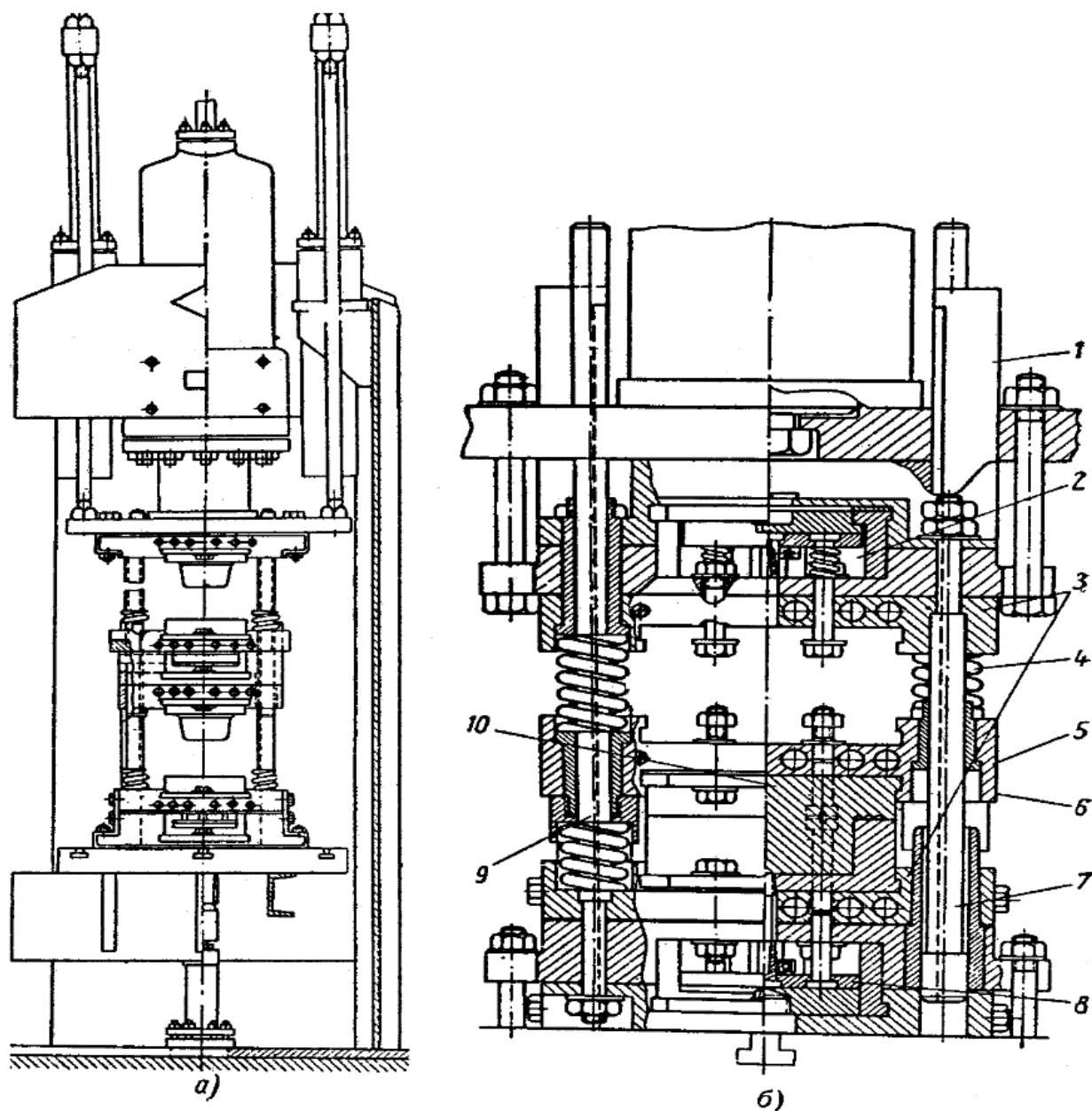


Рис. 3.14. Гидравлический пресс с инструментальной оснасткой для двухэтажного прессования: *а* – общий вид пресса; *б* – оснастка для двухэтажного прессования; 1 – тяговое устройство; 2 – выталкиватель; 3 – верхняя и нижняя плиты обогрева пресс-форм; 4 – буферная пружина; 5 – промежуточная греющая плита; 6 – теплоизоляция; 7 – направляющая колонка; 8 – нижний выталкиватель; 9 – направляющие колонки; 10 – оформляющее гнездо

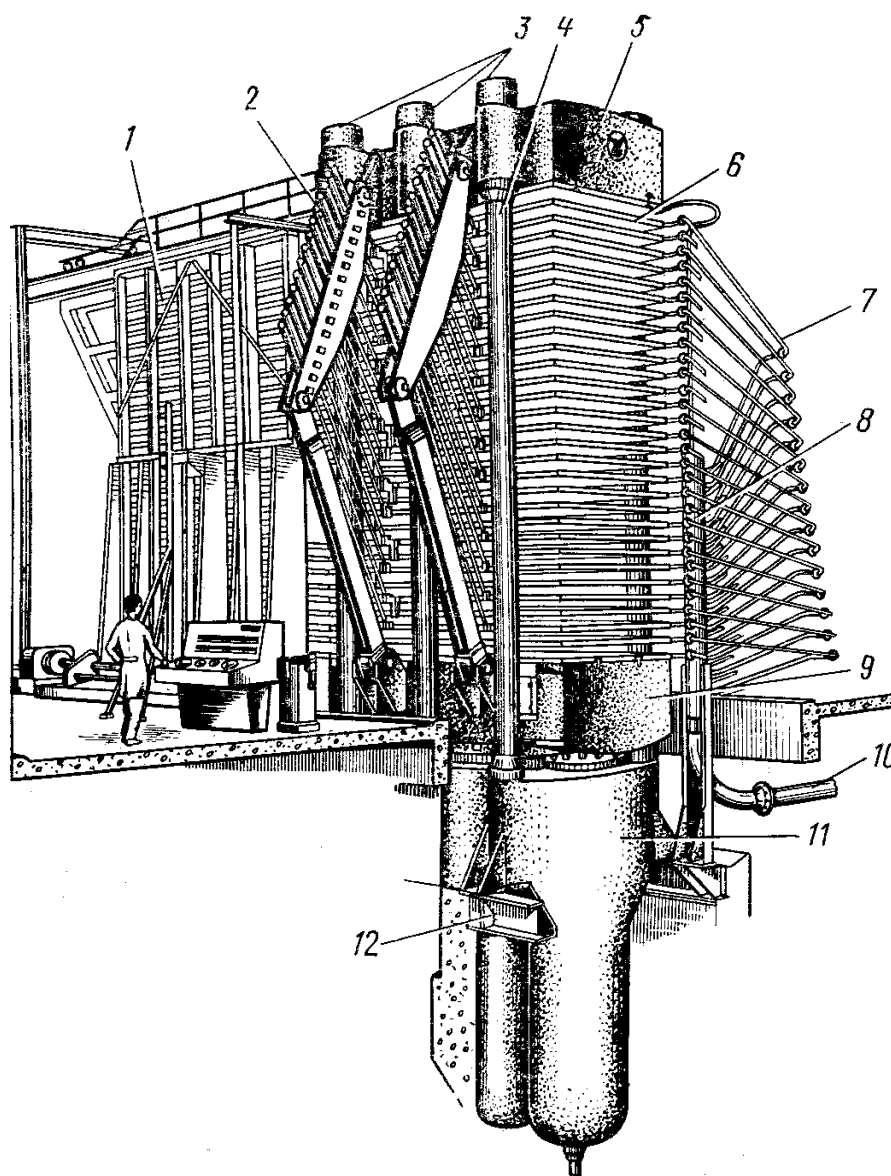


Рис. 3.15. Гидравлический 29-этажный пресс колонной конструкции:

- 1 – механизм загрузки (механизм разгрузки не показан);
- 2 – механизм одновременного смыкания плит пресса; 3 – гайка;
- 4 – колонна; 5 – архитрав; 6 – нагревательная плита;
- 7 – шарнирный трубопровод; 8 – коллектор; 9 – подвижный стол;
- 10 – теплопровод; 11 – гидроцилиндр; 12 – фундаментная рама

Количество промежуточных плит определяет этажность пресса (10–29 этажей). Усилие, создаваемое рабочими цилиндрами, передается на все этажи, и все пакеты слоистого материала прессуются в одинаковых условиях. При прессовании древесных плит и пластиков этажные прессы снабжены симультантным механизмом для одновременного смыкания всех греющих плит. Обогрев плит обычно осуществляется либо паром, либо перегретой водой, что обеспечивает равномерность прогрева всей поверхности плит.

Загрузка прессуемых пакетов и разгрузка готовых плит на прессе механизирована. По бокам пресса установлены погрузочно-разгрузочные камеры-этажерки, рольганги и другие погрузочно-разгрузочные механизмы.

Прессы для трансферного прессования относятся к типу литевых гидропрессов. Такой пресс (рис. 3.16) состоит из станины, в верхней части которой находится гидроцилиндр для запирания формы, а в нижней части – гидроцилиндр для нагнетания пластичного материала в форму. Для предотвращения раскрытия формы при прессовании усилие нижнего гидроцилиндра составляет 50 % от верхнего.

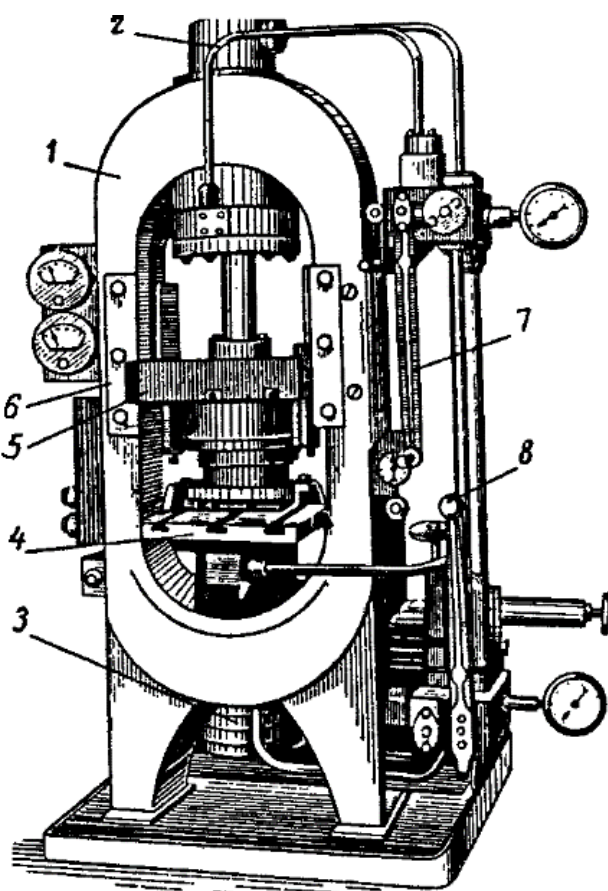


Рис. 3.16. Пресс для трансферного прессования:

- 1 – рама (стойка); 2 – верхний гидроцилиндр; 3 – нижний гидроцилиндр;
4 – нижний рабочий стол; 5 – верхняя подвижная плита; 6 – направляющие;
7 – ограничитель хода; 8 – пульт управления

Прессы для профильного прессования (штранг-прессы): профильное прессование реактопластов производится на специальных горизонтальных гидравлических профильных прессах (штранг-прессах) (рис. 3.17).

Пресс-форма для профильного прессования (см. рис. 3.4) устанавливается на подвижных плитах пресса. Фланец крепления плунжера формы соединен с неподвижным плунжером рабочего гидроцилиндра. Подвижные плиты пресса имеют возвратно-поступательное движение и автоматическое переключение с рабочего хода на холостой. Пресс-материал из бункера пресс-формы поступает при холостом ходе пресса в загрузочную камеру формы, а при рабочем ходе продавливается вдоль матрицы формы. При каждом рабочем ходе пресса в матрицу подаются порции материала, а из открытого мундштука выдавливаются новые участки профильного изделия.

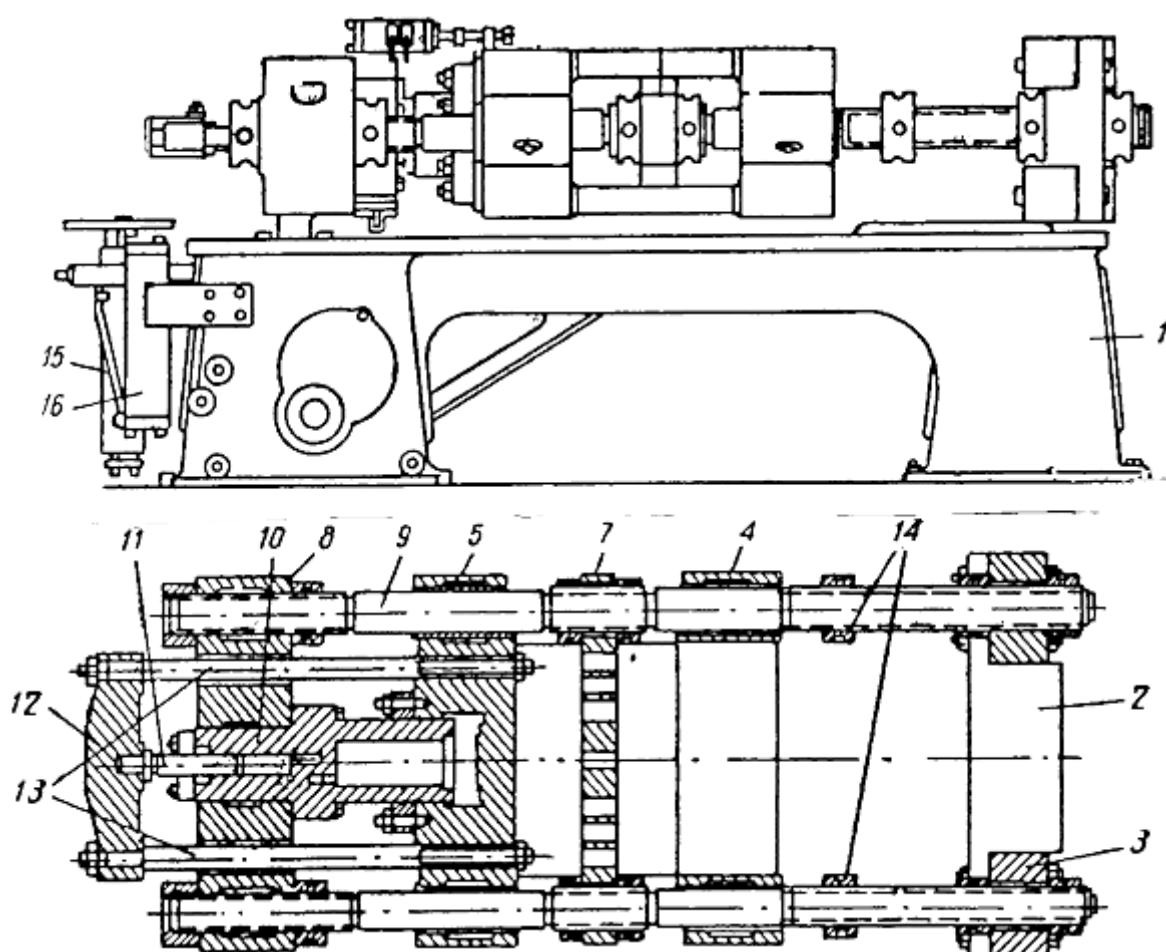


Рис. 3.17. Пресс профильного прессования для реактопластов:

- 1 – станина; 2 – плиты стола; 3 – стойки стола;
- 4 – верхняя подвижная плита; 5 – задняя подвижная плита;
- 6 – колонны плит; 7 – мост; 8 – неподвижная плита; 9 – колонны пресса;
- 10 – неподвижный плунжер рабочего цилиндра; 11 – плунжер обратного хода;
- 12 – плита плунжера обратного хода; 13 – тяги плунжера обратного хода;
- 14 – гайки; 15 – регулятор давления; 16 – дистрибьютор

3.7. Автоматизированные прессовые комплексы

Автоматизированные прессовые комплексы (АПК) предназначены для повышения эффективности работы прессового оборудования (увеличения прессосъема) в крупносерийном производстве. Основные структурные элементы АПК – дозатор и пресс. Они могут быть скомплектованы различными способами. Варианты структур АПК показаны на рисунке 3.18.

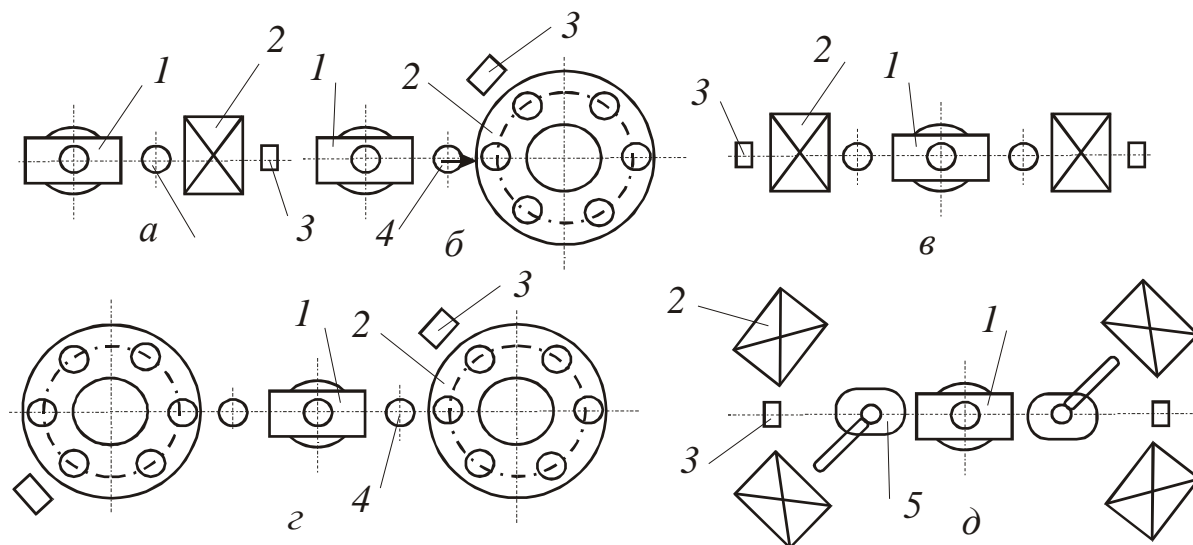


Рис. 3.18. Варианты структур автоматизированных прессовых комплексов для прессования реактопластов:

1 – дозатор; 2 – пресс; 3 – накопитель; 4 – манипулятор; 5 – робот

Можно использовать дозатор для обслуживания одного пресса (варианты *а* и *б*, рис. 3.18) или расположить группу прессов вокруг одного дозатора (рис. 3.18, *в*, *г*, *д*). Во всех случаях образуется комплекс, на котором автоматизированы все основные и вспомогательные операции технологического процесса изготовления изделия.

В АПК выполняются технологические и транспортные функции. При этом транспортирование пресс-сырья и готовых изделий полностью или частично совмещается по времени с основными технологическими операциями при прессовании. Различают АПК одно- и многопозиционные. По способу дозирования АПК подразделяют на АПК с объемным дозатором, АПК с весовым дозатором, АПК с пластикатором-дозатором.

Примером применения объемного дозирования является пресс-автомат с *шиберным* (кассетным) питателем (рис. 3.19).

Пуансон пресс-формы совершает обычное возвратно-поступательное движение вдоль вертикальной оси пресса. Загрузочное устройство кассетного типа и сбрасывающее устройство используются возвратно-поступательным движением в плоскости, перпендикулярной оси пресса. Сброс готовых изделий может осуществляться сжатым воздухом в лоток бункера-приемника.

Для автоматического прессования применяются АПК:

- единый агрегат для таблетирования, предварительного подогрева ТВЧ, прессования;
- шнековой (червячной) пластикации и прессования;
- поточная автоматическая линия в составе таблет-машины, генератора ТВЧ, пресса, транспортных устройств.

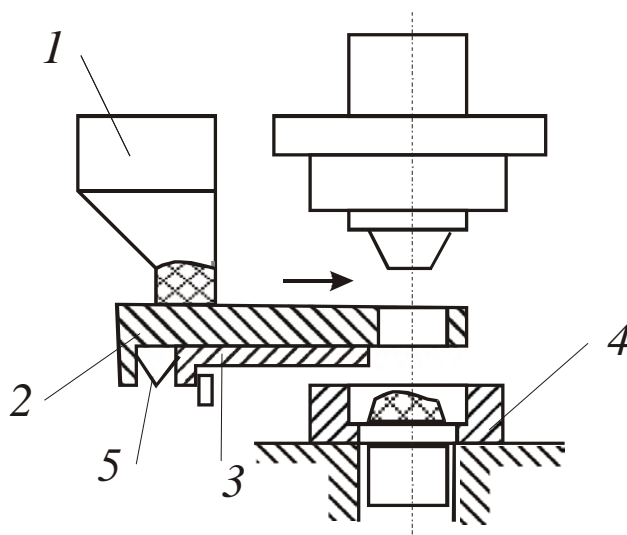


Рис. 3.19. Устройство для загрузки пресс-порошка в пресс-автомат:

1 – бункер; 2 – плита-дозатор; 3 – запорная пластина;
4 – матрица пресс-формы; 5 – пружина

АПК в зависимости от количества операций, выполняемых за один цикл, подразделяются на:

- однооперационные – с питанием таблетками с помощью дозатора;
- двухоперационные – для таблетирования и последующего без предварительного подогрева таблеток прессования либо для нагревания готовых таблеток ТВЧ и прессования;
- трехоперационные – для таблетирования, нагревания готовых таблеток ТВЧ и прессования;
- четырехоперационные – для таблетирования, нагревания таблеток ТВЧ, прессования и механической обработки.

К пресс-автоматам относятся прессы ротационного (револьверного) типа. На данных прессах загрузочные и разгрузочные приспособления неподвижны. Комплект прессующих цилиндров и пресс-инструмента расположены на роторе и совершают пульсирующее вращательное движение.

На рисунке 3.20 показана схема работы ротационного пресс-автомата, которая заключается в следующем. Таблетка по лотку попадает в матрицу. Она вместе с пуансоном при повороте ротора на определенный угол перемещается от позиции *I* к позиции *II*.

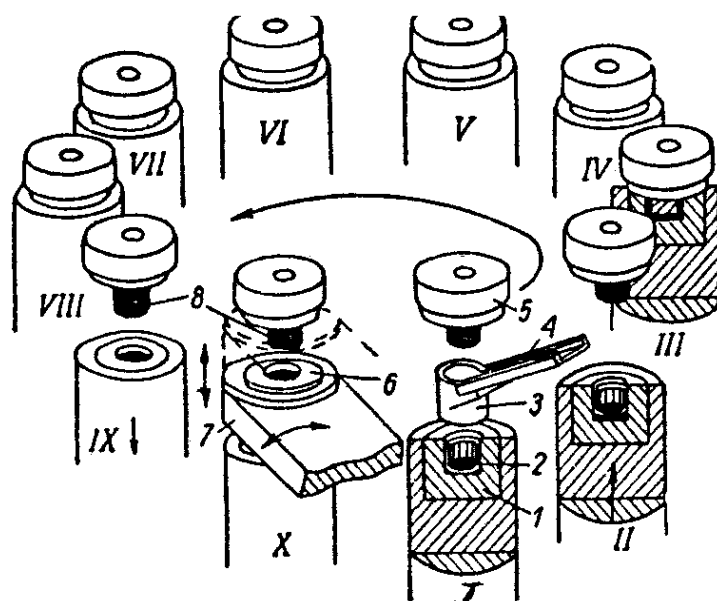


Рис. 3.20. Схема работы ротационного пресс-автомата:

I – матрица; *2* – таблетка; *3* – загрузочная воронка; *4* – лоток; *5* – пуансон;
6 – вращающийся патрон; *7* – рычаг; *8* – изделие

В позициях *II* и *III* происходит смыкание пресс-формы. В прессе пуансоны закреплены неподвижно, а матрицы в процессе прессования поднимаются и опускаются гидроцилиндрами.

После позиций прессования *IV*–*VIII* матрица опускается (поз. *IX*) и изделие остается на резьбовой части пуансона.

В позиции *X* к пуансону подводят рычаг съемно-свинчивающегося устройства и изделие свинчивается вращающимся патроном. Затем рычаг опускается и отводится в сторону, а изделие сбрасывается в тару.

По аналогичной схеме работает автоматизированный прессовый комплекс Rotomatic (ф. Viragi, Италия) (рис. 3.21), предназначенный для прессования деталей из реактопластов с предварительной шнековой пластикацией. Комплекс состоит из восьмипозиционного

роторного пресса и пластикатора, оснащен системой устройств и механизмов для загрузки доз пластицированного материала, съема деталей, ориентации и установки арматуры, свинчивания резьбовых деталей.

В автоматизированных поточных роторных линиях все транспортные операции совмещаются с производственными. Дозирование, таблетирование, предварительный подогрев ТВЧ, прессование, обработка готовых изделий совершаются на соответствующих последовательно расположенных непрерывно вращающихся роторах (рис. 3.22).

На 4-гнездном роторе 1 происходит объемная дозировка, на 6-гнездном роторе 2 – таблетирование, на 24-гнездном роторе 3 таблетки нагреваются ТВЧ. Прессование производится на 32-гнездном роторе 4. Отпрессованные изделия транспортным ротором 5 подаются в 12-гнездный обрабатывающий ротор 6, а транспортным ротором 7 – на транспортер 14 для контроля и упаковки. Производительность линии для крышек бытового электровыключателя – 50 шт./мин.

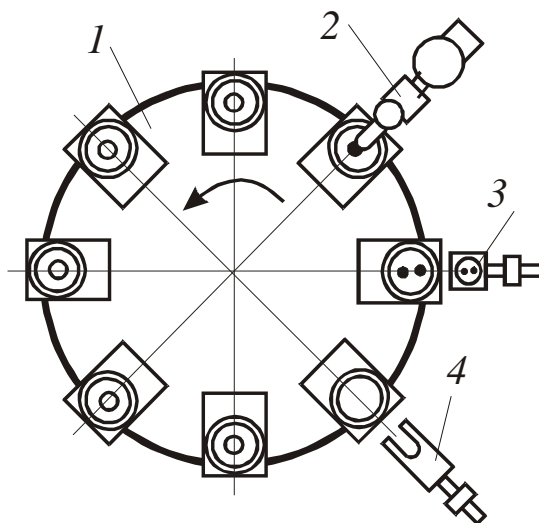


Рис. 3.21. Схема АПК Rotormatik (Италия):

1 – роторный пресс; 2 – шнековый пластикатор; 3 – устройство для установки арматуры; 4 – съемник отпрессованных изделий

Прессовые линии с выносными пресс-формами. В тех случаях, когда необходимо прессовать толстостенные изделия (с толщиной стенок более 10 мм), обычные гидропрессы используются неэкономично. Несмотря на предварительный подогрев пресс-материалов ТВЧ, выдержку под давлением обычно не удастся значительно сократить.

Для рационального использования прессового оборудования применяют прессовые линии с выносными пресс-формами для прессования таких изделий (рис. 3.23).

Линия состоит из питателя для загрузки таблеток в пресс-форму, пресса для смыкания пресс-формы, шагового конвейера для перемещения сомкнутых пресс-форм, пресса для раскрытия пресс-формы и гидроцилиндра для выталкивания отпрессованных изделий из пресс-формы.

Удаляются изделия из пресс-формы специальным съемником. Пресс-формы в прессы перемещаются с помощью толкателей. Для предотвращения раскрытия пресс-форм в период их движения по шаговому конвейеру они снабжены замковыми устройствами.

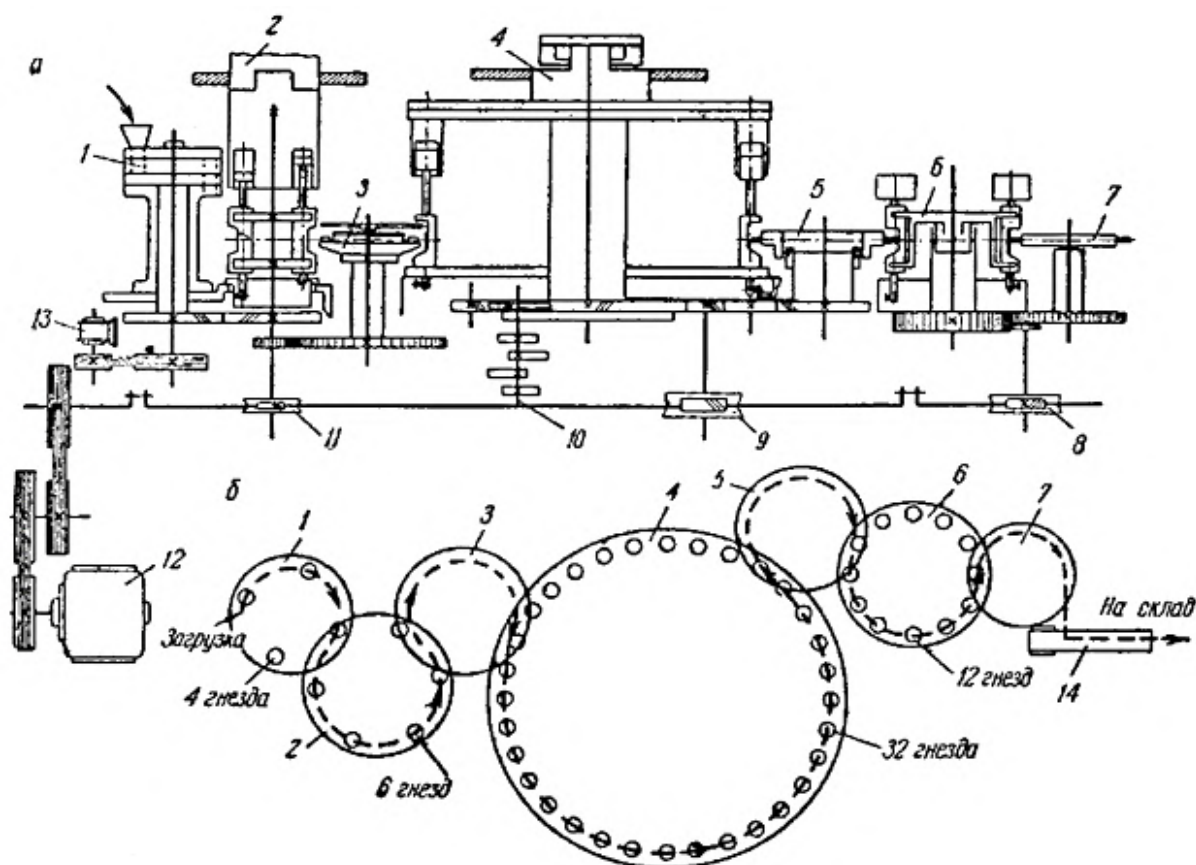


Рис. 3.22. Автоматическая роторная линия: а – развернутая кинематическая схема роторной линии; б – схема расположения роторов в плане;

- 1 – ротор дозирования; 2 – ротор таблетирования;
- 3 – ротор для нагрева таблеток ТВЧ; 4 – ротор прессования;
- 5, 7 – транспортные роторы; 6 – ротор снятия облоя; 8, 9, 11 – редукторы;
- 10 – вал привода золотников; 12 – электродвигатель главного привода;
- 13 – вспомогательный электродвигатель; 14 – транспортер готовых изделий

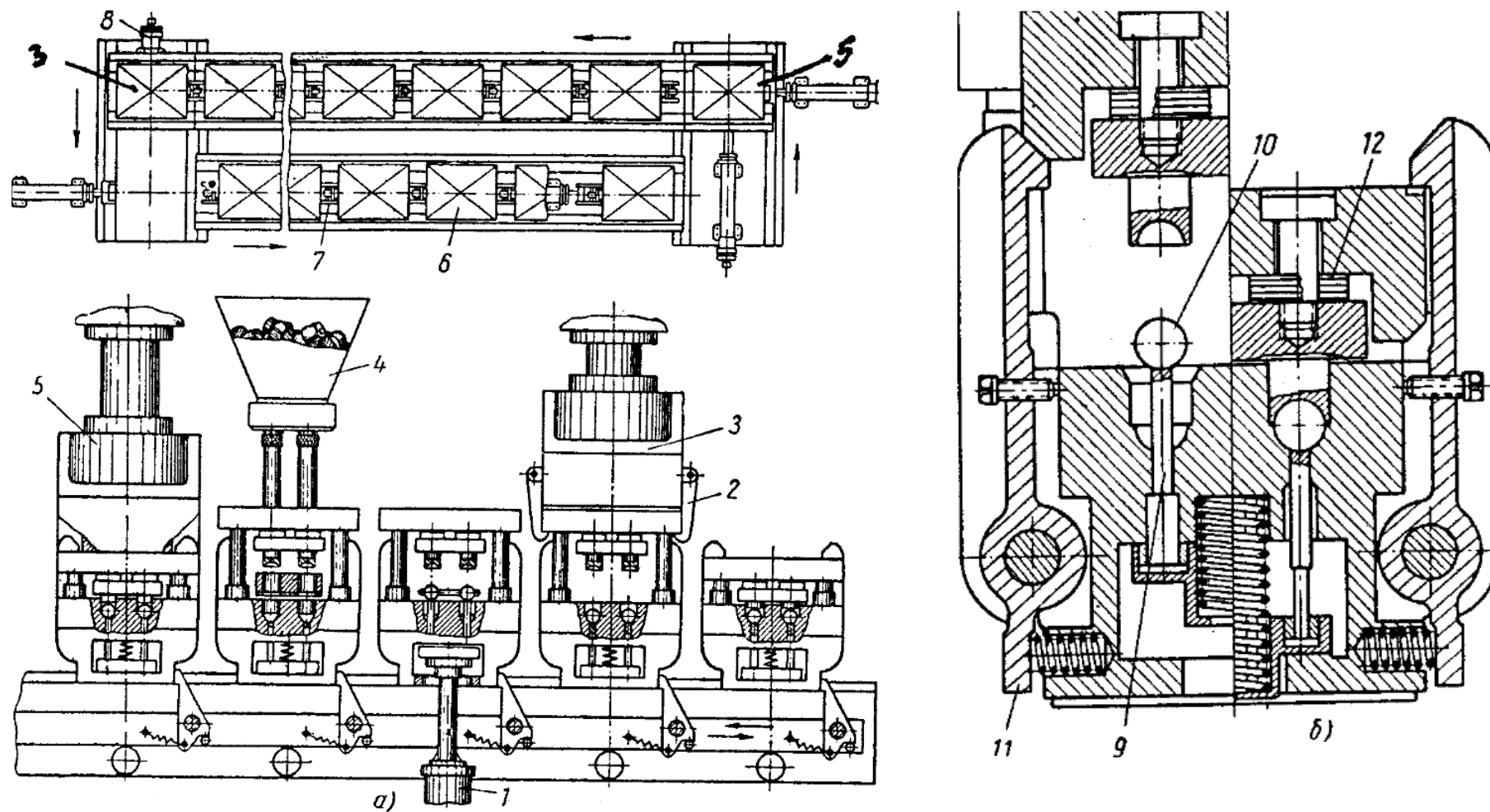


Рис. 3.23. Автоматическая прессовая линия с выносными пресс-формами: *а* – общий вид; *б* – пресс-форма; 1 – гидроцилиндр выталкивания готовых изделий; 2 – захваты-держатели пуансона; 3 – пресс раскрытия пресс-формы; 4 – питатель загрузки таблеток; 5 – пресс смыкания пресс-формы; 6 – сомкнутые пресс-формы; 7 – транспортер; 8 – гидротолкатель; 9 – выталкиватель пресс-изделия; 10 – готовое пресс-изделие; 11 – рычаг замкового устройства; 12 – тарельчатая пружина

3.8. Технологический расчет пресса

Основным параметром, используемым для характеристики, является номинальное усилие прессования.

Номинальное усилие Q_n пресса определяется, Н:

$$Q_n = \frac{\pi P_n D^2}{4}, \quad (3.4)$$

где P_n – номинальное (расчетное) давление рабочей жидкости в гидроцилиндре, Па;

D – диаметр главного плунжера пресса, м.

Эффективное усилие $Q_{эф}$ (Н) пресса (фактическое) равно:

$$Q_{эф} = \frac{\pi P_{\max} D^2}{4} + G - T - R, \quad (3.5)$$

где P_{\max} – максимальное давление рабочей жидкости в гидроцилиндре, Па;

G – вес подвижных деталей пресса (главного плунжера, подвижной плиты и пуансона пресс-формы), Н; $G = 9,81 \Sigma m$, где m – масса деталей, кг;

T – потери на трение в уплотнении, Н;

R – потери усилия пресса вследствие противодействия возвратных цилиндров (в колонных прессах) или штоковой части (дифференциального плунжера), Н.

Потери на трение в уплотнениях из кожанных или резиновых манжет, Н:

$$T = \pi P_{\max} D h f, \quad (3.6)$$

где h – высота соприкосновения манжет с плунжером, м;

f – коэффициент трения материала манжет плунжера (для красной дубной легкой кожи $f = 0,06$; для хромовой кожи $f = 0,08$; для резины $f = 0,01–0,02$; для прорезиненной ткани $f = 0,1$).

Потери на трение в уплотнениях манжет на основе пластика ПВХ, Н:

$$T = \pi D h f (q + p)^{0,6}, \quad (3.7)$$

где f – коэффициент трения, равный 0,35–0,45;

q – контактное давление от предварительного натяга манжет (принимается равным (0,98–1,96) МПа, а при малых давлениях жидкости, учитывая предварительную затяжку манжет $q = (1,96–4,9)$ МПа)).

Усилие противодействия в возвратных цилиндрах, Н:

$$R = \frac{\pi d^2 n P_{\max}}{4} + T_1, \quad (3.8)$$

где d – диаметр возвратного плунжера, м;

n – количество возвратных плунжеров, шт.;

T_1 – потери на трение в уплотнениях возвратных цилиндров, Н:

$$T_1 = \pi d k h n, \quad (3.9)$$

где h – высота уплотнения, м;

k – усилие трения на единицу трущейся поверхности набивки, $k = (0,039–0,127)$ МПа.

Усилие противодействия в штоковой части дифференциального плунжера, Н:

$$R = \frac{\pi (D^2 - d^2) P_{\max}}{4} + T_1, \quad (3.10)$$

где d – диаметр штока плунжера, ($n = 1$), м.

3.9. Технологический процесс формования изделий из реактопластов методом прессования

Технологический процесс производства изделий из реактопластов методом прессования состоит из следующих операций:

1. Прием сырья в мешках или контейнерах.
2. Хранение сырья на заводском или цеховом складе.
3. Подготовка к переработке (сортировка по партиям, растаривание, входной контроль).
4. Таблетирование или пластикация.
5. Дозирование (весовое, объемное, штучное).
6. Загрузка навески в пресс-форму (установка арматуры или формующих знаков, если предусмотрено конструкцией изделия или пресс-формы).
7. Формование изделия (собственно прессование).

8. Межоперационный контроль.
9. Механическая и термическая обработка изделий.
10. Окончательный контроль и упаковка готовых изделий.
11. Транспортировка изделий на склад или сборку, как комплектующая деталь сборочного изделия.

На рисунке 3.24 представлена одна из принципиальных технологических схем прессования изделий в полуавтоматическом режиме работы прессового оборудования.

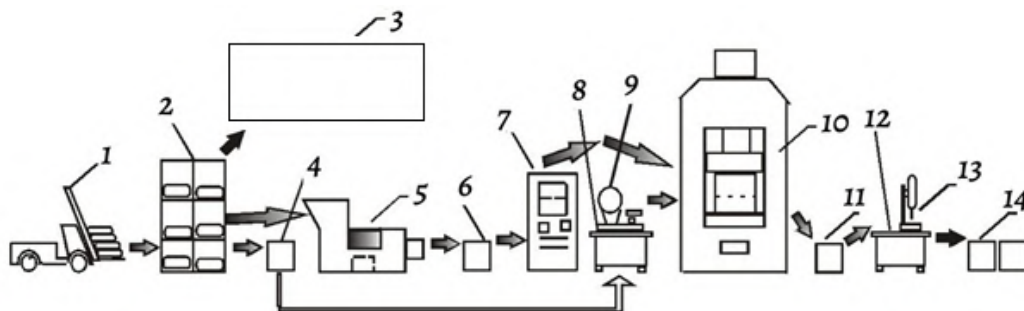


Рис. 3.24. Принципиальная технологическая схема производства пресс-изделий в полуавтоматическом и ручном режимах работы прессового оборудования:

- 1 – транспортировка пресс-материала на цеховой склад; 2 – цеховой склад;
 3 – входной контроль; 4 – технологический контейнер для весового дозирования;
 5 – таблет-машина; 6 – контейнер таблеток; 7 – генератор ТВЧ;
 8 – рабочий стол прессовщика; 9 – весы для дозирования навески;
 10 – гидравлический пресс; 11 – контейнер готовых пресс-изделий;
 12 – стол промежуточного контроля; 13 – станок для механической обработки;
 14 – упаковка готовой продукции

В зависимости от принятой схемы и объемов производства пресс-изделий не все технологические операции могут быть включены в производственный цикл. Так, в мелкосерийном производстве некоторых видов изделий могут быть исключены такие стадии, как таблетирование, предварительный подогрев, термообработка.

3.9.1. Подготовительные операции процесса прессования

Подготовка пресс-сырья

Приемы подготовки зависят от условий хранения. Подготовка начинается с разборки по партиям, имеющим близкие технологические свойства и определенными при входном контроле. Это необходимо для сокращения потерь времени и сырья при перенастройке технологического процесса производства, связанного с переходом на переработку другой партии сырья.

Хранят пресс-материалы не более трех месяцев в герметичной таре. Если хранение было в неотапливаемых помещениях, особенно зимой, то перед переработкой материал выдерживают в помещении цеха, пока он не приобретет температуру цеха. При необходимости проводят подсушку до требуемого содержания влаги и летучих веществ или в течение 12–36 ч при температуре цеха или в сушильной камере в течение 1–3 ч при 40–60 °С.

Волокниты перед переработкой разрыхляют. Растваривание пресс-сырья ведут вручную или с применением средств малой механизации.

Таблетирование и червячная пластикация

Для уменьшения удельного объема волокнитов, особенно стекловолокнитов, когда в производстве нет червячных пластикаторов, их подвергают *жгутированию*. Исходную рыхлую пресс-массу продавливают через отверстие определенного сечения и режут на заготовки. Для этого на гидропрессе устанавливают поршневую фильеру, которую разогревают до температуры размягчения пресс-материала (рис. 3.25).

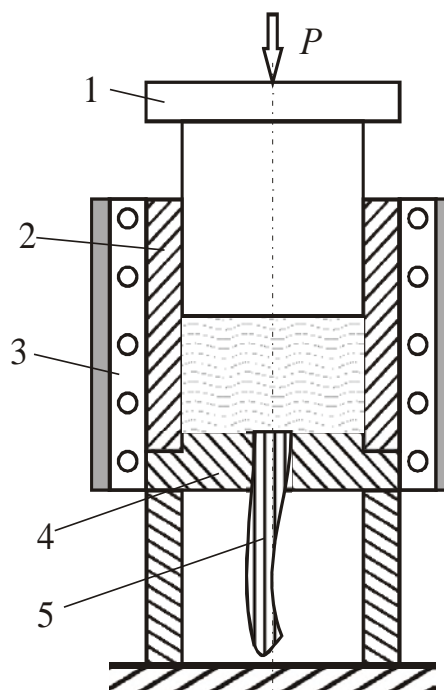


Рис. 3.25. Схема фильерирующего устройства, устанавливаемого на прессе, для жгутирования (фильерования) стекловолокнистых пресс-материалов:

- 1 – пуансон; 2 – обойма матрицы;
- 3 – электрообогрев; 4 – дно матрицы с фильерирующим отверстием;
- 5 – жгутированный пресс-материал

Дозирование и загрузка сырья в пресс-форму

В зависимости от основного технологического оборудования применяются весовой, объемный и штучный *методы дозирования*. *Весовой* заключается во взвешивании каждой навески пресс-материала перед запрессовкой на технических или торговых весах.

Этот метод применяется в основном при переработке нетаблетированных волокнитов.

При *объемном методе дозирования* порошкообразный или волокнистый пресс-материал загружается в бункер червячного пластикатора и после пластикации поступает в загрузочную зону пресс-формы. Пресс-порошки объемным методом дозируют также с применением объемных мерников, объем которых соответствует навеске.

Штучный метод дозирования заключается в подаче неподогретых или предварительно нагретых таблеток ТВЧ определенной суммарной массы в зону формования.

Загрузка навески пресс-материала в пресс-форму может осуществляться при помощи механических питателей или вручную прессовщиком.

Время загрузки – это время, затрачиваемое на загрузку пресс-материала в пресс-форму до начала ее смыкания. Время загрузки складывается из подготовки пресс-формы и загрузки навески. К подготовительным операциям относят:

- монтаж съемных элементов пресс-формы и их фиксацию;
- установку металлической арматуры и ее фиксацию;
- смазку оформляющих поверхностей пресс-формы.

При загрузке навески следует учитывать, что для обеспечения благоприятных условий течения в оформляющей полости пресс-формы материал должен быть равномерно распределен в ней.

Предварительный подогрев

В крупносерийном производстве пресс-изделий подогрев материала проводится преимущественно в ГТВЧ. Таблетки, имеющие для равномерности нагрева одинаковую высоту, укладывают на подвижной поддон генератора и помещают в камеру нагрева, где выдерживают в течение заданного времени. Время нагрева выбирают с расчетом нагрева материала до заданной температуры предварительного подогрева и задается по реле времени.

После этого генератор выключают, а таблетку сразу же вынимают и загружают в пресс-форму. Для соблюдения такой последовательности генератор также включают автоматически, в соответствии с длительностью предыдущих технологических операций (размыкания формы, извлечения изделий, очистки формующей полости).

Температуру предварительного нагрева пресс-материала определяют исходя из времени пребывания его в вязко-текучем состоянии.

Это время должно быть больше чем продолжительность загрузки навески в форму и время смыкания пресс-формы, т. е.:

$$\tau_{вмс} \geq \tau_3 + \tau_{см} = \tau_3 + \left(\frac{S_x}{v_x} + \frac{S_p}{v_p} \right), \quad (3.11)$$

где $\tau_{вмс}$ – время вязко-текучего состояния материала, с;

τ_3 – время загрузки навески, с;

$\tau_{см}$ – время смыкания пресс-формы, с;

S_x и S_p – путь холостого и рабочего хода пуансона, мм;

v_x и v_p – время опускания пуансона при холостом и рабочем ходе, с.

Так как зависимость $\tau_{вмс}$ от температуры характеризуется экспоненциальным законом, то:

$$\tau_{вмс} = A e^{\frac{U}{RT}}, \quad (3.12)$$

температуру предварительного подогрева T_{nn} (°K) определяют как:

$$T_{nn} \leq \left(\frac{U}{R} \right) \left[\ln \left(\frac{S_x}{v_x} + \frac{S_p}{v_p} + \tau_3 \right) - \ln A \right]. \quad (3.13)$$

Длительность предварительного τ_{nn} подогрева таблеток ТВЧ может быть рассчитана по формуле, с:

$$\tau_{nn} = \frac{c\rho(T_{nn} - T_n)}{0,55\eta_m K f E^2}, \quad (3.14)$$

где c – удельная теплоемкость пресс-материала, кДж/(кг·К);

ρ – плотность, кг/м³;

T_{nn} – температура предварительного подогрева, К;

T_n – начальная температура таблетки, К;

η_m – термический КПД генератора ТВЧ, $\eta_m = 0,4-0,5$;

K – коэффициент диэлектрических потерь, $K = \varepsilon \cdot \tan \delta$;

f – частота электрического поля, Гц;

E – напряженность электрического поля, кВ/м.

Если известно время предварительного подогрева какого-либо пресс-материала $\tau_{nn(u)}$ с $K_{(u)}$, то время предварительного подогрева другого материала $\tau_{nn(x)}$ с $K_{(x)}$ можно определить исходя из формулы (3.14), как:

$$\tau_{nn(x)} = \tau_{nn(u)} \frac{K_{(u)}}{K_{(x)}}. \quad (3.15)$$

В тех случаях, когда прессы оборудованы червячным пластикатором, нагревание осуществляется за счет диссипации механической энергии в тепловую в каналах червяка. При этом операции дозирования, предварительного нагрева и загрузки совмещаются.

3.9.2. Входной контроль качества пресс-материалов (технологические свойства реактопластов)

Одной из первых технологических операций процесса прессования изделий из реактопластов является входной контроль качества пресс-сырья. Контроль качества сырья проводится как в целях проверки его соответствия техническим условиям (ГОСТам или ТУ), так и с целью уточнения режимов подготовки сырья и режимов его переработки методом прессования. Качество сырья оценивают по технологическим и основным физико-механическим и другим конструкционным (или другим эксплуатационным) свойствам, показатели которых определены ГОСТами или ТУ на данный пресс-материал.

Технологические свойства – это свойства пресс-материала в исходном неотвержденном состоянии, определяющие его состав и перерабатываемость в изделия. У пресс-материалов (пресс-порошков и пресс-волоконитов) на основе термореактивных связующих определяют перечисленные ниже технологические свойства:

1. *Содержание влаги и летучих веществ* влияет на текучесть материала; большое количество влаги и летучих веществ приводит к образованию вздутий и пор в отпрессованных изделиях. Методика определения основана на фиксации потери массы испытуемого пресс-материала при нагревании в термошкафу при температуре 105 °С (в зависимости от типа и марки материала) в течение 120 или 30 мин. Навеска берется в бюксах по 3–5 г.

Относительное *содержание влаги и летучих веществ* вычисляют по формуле (среднее арифметическое по двум-трем определениям), %:

$$x = \frac{g_1 - g_2}{g_1 - g_0} 100, \quad (3.16)$$

где g_1 и g_2 – масса бюкса с материалом до и после сушки, г;
 g_0 – масса бюкса, г.

2. *Содержание связующего.* Более точно можно определить содержание полимерной матрицы в полимерных материалах с неорганическими наполнителями. Методика основана на фиксации потери массы испытуемого материала при нагревании (прокаливании) в муфельных печах при температуре 500–600 °С, выдерживая его до полного выгорания связующего. Навеска по 3–5 г берется в прокаленных керамических тиглях.

Содержание полимерного связующего рассчитывают по формуле, %:

$$z = \frac{g_1 - g_2}{g_1 - g_m} 100 - x, \quad (3.17)$$

где g_1 и g_2 – масса тигля с материалом до и после выжигания, г;

g_m – масса прокаленного тигля, г;

x – содержание влаги и летучих веществ в материале, %.

Если в состав полимерной матрицы входит кремнийорганическое или элементоорганическое связующее, то при расчете содержания связующего вводят поправку K , учитывающей его зольность полимера после выжигания:

$$z = \frac{g_1 - g_2}{(g_1 - g_m)(1 - K)} 100 - x. \quad (3.18)$$

3. *Содержание растворимой части связующего* характеризует содержание в термореактивном связующем олигомера, находящегося в стадии А (резола). Методика основана на экстракции соответствующим растворителем растворимой части связующего из реактопласта. Применяют два метода экстрагирования (навеска материала в 3–5 г):

- экстрагирование в течение 24 ч в 200 мл растворителя;
- в аппарате Сокслета – в течение 6 ч (рис. 3.26).

Содержание растворимой части связующего в пресс-материале рассчитывают по формуле, %:

$$P. ч' = \frac{g_1 - g_2}{g_1 - g_n} 100 - x, \quad (3.19)$$

где g_1 – масса а. с. патрона с материалом до экстрагирования, г;

g_2 – масса а. с. патрона с материалом после экстрагирования, г;

g_n – масса абсолютно сухого патрона, г;

x – содержание влаги и летучих веществ в материале, %.

Содержание растворимой части, отнесенной к связующему, вычисляют по формуле, %:

$$P.ч = \frac{P.ч'}{z} 100. \quad (3.20)$$

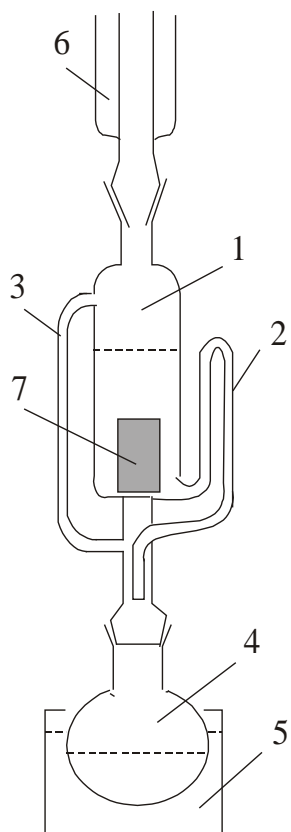


Рис. 3.26. Аппарат Сокслета:
1 – экстрактор; 2 – сифонная трубка;
3 – пароотводная трубка; 4 – колба
с растворителем; 5 – водяная баня;
6 – обратный холодильник;
7 – патрон из фильтровальной бумаги
с пресс-материалом

Содержание $P.ч'$ в исходном пресс-материале должно быть не менее 85 %. В этом случае материал имеет хорошую перерабатываемость (текучесть).

4. Гранулометрический состав пресс-порошков характеризуется размером их частиц и соотношением между количеством частиц разных размеров (фракционный состав). Для определения гранулометрического состава пресс-порошков используют ситоанализаторы с набором сит с размерами ячеек 1,0; 0,5; 0,25; 0,8 мм, через которые просеивают пробу пресс-порошка. Затем определяют массу частиц порошка (массу фракции), оставшихся на каждом сите. Рассеивают такое количество пресс-порошка, чтобы получалось по 0,2 кг каждой фракции. Для фенопластов оптимальным является следующий гранулометрический состав:

Номер сита	1	05	025	018
Остаток на сите, %	12–34	31–46	11–20	9–20

5. *Сыпучесть пресс-материалов с дисперсными наполнителями* называется способностью данных материалов равномерно высыпаться из какой-либо емкости (бункера, питателя). Сыпучесть пресс-материалов обуславливается их гранулометрическим составом и влажностью. Чем однороднее материал по составу, чем меньше его влажность и содержание в нем пыли, тем лучше его сыпучесть. Применяются *три методики определения*:

а) определение сыпучести по времени опорожнения стандартной воронки (для пресс-порошков).

Методика основана на определении времени, необходимого для опорожнения стандартной металлической конической воронки с отверстиями диаметром от 4 до 10 мм (набор воронок) и углом при вершине 60° , вмещающей 120 г материала (рис. 3.27).

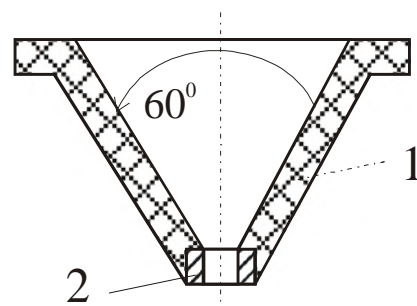


Рис. 3.27. Стандартная воронка для определения сыпучести пресс-порошков по времени опорожнения:
1 – воронка; 2 – калиброванное отверстие

Время (с), в течение которого высыпается загруженная порция пресс-порошка, характеризует сыпучесть пресс-порошка. Сыпучесть можно охарактеризовать также отношением массы материала времени опорожнения (кг/мин или г/с);

б) определение сыпучести по углу обрушения (для пресс-материалов с крупнодисперсным наполнителем).

Углом обрушения называется угол между горизонтальной плоскостью и образующей конуса, полученного при обрушении слоя сыпучего материала, высыпавшегося через отверстие в горизонтальной плоскости (рис. 3.28).

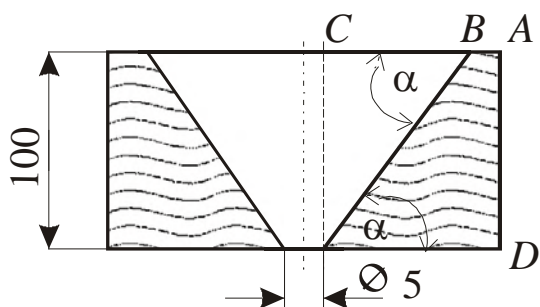


Рис. 3.28. Схема определения сыпучести по углу обрушения

Для определения угла обрушения испытуемый материал насыпают в прямоугольный короб равномерным слоем высотой 100 мм. Открывают задвижку в дне короба (набор задвижек с отверстиями различного диаметра) дают материалу высыпаться. Образуется конус. Измеряют расстояние между образующей конуса и стенкой короба AB и вычисляют расстояние CB ($OD-AB$).

Угол обрушения определяют по формуле, град.:

$$\alpha = \arctg \frac{AD}{CB}; \quad (3.21)$$

где AD , CB – отрезки (рис. 3.28).

в) определение сыпучести по углу естественного откоса.

Методика основана на измерении угла между горизонтальной плоскостью и образующей конуса, самопроизвольно создаваемого сыпучим материалом. Для определения сыпучести пользуются приспособлением, приведенным на рисунке 3.29.

На основание нанесены концентрические окружности диаметром от 100 до 500 мм (шаг 10 мм). На стойке со шкалой для измерения высоты перемещается планка. Полый цилиндр ($\varnothing 100 \times 300$ мм) устанавливают на основание, совмещая его с окружностью $\varnothing 100$ мм. Насыпают в него пресс-материал и поднимают строго вертикально вверх. Рассыпаясь, пресс-порошок приобретает форму, близкую к конической.

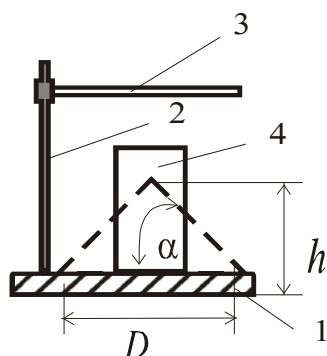


Рис. 3.29. Схема определения сыпучести по углу естественного откоса:

1 – основание; 2 – стойка; 3 – планка;
4 – полый цилиндр

Фиксируя высоту конуса h (мм) и диаметр основания конуса D (мм), по среднему значению 5–6 измерений рассчитывают показатель сыпучести – угол естественного откоса, град.:

$$\alpha = \arctg \frac{D}{2h}. \quad (3.22)$$

Коэффициент внутреннего трения M также характеризует сыпучесть и определяется по формуле:

$$M = \operatorname{tg} \alpha = \frac{2h}{D}, \quad (3.23)$$

где α – степень отверждения.

6. Объемные характеристики пресс-материала:

а) насыпная плотность выражается массой единицы объема исходного (неотвержденного) пресс-материала;

б) удельный объем выражается объемом единицы массы пресс-материала, т. е. обратно пропорциональной величиной насыпной плотности.

Определение этих показателей для пресс-порошков проводится следующим образом. Пробу пресс-порошка через воронку ссыпают в измерительный цилиндр вместимостью 100 см^3 . Избыток материала удаляют линейкой, и цилиндр с материалом взвешивают. Насыпную плотность (кг/м^3) и удельный объем ($\text{м}^3/\text{кг}$) вычисляют по формулам:

$$\rho_n = \frac{(g_1 - g_u) 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-6}} = 10 (g_1 - g_u), \quad (3.24)$$

$$V_{y\partial} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{(g_1 - g_u) 10^{-3}} = [10 (g_1 - g_u)]^{-1}, \quad (3.25)$$

где g_1 – масса измерительного цилиндра с пресс-порошком, г;
 g_u – масса пустого цилиндра, г.

Насыпная плотность и удельный объем волокнистых пресс-материалов, которые представляют собой в исходном состоянии рыхлую массу, определяются по следующей методике. В цилиндр $\varnothing 100 \text{ мм}$ объемом $1\,000 \text{ мл}$ помещают пресс-материал и частично его уплотняют поршнем массой $2,3 \text{ кг}$. Замеряют высоту уплотненного материала. Насыпную плотность (кг/м^3) и удельный объем ($\text{м}^3/\text{кг}$) вычисляют по формулам:

$$\rho_n = \frac{4 (g_1 - g_u) 10^{-3}}{\pi d^2 h \cdot 10^{-9}} = 127 \frac{g_1 - g_u}{h}, \quad (3.26)$$

$$V_{y\partial} = \frac{\pi d^2 h \cdot 10^{-9}}{4(g_1 - g_u)10^{-3}} = 0,785 \cdot 10^{-2} \frac{h}{g_1 - g_u}, \quad (3.27)$$

где d – диаметр цилиндра, мм;

h – высота уплотненного пресс-материала, мм;

в) коэффициент уплотнения представляет собой отношение плотности отформованного изделия к насыпной плотности, т. е. показывает, насколько пресс-материал уплотняется в процессе формирования изделия. Коэффициент уплотнения вычисляют по формуле:

$$k_y = \rho / \rho_n, \quad (3.28)$$

где ρ – плотность отформованного (прессованного) изделия, кг/м³;

ρ_n – насыпная плотность, кг/м³.

Объемные характеристики зависят от плотности и формы частиц, гранулометрического состава, влажности и других факторов. В зависимости от показателей ρ_n , $V_{y\partial}$ и k_y рассчитывают размеры загрузочных камер пресс-форм, бункеров и некоторые параметры перерабатывающего и транспортного оборудования.

7. Таблетуемость пресс-материала определяет его склонность уплотняться без спекания или сплавления. Она зависит от размеров частиц и однородности гранулометрического состава, а также от содержания влаги, растворимой части связующего и смазывающих веществ в материале. Таблетуемость проверяют на таблет-форме (рис. 3.30) для двухстороннего прессования, позволяющей получать таблетки $\varnothing 20$ мм и высотой до 15 мм.

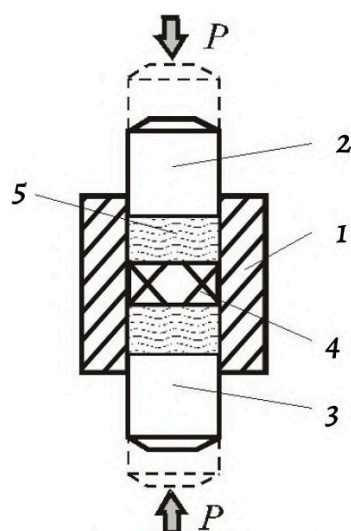


Рис. 3.30. Схема двухстороннего прессования при определении таблетуемости пресс-материала:

1 – матрица; 2, 3 – пуансоны; 4 – таблетка;
5 – исходный пресс-материал

В таблет-форму помещают 7,5 г пресс-материала и устанавливают между плитами пресса. Начальное давление таблетирования – 30 МПа. Последующие запрессовки проводят при давлении, превышающем предыдущее на 15 МПа. Выдержка под давлением – не менее 30 с.

Определяют плотность и прочность таблеток. Для этого штангенциркулем измеряют диаметр и высоту таблеток с точностью до 0,1 мм. Массу таблеток определяют на технических весах с точностью до 0,01 г. *Плотность таблеток* вычисляют по формуле, кг/м³:

$$\rho_m = 1,27 \frac{G_m \cdot 10^6}{d^2 h}, \quad (3.29)$$

где G_m – масса таблетки, г;

d и h – диаметр и высота таблетки, мм.

Прочность таблетки из пресс-порошков определяют путем вдавливания в нее стального шарика Ø 5,5 мм. За прочность таблетки принимают усилие, при котором происходит ее разрушение.

Таблетки пригодны для переработки, если их прочность не ниже 785 Н. Фиксируется давление таблетирования, при котором достигается данная прочность.

8. *Температура размягчения пресс-материала* определяется на вискозиметре с плоскопараллельными плитами (рис. 3.31). Таблетку Ø 20 мм и толщиной 3 мм нагревают между плитами пресса под давлением 0,3 МПа. При этом следят за стрелкой индикатора, показывающего изменение толщины таблетки.

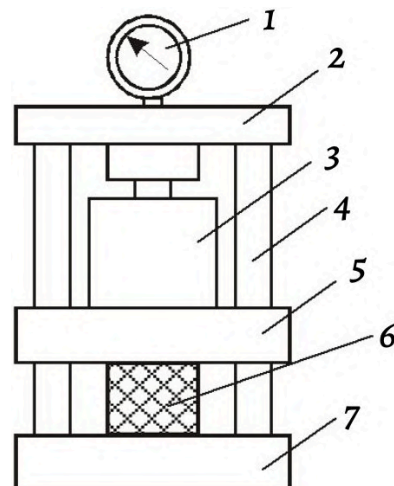


Рис. 3.31. Вискозиметр

с плоскопараллельными плитами:

1 – индикатор часового типа; 2 – архитрав;

3 – груз; 4 – колонка; 5 – подвижная плита;

6 – таблетка; 7 – нижняя плита (стол)

За *температуру размягчения* T_p принимают такую температуру, при которой происходит резкое уменьшение толщины таблетки. Температуру размягчения определяют для выбора режима предварительного подогрева пресс-материалов и режимов таблетирования волокнистых пресс-материалов.

9. *Текучесть пресс-материалов* определяет их способность к заполнению пресс-формы при прессовании, т. е. это способность пресс-материала растекаться между формующими поверхностями пресс-форм под действием приложенного давления при его разогреве, когда материал находится в вязко-текучем состоянии. Текучесть зависит от типа связующего и вида наполнителя, содержания влаги и растворимой части связующего, количества и типа смазывающего вещества, скорости отверждения пресс-материала и температуры пресс-формы.

Стандартным методом определения текучности пресс-материалов является капиллярный метод Краля-Рашига (текучесть по Рашигу). Он заключается в прессовании стандартного стержня и измерении его длины. Текучесть по Рашигу является относительной величиной.

Определение текучности проводят в пресс-форме Рашига (рис. 3.32), имеющей конический канал для формования стержня.

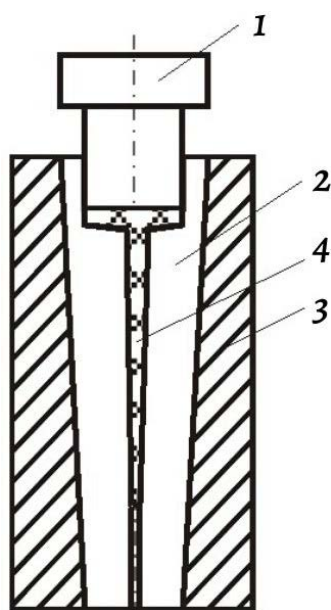


Рис. 3.32. Пресс-форма Рашига:
1 – пуансон; 2 – матрица;
3 – обойма матрицы с обогревом;
4 – образец-стержень

Нетаблетированную навеску или таблетку материала в 7,5 г помещают в загрузочную камеру пресс-формы, предварительно нагретую до температуры испытаний. Затем опускают пуансон и дают давление 30 МПа, время выдержки – 3 мин. Материал в течение этого

времени переходит в вязко-текучее состояние, течет, заполняя канал формы, и отверждается. После окончания выдержки снимают давление, распрессовывают форму и извлекают образец-стержень. За *текучесть по Рашигу* принимают длину плотной части стержня (мм).

10. *Время отверждения (выдержки)* – это время, необходимое для перехода реактопласта в неплавкое и нерастворимое состояние при температуре прессования. Время отверждения зависит как от состава пресс-материала (типа связующего, отвердителя и его количества), так и от технологических факторов: температуры формы, толщины изделия и т. д. Для сравнительной оценки качества различных партий пресс-материала относительное время отверждения (выдержки) устанавливают по запрессовке стандартного конусного стаканчика (рис. 3.33) в определенных условиях. За время отверждения (с) принимают минимальное время выдержки от момента смыкания пресс-формы до извлечения качественного по внешнему виду (глянцевого) стаканчика.

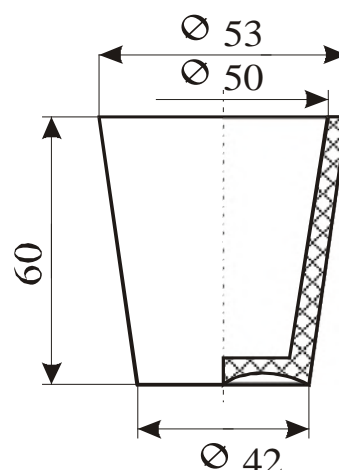


Рис. 3.33. Стандартный стаканчик для определения времени отверждения (выдержки) при прессовании реактопластов

11. Пластометрические испытания реактопластов.

Наиболее полную технологическую характеристику реактопласта получают при вискозиметрических испытаниях на пластометрах системы Канавца (рис. 3.34).

К основным технологическим показателям термореактивных пресс-материалов, определяемых на пластометре, относят вязкость (напряжение сдвига материала в вязко-текучем состоянии), время нахождения материала в вязко-текучем состоянии (текучесть), время отверждения при температуре стандартных испытаний, а также зависимость этих характеристик от температуры прессования и скорости сдвига.

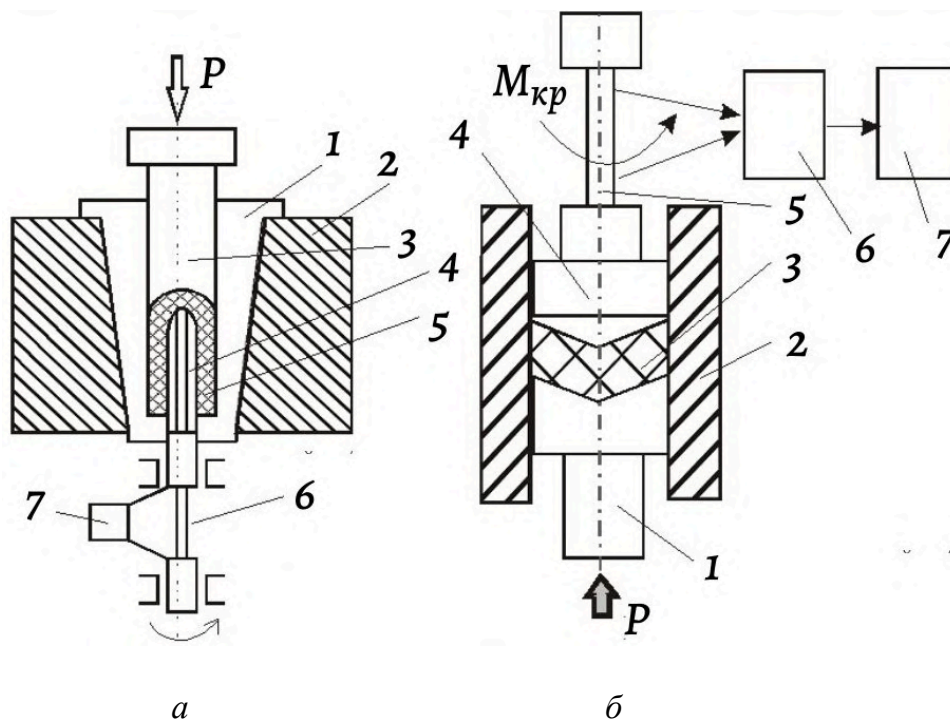


Рис. 3.34. Принципиальные схемы пластометров Канавца:

а – прибора марки ППР-1 (для пресс-порошков):

1 – матрица; 2 – обойма; 3 – пуансон; 4 – ротор; 5 – образец; 6 – торсион;
7 – датчик угла закручивания торсиона;

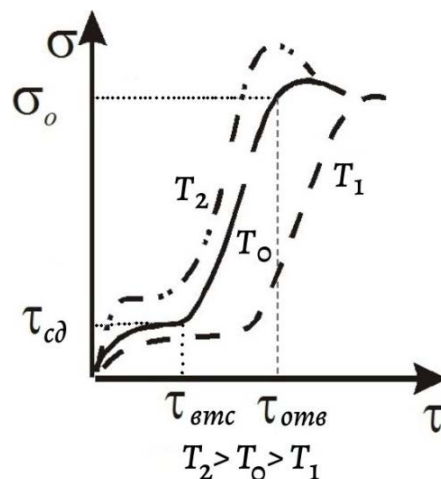
б – прибора марки ПМР-1 (для пресс-материалов
с крупнодисперсным наполнителем):

1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – образец; 4 – ротор; 5 – торсионный вал;
6 – индуктивный датчик угла закручивания торсиона; 7 – записывающий прибор

Метод заключается в испытании пресс-материала, помещенного в нагретую пресс-форму пластометра и подвергнутого однородному сдвигу в узком зазоре между коаксиальными цилиндрами (прибор ППР-1) или конусами (прибор ПМР-1) при заданных температуре, давлении и постоянной скорости сдвига. При этих условиях испытания в материале устанавливается равновесное напряжение сдвига, измеряемое силоизмерительным устройством, а записывающий прибор вычерчивает график (пластометрическую кривую) в координатах «напряжение сдвига – время». По пластометрической кривой определяют следующие параметры процесса отверждения реактопласта (рис. 3.35):

- время вязко-текучего состояния – $\tau_{вмс}$ (с);
- время отверждения при температуре стандартных испытаний $T_0 - \tau_o$ (с);
- предел текучести – $\tau_{сд}$ (МПа).

Рис. 3.35. Пластометрические кривые отверждения реактопласта при различных температурах:
 σ – предел текучести материала, Па;
 T – температура процесса отверждения, °C;
 τ – время отверждения, с



Предел текучести – сопротивление сдвигу в период нахождения материала в вязко-текучем состоянии. Снимая пластометрические кривые при различных температурах прессования, можно определить кажущуюся энергию активации процесса отверждения реактопласта, кДж/моль:

$$U = \frac{RT_0 T_i \ln(\tau_0 / \tau_i)}{T_i - T_0}. \quad (3.30)$$

12. Контроль скорости и степени отверждения реактопластов.
 В процессе формования изделий из реактопластов контроль скорости и глубины (степени) отверждения позволяет регулировать их структуру и свойства, оптимизировать технологические параметры переработки. Для контроля скорости и глубины отверждения чистых связующих используют различные методы:

- оценку изменения вязкости реакционной системы;
- определение степени конверсии (превращения) функциональных групп реакционно-способных олигомеров;
- определение содержания гель-фракции (или золь-фракции) экстракцией в растворителе (в аппарате Сокслета);
- определение степени отверждения по плотности полимерной сетки.

Однако реактопласты представляют собой сложные гетерогенные системы, в которых наряду с процессами отверждения протекают адсорбционные, диффузионные, стеклования и другие физико-химические процессы. Они не позволяют однозначно перенести информацию о кинетике отверждения чистого связующего на отверждение композиционного материала, поэтому наибольший интерес для технологического контроля отверждения реактопластов имеют те

методы, которые позволяют оценивать кинетику процесса в присутствии наполнителей, модифицирующих добавок и моделировать условия, возникающие при формовании изделий. К таким методам относятся:

- метод динамических (механических) потерь;
- метод ротационной вискозиметрии (в т. ч. пластометрический Канавца);
- оценка деформационной теплостойкости;
- дилатометрический метод (определение удельного объема композиции);
- метод диэлектрических потерь;
- калориметрические (тепловые) методы (по количеству выделяющегося экзотермического тепла);
- магнетохимический метод.

13. *Усадка* – одна из важных не только технологических, но и конструкционных характеристик полимерного материала. Под усадкой понимают уменьшение объема (объемную усадку) или размеров (линейную усадку), происходящее при отверждении или охлаждении материала в изделии. Оценка величины линейной усадки проводится на дисках стандартного размера ($\varnothing 100$ мм). Практически важно отличать действительную и расчетную линейные усадки, характеризующие изменение размеров детали. Схема образования усадки приведена на (рис. 3.36).

Действительная усадка:

- абсолютная величина действительной усадки, мм:

$$Y_{\partial} = P'_{\phi} - P_{\partial}; \quad (3.31)$$

- относительная величина действительной усадки, %:

$$y = \frac{Y_{\partial}}{P_{\partial}} = \frac{P'_{\phi} - P_{\partial}}{P_{\partial}} 100. \quad (3.32)$$

Расчетная усадка:

- абсолютная величина расчетной усадки, мм:

$$X = P_{\phi} - P_{\partial}; \quad (3.33)$$

- относительная величина расчетной усадки, %:

$$x = \frac{X_{\partial}}{P_{\partial}} = \frac{P_{\phi} - P_{\partial}}{P_{\partial}} 100 \quad (3.34)$$

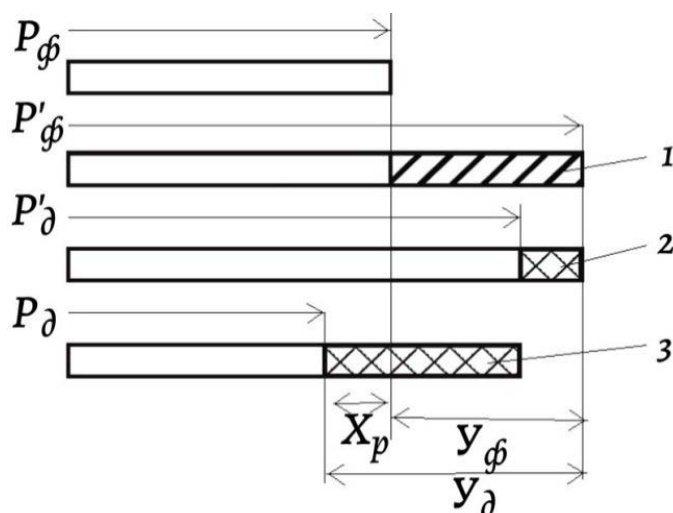


Рис. 3.36. Схема образования усадки при прессовании реактопластов:
 P_{ϕ} – размер оформляющего элемента пресс-формы (при 20 °С), мм; P'_{ϕ} – размер оформляющего элемента пресс-формы при температуре прессования, мм;
 P_{∂} – размер детали после изготовления (при 20 °С), мм; P'_{∂} – размер детали формованной, мм; 1 – расширение формы (термическое);
 2 – усадка при отверждении; 3 – усадка при охлаждении;
 y_{ϕ} – усадка при формовании, мм; X_p – абсолютная усадка (расчетная), мм;
 y_{∂} – абсолютная усадка (действительная), мм

Значения усадки могут колебаться в некоторых пределах, т. е., например, величина относительной расчетной усадки приобретает значения x_{\min} и x_{\max} . Разность между ними Δx , есть допуск относительной расчетной усадки.

3.9.3. Автоматизированная система технологических испытаний реактопластов

Данная система разработана при участии кафедры ТППМ УЛТИ в 1977–1980 гг. Вышеуказанные методы контроля вязкопластических свойств, скорости и глубины отверждения не всегда применимы при технологических испытаниях пресс-материалов, особенно в производственных условиях. Их можно использовать при изучении процессов отверждения различных видов термореактивных полимерных материалов.

Исключение может составить пластометрический метод испытаний на приборах системы Канавца. Технологические характеристики, определенные на пластометрах, в большей степени пригодны при переработке пресс-порошков методом литьевого прессования и литья под давлением. При прямом прессовании происходит трехмерное течение пресс-материала в форме.

Анализ существующих методов определения текучести пресс-материалов (кроме метода Краля-Рашига есть и другие), проведенный В. Г. Дедюхиным и В. П. Ставровым [1, 2], показал, что характеризовать способность пресс-материалов растекаться в пресс-форме при формировании изделия методом прямого компрессионного прессования можно прессованием эталонного образца, который по конфигурации и условиям формирования наиболее полно соответствовал бы форме и условиям формирования большинства изделий, изготавливаемых этим методом.

В качестве эталонной детали-образца может быть принят стаканчик (см. рис. 3.33), прессуемый в открытой пресс-форме. По степени оформления стаканчика можно судить о текучести пресс-материала. Так как нельзя точно измерить высоту стаканчика, то в качестве меры текучести можно принять толщину доньшка.

Прессование стаканчика можно заменить прессованием более простой детали, например, диска. При этом упрощается конструкция пресс-формы – она состоит из двух параллельных плит. При формировании диска между плоскопараллельными плитами также наблюдается трехмерное течение.

В качестве меры текучести целесообразно принять толщину диска, которая может быть замерена с высокой точностью микрометром или толщиномером. Ее можно также контролировать в процессе прессования образца при помощи индикатора часового типа, прикрепленного к плитам (рис. 3.37).

Этот метод был предложен в 60-х годах прошлого столетия для оценки текучести стекловолоконистых пресс-материалов доцентом В. Г. Дедюхиным (тогда еще инженером-конструктором ОКБ машзавода им. М. И. Калинина) и молодым специалистом инженером-механиком, выпускником аэрокосмического факультета Челябинского политехнического института В. П. Ставровым (в н. вр. зав. кафедрой технологии композиционных материалов, профессор, доктор технических наук Белорусского технологического университета, бывший заместитель министра по науке Минобразования Белоруссии).

Исследуя текучесть стекловолоконистых пресс-материалов методом Рашига, они обнаружили явление сильного отжима связующего от стекловолокна, что искажало оценку текучести материала. Ими же была и разработана конструкция пресс-формы (рис. 3.37).

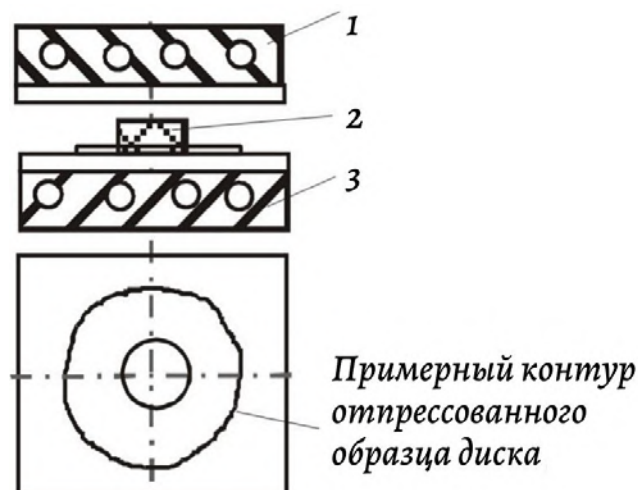


Рис. 3.37. Пресс-форма для прессования образцов-дисков:
1 – верхняя плита; 2 – таблетка пресс-материала; 3 – нижняя плита

Поскольку текучесть пресс-материала характеризуется геометрическими размерами образца, то объем образцов для определения текучести, получаемых из различных материалов, должен быть одинаковым. При отработке метода объем образца-диска был принят авторами равным $V = 10 \text{ см}^3$. Эта величина const в данном методе оценки текучести. Из навески пресс-материала, которая соответствует данному объему образца-диска, формуется таблетка Ø 30 мм при комнатной температуре или температуре размягчения материала (в зависимости от марки пресс-материала она колеблется от 40 до 80 °С) при давлении 25–50 МПа и времени выдержки 30 с.

Масса навески определяется по формуле, г:

$$m = \rho V (1 + x/100) = 10 \rho (1 + x/100), \quad (3.35)$$

где ρ – плотность пресс-материала, г/см³.

Полученная таблетка закладывается между плоскопараллельными плитами (рис. 3.37), разогретыми до температуры прессования, и прессуется диск. Для сопоставимости результатов испытаний усилие прессования образцов-дисков должно быть одинаковым для различных материалов. Усилие прессования принято равным 50 кН. При этом среднее давление на первоначальную площадь таблетки

Ø 30 мм равно 71. По мере растекания материала площадь образца увеличивается и соответственно уменьшается давление на материал.

Время выдержки можно определить по индикатору часового типа; усилие прессования не снимается до тех пор, пока стрелка индикатора не будет перемещаться. Если прессуемый образец-диск и далее подвергается дальнейшим испытаниям, то время выдержки увеличивается до 3 и более мин.

Таким образом, за меру текучести можно принять толщину полученного диска h , определенную с точностью до $\pm 0,01$ мм. За меру текучести можно принять так называемый *приведенный диаметр* D полученного диска.

Приведенный диаметр – это диаметр правильного круга, площадь которого равна площади полученного образца диска. Так как $V = 10 \text{ см}^3 = 10^4 \text{ мм}^3 = \text{const}$, то приведенный диаметр D (мм), как меру текучести, можно определить по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi h}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^4}{\pi h}} = \frac{113}{h},$$
$$D = \frac{113}{\sqrt{h}}, \quad (3.36)$$

где h – толщина прессованного образца-диска, мм.

Данный метод определения текучести пресс-материалов с волокнистыми и крупнодисперсными наполнителями нашел свое признание у переработчиков полимерных композиционных материалов. Так, он был заложен в ГОСТ 11368-79 «Массы древесные прессовочные. Технические условия» при определении их текучести. Были только изменены режимы прессования диска: таблетка МДП изготавливается Ø 50 мм, а усилие прессования – 130–150 кН (из-за низкой текучести МДП по сравнению с другими пресс-материалами).

Далее авторы метода определения текучести путем прессования диска между плоскопараллельными плитами (*метод деформирования диска*) существенно расширили область его применения. Данный метод дает возможность непосредственно вычислить основной показатель пресс-материала, характеризующий его вязкопластические свойства – сопротивление сдвигу в условиях, близких к условиям прессования изделий. Этому показателю дано определение – *предел текучести*. Было дано теоретическое обоснование расчета

сопротивления сдвига при течении пресс-материала между плоско-параллельными плитами (рис. 3.38) и выведена следующая формула расчета предела текучести:

$$\tau_{cd} = \frac{Qh}{2V} \left(1 + \frac{1}{3\sqrt{\pi} h} \sqrt{\frac{V}{h}} \right)^{-1} \cdot 10^{-6}, \quad (3.37)$$

где τ_{cd} – предел текучести, МПа;

Q – усилие прессования диска, Н;

h – толщина диска, м;

V – объем диска, м³, $V = 10 \cdot 10^{-6}$ м³.

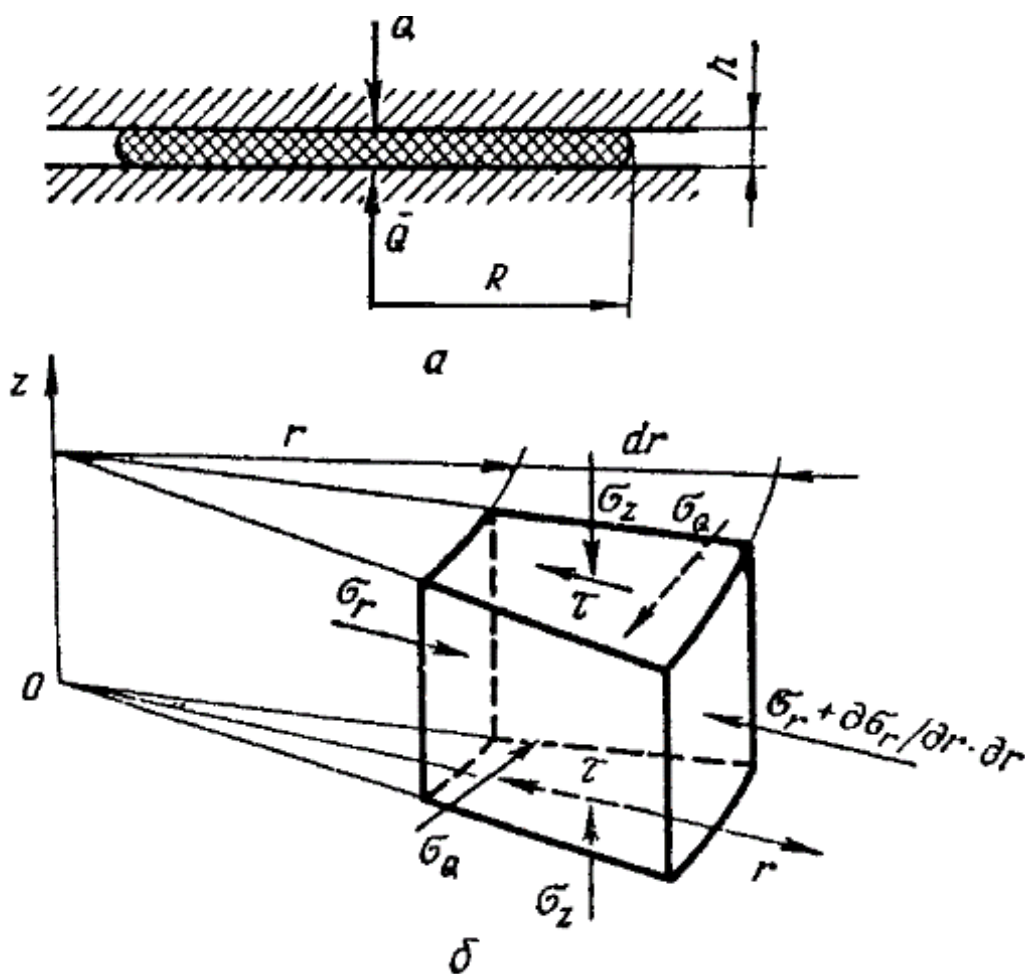


Рис. 3.38. Схема прессования плоского образца-диска (а) и силы, действующие на элемент диска (б)

Исследования в дальнейшем показали, что τ_{cd} , вычисленный по формуле (3.37), численно равен τ_{cd} , определенному по пластометрической кривой (см. рис. 3.35) для одного и того же материала.

В 1997–1980 гг. сотрудниками двух кафедр теоретической механики и метрологии Гомельского госуниверситета (Белоруссия) и ТППМ УЛТИ (доц. В. Г. Дедюхин и асс. Н. М. Мухин) под общим руководством доц. В. П. Ставрова был разработан вначале пластовискозиметр ГГУ (рис. 3.39), а затем на его базе – комплекс технических средств входного контроля (КТС ВК) реактопластов и автоматизированная система технологических испытаний пресс-материалов, которая обеспечивает автоматизацию процесса испытаний и обработки результатов (рис. 3.40).

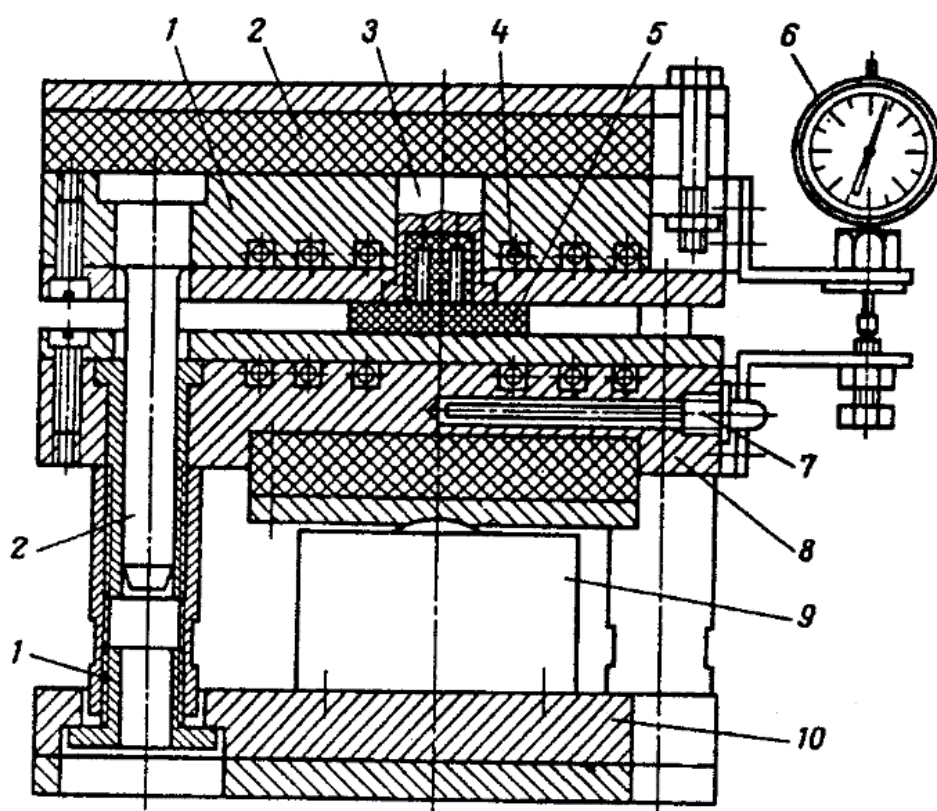


Рис. 3.39. Оформляющая часть пластовискозиметра ГГУ:
 1 – плита верхняя; 2 – изоляция; 3 – датчик диэлектрической
 проницаемости; 4 – нагревательный элемент; 5 – образец;
 6 – датчик перемещения; 7 – датчик температуры; 8 – плита нижняя;
 9 – датчик силоизмерительный; 10 – опора

КТС ВК позволяет определить следующие технологические характеристики пресс-материалов:

- минимальное давление прессования p_* ;
- плотность пресс-материала ρ ;
- коэффициент температуропроводности a ;
- текучесть D ;
- предел текучести $\tau_{сд}$;

- вязкость η ;
- время отверждения τ_o ;
- кажущуюся энергию активации процесса отверждения U .

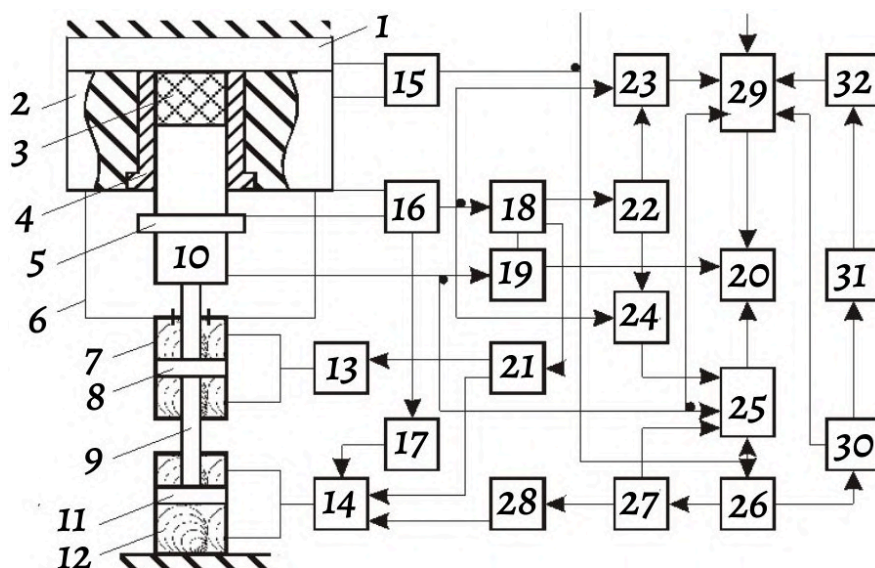


Рис. 3.40. Структурная схема автоматизированного пластометра:

1 – неподвижная плита; 2 – подвижная плита; 3 – образец; 4 – матрица;
 5 – пуансон; 6 – каркас; 7 – цилиндр; 8 – поршень вспомогательный; 9 – шток;
 10 – датчик силоизмерительный; 11 – поршень основной; 12 – цилиндр основной; 13 – сервоventель вспомогательного привода; 14 – сервоventель основного привода; 15 – датчик перемещения плит; 16 – датчик перемещения пуансона; 17, 19, 21, 22, 28, 32 – реле; 18, 26, 30 – дифференциаторы; 20 – регистрирующее устройство; 23, 24 – запоминающие устройства; 25, 29 – решающие устройства; 27, 31 – усилители

Минимальное давление прессования p^* и плотность пресс-материала ρ определяют при его таблетировании в форме, нагретой до температуры размягчения. При равномерно увеличивающемся усилии прессования изменение высоты таблетки (и плотности материала) происходит по экспоненциальному закону:

$$\rho = \rho^* - (\rho^* - \rho_n) e^{-\frac{p}{A}}, \quad (3.38)$$

где ρ^* – условно предельная плотность, кг/м³;

ρ_n – насыпная плотность, определенная по массе и ее начальному объему в матрице пластовискозиметра (рис. 3.41, п. I), кг/м³;

p – давление прессования, Па;

A – коэффициент, зависящий от вида материала и температуры уплотнения.

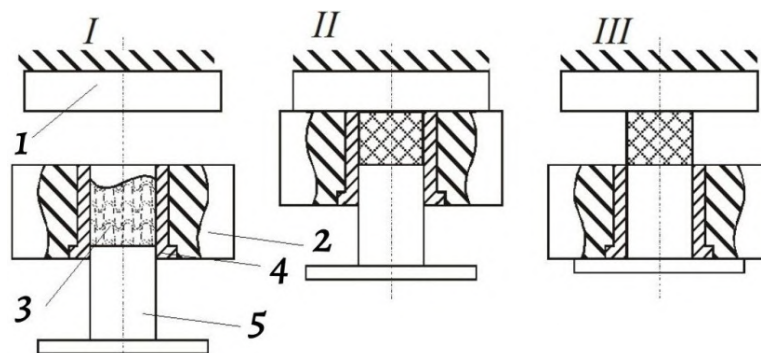


Рис. 3.41. Положение оформляющих элементов пластометра при загрузке материала (I), при формировании таблетки (II) и диска (III):

1 – неподвижная плита; 2 – подвижная плита; 3 – материал;
4 – матрица; 5 – пуансон

Давление, при достижении которого уменьшение высоты таблетки практически прекращается, соответствует минимальному давлению прессования p^* , а по высоте таблетки в этот момент вычисляют плотность пресс-материала (рис. 3.41, п. II). Далее таблетку с установленной в ее центр термопарой помещают между нагретыми до заданной температуры плоскопараллельными плитами (рис. 3.41, п. III), расстояние между которыми с помощью ограничителя поддерживают постоянным. По времени достижения в центре таблетки определенной температуры вычисляют коэффициент температуропроводности ($\text{м}^2/\text{с}$).

Для удаления летучих веществ, улучшения прогрева материала изделия применяют специальный технологический прием – *подпрессовку* (рис. 3.42). Она заключается в том, что сразу же после полного смыкания пресс-формы пуансон слегка поднимают на несколько миллиметров и снова опускают (рис. 3.42, б). При этом газообразные продукты легко удаляются из формы.

Подпрессовку проводят только при прямом прессовании на стационарных пресс-формах и на быстроходных прессах. Во многих случаях она не допустима: при прессовании изделий с арматурой, а также сложных изделий (с поднутрениями и выступами). Подпрессовка характеризуется следующими параметрами:

- *началом* – временем (паузой) от первой посадки пуансона до его первого подъема: для быстро отверждающихся реактопластов применяют раннюю – через 0–10 с, для медленно отверждающихся – позднюю – через 10–30 с;

- *длительностью* – временем, в течение которого пуансон остается приподнятым: для быстро отверждающихся реактопластов

применяют короткую – 3–5 с, для медленно отверждающихся – длительную – 5–10 с;

- *высотой* – высотой подъема пуансона: низкая – 5–10 мм, высокая – до 10–30 мм;

- *количеством* – от 1 до 3–4.

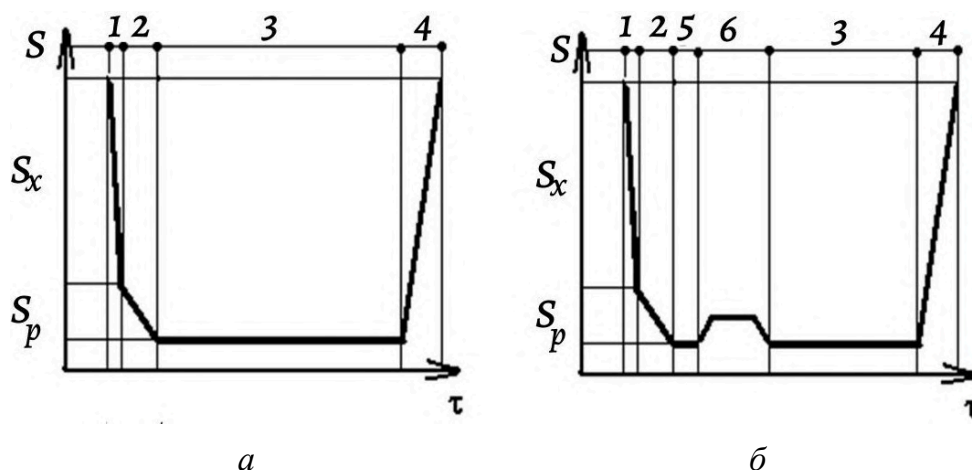


Рис. 3.42. Диаграммы режимов компрессионного прессования реактопластов без подпрессовки (а) и с подпрессовкой (б):
1 – холостой ход (на низком давлении); 2 – рабочий ход (на высоком давлении); 3 – выдержка под давлением; 4 – распрессовка (подъем пуансона); 5 – пауза перед подпрессовкой; 6 – подпрессовка

Вид и параметры подпрессовок устанавливают опытным путем для каждого конкретного изделия в зависимости от технологических свойств материала и режимов прессования (рис. 3.43).

Режим «без подпрессовки» (а) используется для прессования небольших изделий с металлической арматурой и оформляющими знаками.

Режим «подпрессовка без паузы» (б) применяется для прессования небольших изделий без арматуры и знаков.

Режим «подпрессовка после паузы» (в) применяется для прессования крупных изделий и из медленно отверждающихся материалов (на основе кремнийорганических связующих).

Режим «подпрессовка с паузой» (г) применяется для прессования крупногабаритных изделий с арматурой.

Режим «подогрев пресс-материала в пресс-форме» (д) характеризуется остановкой пуансона до его полного смыкания с матрицей (создается зазор 3–5 мм), что обеспечивает хороший подогрев массы. Режим применяют для прессования аминопластов, а также фенопластов с низкой текучестью.

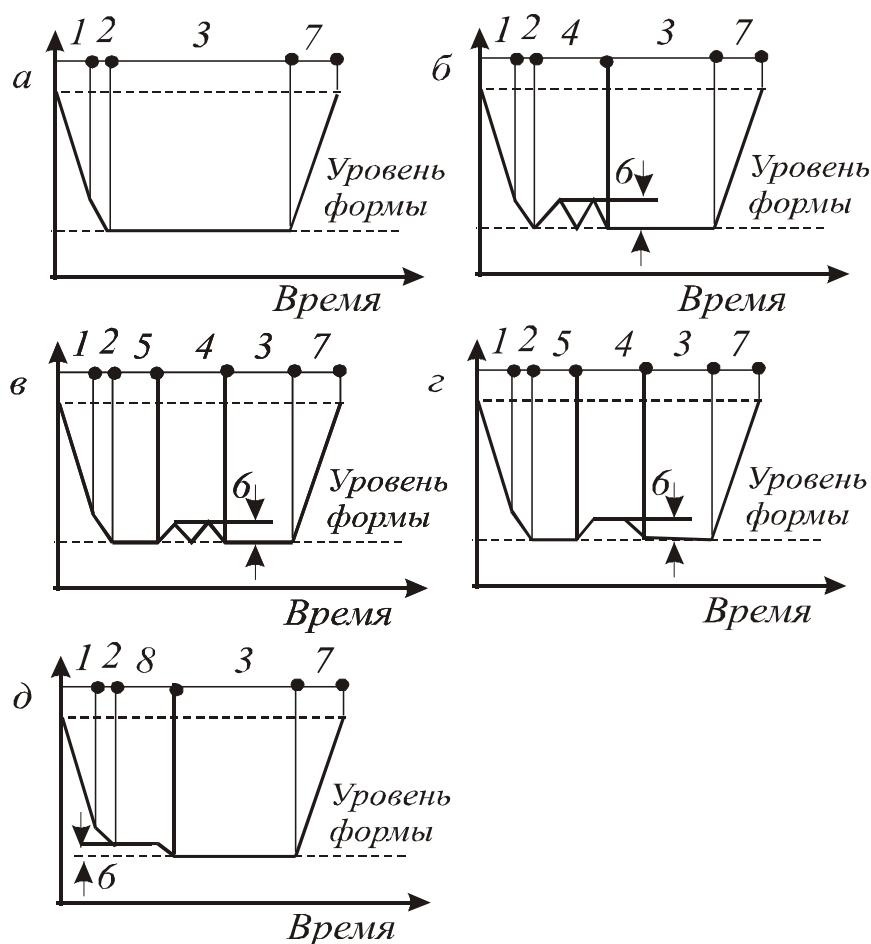


Рис. 3.43. Диаграммы различных режимов прессования реактопластов:
 а – без подпрессовки; б – подпрессовка «без паузы»; в – подпрессовка «после паузы»; г – подпрессовка «с паузой»; д – режим «подогрев пресс-материала в пресс-форме»; 1 – ход на низком давлении (холостой ход); 2 – ход на высоком давлении (рабочий ход); 3 – выдержка под давлением; 4 – подпрессовка; 5 – пауза перед подпрессовкой; 6 – высота подпрессовок; 7 – разъем пресс-формы; 8 – подогрев пресс-материала

При формовании изделий иногда применяется и другой прием – «задержка давления». Он заключается в выдерживании небольшой паузы между моментом соприкосновения пуансона с пресс-материалом и моментом начала смыкания пресс-формы. Применяется при работе с материалами повышенной текучести, при наличии в пресс-формах больших зазоров (выпаров) для вытекания материала или труднозаполняемых углублений.

После окончания выдержки под давлением производится распрессовка и сьем изделия. Подвижная плита пресса перемещается вверх, и происходит раскрытие формы. В зависимости от конструкции стационарной пресс-формы и вида изделия сьем пресс-изделий может производиться с помощью толкателей формы, соединенных

со штоком выталкивающего гидроцилиндра пресса, а из съемных пресс-форм с применением приспособлений – разъемников и пневматических малогабаритных прессов.

Для очистки оформляющих поверхностей пресс-формы от остатков материала (облоя) производится их обдув сжатым воздухом с помощью пистолета (рис. 3.44). Если наплывы пресс-материала струей сжатого воздуха не удаляются, то применяют скребки, изготовленные из мягкой стали или латуни.

Стационарные пресс-формы не требуют специальной сборки. В них после очистки вставляют арматуру, оформляющие знаки, вкладыши, вставки, предусмотренные конструкцией формы и изделия. Съемные пресс-формы собирают на рабочем столе прессовщика с использованием разъемных приспособлений.

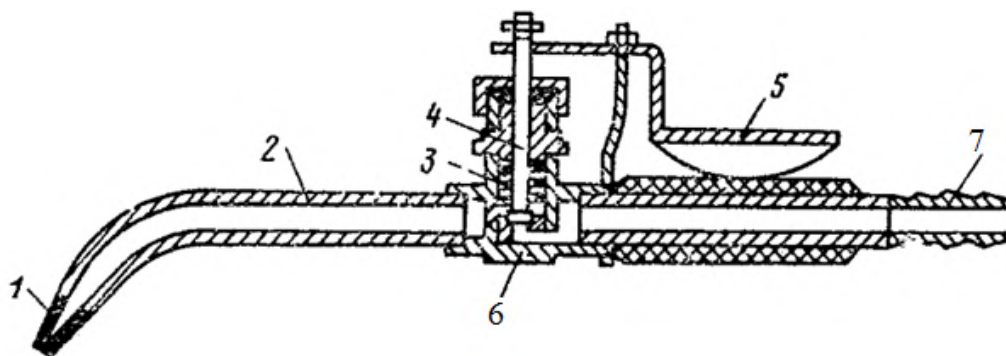


Рис. 3.44. Пистолет для очистки пресс-формы сжатым воздухом:
1 – наконечник; 2 – трубка; 3 – пружина; 4 – клапан; 5 – корпус клапана;
6 – ручка клапана; 7 – штуцер для подачи сжатого воздуха

Перед следующей запрессовкой оформляющая поверхность протирается ветошью и смазывается смазкой в аэрозольной упаковке (кремнийорганическими жидкостями) или ветошью, пропитанной смазкой.

3.9.4. Завершающие стадии производства пресс-изделий

Промежуточный контроль пресс-изделий производится на рабочем месте прессовщика после съема из формы. Отбраковываются изделия недопрессованные, имеющие трещины, вздутия, разводы и изделия с толстым гратом. При наличии требований по однотонности, количеству включений и размерной точности изделий он проводится и по этим показателям (сравнение с эталонным изделием, образцом-свидетелем).

Механическая обработка пресс-изделий проводится:

- для удаления механическим путем излишков материала (облоя, грата), образующегося из-за его затекания в плоскости разъема форм;
- с целью обеспечения требуемой конфигурации изделия, изготовления резьбы или доводки размеров изделия, если точное оформление изделия при прессовании технически сложно или экономически невыгодно;
- с целью отделки изделий (шлифовки, полировки и т. п.).

Термическая обработка пресс-изделий заключается в их отжиге при повышенных температурах с целью:

- уменьшения уровня внутренних напряжений;
- увеличения степени отверждения (для повышения диэлектрических свойств);
- повышения точности размеров за счет дополнительной усадки;
- повышения однородности поверхности (особенно неокрашенных пресс-материалов).

Термообработка осуществляется путем нагревания изделия на воздухе или в масле до 120–150 °С с последующим медленным охлаждением.

3.10. Литьевое и трансферное прессование изделий

При формировании изделий сложной конструкции, имеющих тонкую сквозную арматуру, в момент смыкания формы при компрессионном прессовании возникают перекосы армирующих элементов, что приводит к браку. Достаточно часто наблюдаются недопрессовки при формировании изделий с малой толщиной стенок, но достаточно большой высотой.

Эти недостатки устраняют при использовании метода литьевого прессования, который отличается от компрессионного тем, что пресс-форма имеет загрузочную камеру верхнюю (передаточную) при литьевом прессовании (см. рис. 3.2) и нижнюю – при трансферном прессовании (см. рис. 3.3). Камеры соединены с формующей полостью формы литниковыми каналами. В отличие от компрессионного прессования загрузка материала проводится после смыкания плит пресс-формы, т. е. в закрытую формующую полость. При литьевом прессовании также отсутствует операция подпрессовки.

Пресс-материал (м. б. и предварительно подогретым) в виде таблеток, пресс-порошка или волокнита помещается в нагретую загрузочную камеру, где нагревается и под действием давления пуансона верхней загрузочной камеры (при литье прессовании) или

штока (при трансферном) выдавливается через литники в оформляющую полость нагретой пресс-формы.

Благодаря тому что пресс-материал течет через нагретые литниковые каналы и вследствие выделения теплоты за счет диссипации энергии от вязкого течения, температура материала повышается. При наличии скорости сдвига в литниковых каналах материал равномерно прогревается и гомогенизируется. При поступлении нагретого материала в оформляющую полость, где давление равно атмосферному, происходит интенсивное выделение паров воды и летучих веществ, которые удаляются из формы через воздушные каналы или зазоры в плоскостях разъема. После заполнения формирующей полости пресс-формы материал затекает в воздушные каналы и зазоры, а так как они имеют небольшую глубину, материал в них быстро отверждается, и они перекрываются. В результате создается замкнутый объем, и давление повышается до значения, необходимого для уплотнения пресс-материала.

Изделия, полученные литьевым прессованием, имеют большую плотность, отличаются высокой размерной точностью, практически не требуют удаления облоя, так как впрыск материала происходит в замкнутую пресс-форму (толщина облоя – до 0,1 мм). Технологический процесс литьевого прессования состоит из тех же стадий, что при компрессионном прессовании. Основные особенности связаны с двухкамерной пресс-формой и литниковой системой. Требуется использовать пресс большего усилия и большего расхода пресс-материала.

3.11. Прессование декоративных и двухцветных изделий

Для улучшения внешнего вида изделий культурно-бытового назначения и некоторых технических изделий проводят перечисленные ниже меры.

Сущность способа *прессования с одновременным декорированием* заключается в единовременном прессовании пресс-порошков с бумагой или тканью в качестве декоративного элемента.

В качестве пресс-материалов применяют различные марки аминопластов светлых тонов, а для декорирования – бумагу или ткань определенного рисунка или с нанесенным рисунком и надписью. Бумага или ткань, предварительно пропитанные карбамидоформальдегидными или меламиноформальдегидными олигомерами, высушены.

Прессование проводят с применением различных приемов. В одном случае в гнездо матрицы укладывают листовую заготовку лицевой стороной вниз, загружают навеску пресс-порошка и прессуют. В другом случае сначала прессуют подложку из пресс-порошка, а затем форму размыкают и накладывают лицевую заготовку лицевой стороной вверх и повторно прессуют.

Указанным методом изготавливают таблички, нагрудные, фирменные товарные знаки, отделочные детали приборов, отделочные декоративные панно, сувениры и т. п.

Двухцветное прессование применяется для изготовления изделий народного потребления. Двухцветные изделия производят по двум схемам: в пресс-форме обычного типа со сменными планками или в пресс-форме кассетного типа – с одной матрицей и двумя пуансонами разного диаметра (по такой схеме изготавливают изделия типа «стакан»). Пуансон в виде подвижной кассеты с двумя формующими пуансонами и одногнездная пресс-форма укреплены на плитах пресса. Технологический процесс двухцветного прессования состоит из пяти операций (рис. 3.45).

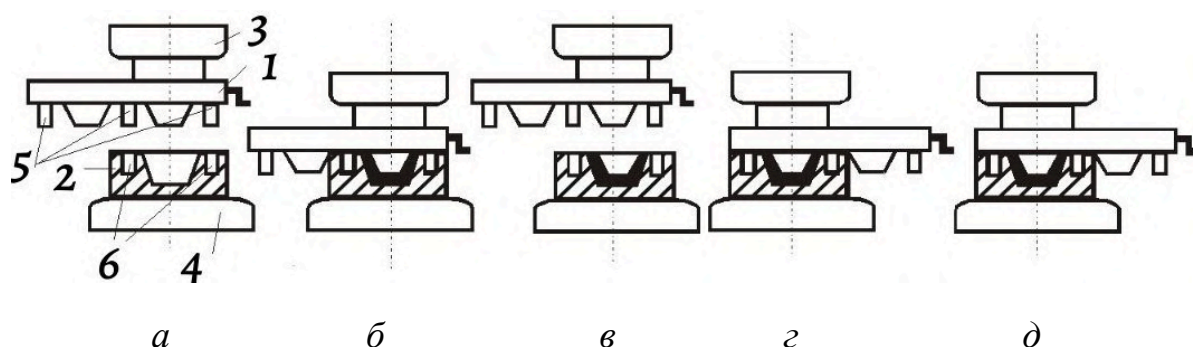


Рис. 3.45. Схема прессования двухцветных изделий:

а – первая загрузка; *б* – первая выдержка; *в* – вторая загрузка;

г – вторая выдержка; *д* – извлечение готового изделия;

1 – пуансон; *2* – матрица; *3* – подвижная плита пресса; *4* – станина пресса;

5 – направляющие колонки пресс-формы; *6* – втулка направляющих колонок

При первой загрузке (*а*) в матрицу загружают навеску первого пресс-материала для оформления наружного слоя изделия и опускают подвижную плиту пресса при правом положении кассеты. В матрицу входит пуансон большого диаметра и высоты. Дается выдержка для отверждения наружного слоя, затем пресс-форму раскрывают.

При второй загрузке на оформленную наружную половину изделия загружается новая навеска материала другого цвета. Кассету

с пуансонами передвигают в левое положение и прессуют внутреннюю половину пуансоном меньшего диаметра и высоты. Далее идет распрессовка и извлечение готового изделия.

3.12. Прессование слоистых пластиков

Листы (в т. ч. и фольгированные медью для печатных плат в радиоэлектронике), плиты, трубы, фасонные изделия из текстолита, гетинакса, стеклотекстолита, а также декоративные бумажно-слоистые пластики, древесные плиты и древесно-слоистые пластики получают на этажных прессах нижнего давления (см. рис. 3.15).

Получение данных изделий состоит из операций раскроя, пропитанного связующим листового материала (препрега), набора пакетов и их прессования. Набранный пакет укладывают между полированными листами из нержавеющей стали и загружают между обогреваемыми плитами этажного пресса (рис. 3.46).

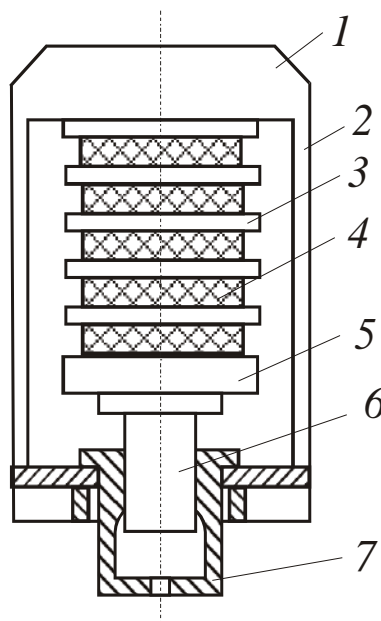


Рис. 3.46. Схема прессования слоистых пластиков в этажном прессе:
1 – станина; 2 – стойка станины; 3 – обогревающие плиты; 4 – прессуемый пакет пластика; 5 – подвижный стол; 6 – пунжер; 7 – рабочий гидроцилиндр

Особенности процесса прессования слоистых пластиков определяются реологическими свойствами связующего. На начальной стадии связующее плавится и происходит более глубокая пропитка основы пластика (ткани, бумаги, шпона). При этом давление дается небольшое, чтобы связующее не вытекало из пакета. С увеличением продолжительности прессования связующее отверждается, вязкость

его нарастает, и уплотнение пакетов ведут уже при максимальном давлении. Режим подъема давления связан с температурным режимом прессования и толщиной пластика (рис. 3.47).

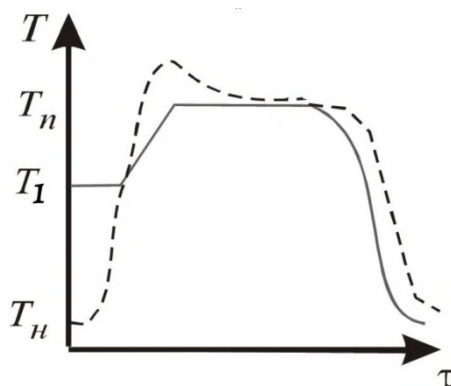


Рис. 3.47. Ступенчатый температурный режим прессования слоистых пластиков и толстостенных изделий из реактопластов:
(—) – температура греющих плит пресса; (---) – температура пресс-материала; T_1 – температура начала интенсивного отверждения

После прессования слоистый пластик охлаждают в прессе под давлением, пропуская холодную воду внутри плит пресса. Охлаждение ведут до 20–40 °С. Далее готовые пакеты выгружают из пресса и передают на обрезку кромок, контроль и упаковку.

3.13. Выбор и расчет технологических параметров прессования

3.13.1. Расчет навески пресс-материала

Чтобы избежать больших потерь пресс-материала и получить изделия требуемого качества и заданных размеров, расчет навески необходимо вести по фактическому содержанию влаги и летучих веществ, плотности данной партии материала, определяемые при входном контроле и с учетом технологических потерь.

Масса навески для закрытых пресс-форм рассчитывается по формуле, кг:

$$m_{н.з} = k_m \rho V \left(1 + \frac{x}{100}\right) n, \quad (3.39)$$

где k_m – коэффициент технологических потерь, $k_m = 1,013–1,02$;

ρ – плотность пресс-материала в изделии, кг/м³;

V – объем изделия, м³;
 x – содержание влаги и летучих веществ, %;
 n – гнездность формы.

Объем изделия обычно определяют исходя из геометрической формы и его размеров по чертежу. При прессовании изделий с металлической арматурой расчет навески ведут с учетом объема, занимаемого запрессованной арматурой, кг:

$$m_{н.з(a)} = k_m \rho \left(V - \frac{m_a}{\rho_a} \right) \left(1 + \frac{x}{100} \right) n, \quad (3.40)$$

где m_a и ρ_a – масса арматуры и плотность металла, кг/м³.

При прессовании в полузакрытых пресс-формах навеска определяется с учетом пресс-остатка в загрузочной камере пресс-формы, кг:

$$m_{н.пз} = m_{н.з} + \rho S_{з.к} \delta_o, \quad (3.41)$$

где $S_{з.к}$ – площадь загрузочной камеры пресс-формы, м²;
 δ_o – толщина облоя, м; $\delta_o = 0,2–0,3$ мм.

При литьевом прессовании навеску рассчитывают по формуле:

$$m_{н.л.п} = m_{н.з} + m_l + m_n + m_o, \quad (3.42)$$

где m_l , m_n , m_o – соответственно масса материала в литниковых каналах, пресс-остатка в загрузочной камере, облоя, кг:

$$m_l = \rho \left[0,785 d^2 l + \sum_1^n s_p l_p \right], \quad (3.43)$$

где d и l – средний диаметр и длина впускного канала, м;

n – гнездность литьевой пресс-формы;

S_p и l_p – площадь сечения и длина распределительных каналов, м² и м;

$$m_n = \rho S_{з.к} \delta_n, \quad (3.44)$$

где δ_n – толщина облоя пресс-материала, оставшегося в загрузочной камере, м; $\delta_n = 0,2$ мм;

$$m_o = \rho S_u \delta_o n, \quad (3.45)$$

где S_u – площадь горизонтальной проекции изделия, м^2 ;

δ_o – толщина облоя при литьевом прессовании, м ; $\delta_o = 0,1\text{--}0,2$ мм .

При прессовании слоистых пластиков рассчитывают число листов пропитанной связующим основы (ткани, бумаги, шпона):

$$N = \frac{h_{nl}}{(1-k)h_1}, \quad (3.46)$$

где N – число слоев основы в пакете;

h_{nl} – толщина отпрессованного пластика, мм ;

k – коэффициент упрессовки, в зависимости от вида пластика находится в пределах $0,35\text{--}0,55$;

h_1 – толщина одного слоя основы, мм .

Навеска или число листов основы уточняются и корректируются после первых запрессовок перерабатываемой партии пластика.

3.13.2. Выбор давления и расчет усилия прессования

Поскольку при прессовании изделий из пресс-материалов не происходит гидростатической передачи давления (как при сжатии жидкостей или газов), то расчетная величина давления определяется как усилие, приходящееся на единицу площади горизонтальной проекции изделия. Оно является лишь условной характеристикой фактического давления в данной точке.

При прессовании изделий из реактопластов давление необходимо для:

- обеспечения течения расплава, т. е. формования изделия;
- уплотнения пресс-материала;
- противодействия усадочным явлениям;
- удаления воздуха, летучих веществ из материала.

Уровень давления прессования, которое необходимо для обеспечения заданной плотности и эксплуатационных свойств изделия, зависит от типа перерабатываемого материала, его вязко-пластических свойств (текучести) и в какой-то мере от количества выделяющихся летучих веществ. В литературе можно встретить, что уровень давления прессования зависит от формы изделия и отношения высоты заполнения к толщине стенки. На первый взгляд

это действительно так. Чем больше это отношение, тем выше должно быть давление прессования. При таком подходе к выбору давления и расчета усилия прессования не учитываются реологические аспекты процесса прессования изделий различной формы.

Выбор давления прессования

Давление прессования определяется опытным путем. Нижний его предел, так называемое минимальное давление, определяют при прессовании плоских стандартных образцов-пластин, при формировании которых почти не затрачивается усилие на обеспечение процесса течения пресс-материала между оформляющими поверхностями матрицы и пуансона, т. е. происходит только уплотнение прессуемого материала. В обычной практике выбора давления делают серию запрессовок плоских образцов при различных давлениях, а затем определяют их плотность. Строят график $\rho = f(P)$ (рис. 3.48). Давление прессования, как усилие, приходящееся на единицу площади горизонтальной проекции изделия, при котором достигается предельная плотность P^* , принимается как минимальное давление P_* (как определяется с применением КТС ВК, рассмотрено в разделе 3.9.2).

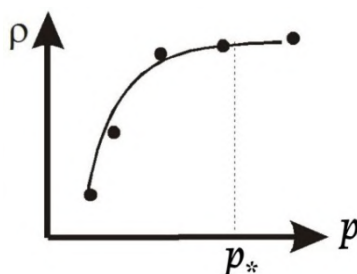


Рис. 3.48. Определение минимального давления прессования P^* по изменению плотности пресс-изделий: $\rho = f(P)$

Расчет усилия прессования

На практике распространена методика определения усилия прессования как произведение давления прессования на площадь горизонтальной проекции изделия (рис. 3.49), Н:

$$F_{np} = pS_{np}, \quad (3.47)$$

При прессовании изделий сложной формы, с высокими стенками давление в различных точках детали неодинаковое. На его распределение влияет текучесть при данной температуре прессования, высота стенок изделия и их толщина. Для обеспечения достаточной

плотности и других физико-механических свойств изделия давление прессования во всех точках пресс-формы должно быть не менее минимального p_* . При прессовании такого изделия требуется не только уплотнить пресс-материал, но и обеспечить процесс его течения между оформляющими поверхностями пуансона и матрицы.

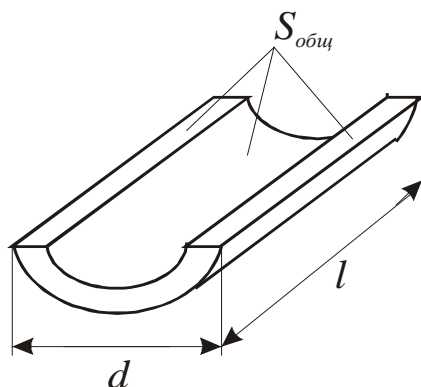


Рис. 3.49. Схема определения площади прессования, как площади горизонтальной проекции изделия: $S_{np} = S_{г.н} = dl$ ($S_{общ} > S_{г.н}$);
 d – диаметр; l – длина; $S_{общ}$ – общая площадь

Таким образом, необходимо преодолеть сопротивление расплава материала процессу течения. Знание сопротивления материала сдвигу (предела текучести τ_{cd}) позволяет рассчитать распределение давления и найти усилие прессования. В общем случае усилие прессования определяется как проекция равнодействующих сил, приложенных к пуансону (или матрице) (рис. 3.50), Н:

$$F = \int S(\tau_{cd} \sin \alpha + P \cos \alpha) dS, \quad (3.48)$$

где S – поверхность пуансона (или матрицы), контактирующая с пресс-материалом, m^2 ;

α – угол между направлением прессования и внешней нормалью поверхности S (рис. 3.50), град.;

P – давление как функция координат точек поверхности, Па;

Разбивая любое осесимметричное изделие на типовые элементы и интегрируя уравнение (3.48), можно представить минимальное усилие прессования в виде, Н:

$$F = Ap_* + B\tau_{cd}, \quad (3.49)$$

где A и B – коэффициенты, зависящие от геометрии изделия и пресс-формы;

p^* – минимальное давление прессования, Н;
 τ_{cd} – предел текучести пресс-материала, Па.

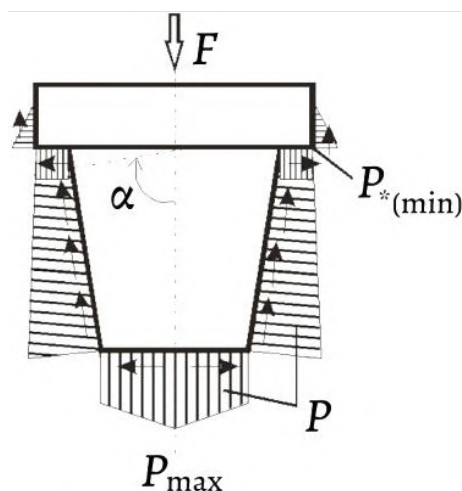


Рис. 3.50. Распределение давления на пуансон P и касательных напряжений τ_{cd} (сопротивление сдвигу) в момент окончания течения при формовании осесимметричных изделий с большим соотношением высоты к толщине стенки изделия

Коэффициент A можно принять равным площади горизонтальной проекции изделия. Коэффициент B зависит от площади оформляющей поверхности пуансона, матрицы и зазора между ними (толщины стенки изделия):

$$B = \left[S_{\text{б.н}} + S_{\text{н.н}} \left(\frac{2H}{h_{\text{б}}} + \frac{d}{3h_{\text{о}}} \right) \right] \sin \alpha, \quad (3.50)$$

где $S_{\text{б.н}}$ – площадь боковой поверхности пуансона м^2 ;
 $S_{\text{н.н}}$ – площадь нижнего основания пуансона, м^2 ;
 H – высота формующей части пуансона, м;
 $h_{\text{б}}$ – толщина боковой стенки изделия, м;
 d – диагональ основания пуансона, м;
 $h_{\text{о}}$ – толщина изделия в нижнем основании пуансона, м;
 α – угол между направлением прессования и внешней нормалью боковой поверхности $S_{\text{б.н}}$ (рис. 3.50), град.

Для изделий сложной формы расчетный метод определения усилия прессования по формуле (3.49) может оказаться неэффективным. В этом случае целесообразно использовать расчетно-экспериментальный метод, состоящий в следующем. При опытных

запрессовках пресс-материала двух партий, отличающихся по показателям p_* и τ_{cd} , измеряют усилие, необходимое для качественного оформления изделия. Получают уравнения:

$$\begin{aligned} F_1 &= Ap_*^{(1)} + B\tau_{cd}^{(1)} \\ F_2 &= Ap_*^{(2)} + B\tau_{cd}^{(2)}, \end{aligned} \quad (3.51)$$

где F_1 и F_2 – усилия прессования изделия для двух партий материала, Н;

$p_*^{(1)}, p_*^{(2)}$ и $\tau_{cd}^{(1)}, \tau_{cd}^{(2)}$ – минимальные давления прессования и предела текучести для партий (1) и (2) соответственно, Па.

Давление и усилие при литьевом прессовании определяются с учетом потерь давления в литниках Δp_l и давления, которое необходимо создать в формующей полости формы:

$$p_{*(л.н)} = \Delta p_l + p_*, \quad (3.52)$$

где p_* – давление в форме, равное минимальному давлению для компрессионного прессования, Па.

Общий перепад давления в литниковой системе определяют как сумму перепадов на всех ее участках:

$$\Delta p_l = \sum \Delta p_i \quad (3.53)$$

Методика расчета Δp_l и размеров литниковых каналов дана в «Технике переработки пластмасс» [3, с. 267–269]. При правильно выбранных размерах литниковых каналов Δp_l должен быть равен: $\Delta p_l = 40\text{--}50$ МПа. При литьевом прессовании усилие прессования должно быть равно, Н:

$$F_{л.н} = P_{л.н} S_{з.к}, \quad (3.54)$$

где $P_{л.н}$ – давление при литьевом прессовании, Па.

В формах с верхней (передаточной) загрузочной камерой для предотвращения раскрытия формующей полости при поступлении

в нее расплава площадь загрузочной камеры $S_{з.к}$ должна быть больше, чем площадь изделий и литников:

$$S_{з.к} = 1,25(S_{изд}n + S_{л}), \quad (3.55)$$

где $S_{изд}$ – площадь изделия в плоскости разъема формы, m^2 ;

n – число гнезд в формующей полости, шт;

$S_{л}$ – площадь литников в плоскости разъема, m^2 .

В формах с нижней загрузочной камерой при трансферном прессовании усилие смыкания создается верхним гидроцилиндром и должно быть равно, Н:

$$F_{см(м.н)} = 1,25 p_{*(л.н)} (S_{изд}n + S_{л} + S_{з.к}). \quad (3.56)$$

Н. И. Басов [4] предлагает следующую формулу расчета усилия прессования при известных размерах литьевого пуансона и литниковой системы:

$$F_{л.н} = \frac{\pi D^2}{4} p_{л.н} \left[\ln \left(\frac{D}{d} \right)^2 + \frac{4L}{D} f \right], \quad (3.57)$$

где D – диаметр литьевого пуансона, м;

d – диаметр литникового канала, м;

L – ход литьевого пуансона, м;

f – коэффициент трения пресс-материала о сталь, $f = 0,2-0,3$.

3.13.3. Выбор температуры прессования

Правильно подобранная температура пресс-формы дает возможность также значительно снизить усилие прессования. Установлена связь: высокая температура \rightarrow низкое усилие ($T_{\max} \rightarrow F_{\min}$)

Температура пресс-формы T_n , взаимосвязанная со временем отверждения $\tau_{отв}$, имеет большое значение для отверждения пресс-материала в формующей полости пресс-формы. Она зависит от приведенных ниже факторов:

1. Скорость отверждения.

Практические рекомендации состоят в следующем: при переработке быстро отверждающихся пресс-материалов и большом времени смыкания формы следует выбирать низкую температуры пресс-формы и, наоборот, при переработке медленно отверждающихся материалов и небольшом времени смыкания следует прессовать при высокой температуре пресс-формы.

2. Тип и размер изделия.

В зависимости от толщины стенки и соотношения высоты к толщине следует придерживаться следующих правил с учетом коэффициента B (формула (3.50)):

- маленькая толщина стенки \rightarrow высокое усилие прессования \rightarrow высокая температура пресс-формы ($h_{\min} \rightarrow F_{\max} \rightarrow T_{n. \max}$);
- большая толщина стенки \rightarrow низкое усилие прессования \rightarrow низкая температура пресс-формы ($h_{\max} \rightarrow F_{\min} \rightarrow T_{n. \min}$);
- большое значение соотношения высоты стенки к ее толщине \rightarrow высокое усилие прессования \rightarrow низкая температура пресс-формы ($H/h_{\max} \rightarrow F_{\max} \rightarrow T_{n. \max}$);
- небольшое значение соотношения высоты стенки к ее толщине \rightarrow низкое усилие прессования ($H/h_{\min} \rightarrow F_{\min}$).

В данном случае температура пресс-формы зависит от толщины стенки изделия $T_n = f(h)$. С изменением H/h изменяется величина коэффициента B в уравнении (3.50) при расчете усилия прессования: чем больше H/h , в большей степени возрастает коэффициент B .

При выборе зависимой от толщины стенки температуры пресс-формы необходимо учитывать теплоту экзотермической реакции отверждения. Тепловой эффект экзотермической реакции тем сильнее сказывается на выборе температуре пресс-формы, чем больше толщина стенки изделия и чем быстрее протекает реакция отверждения, чем меньше степень предварительной поликонденсации термореактивного связующего пресс-материала.

Перегрев толстостенных изделий (с толщиной стенки более 10 мм) может привести к резкому возрастанию внутренних остаточных напряжений и даже к разложению перерабатываемого материала внутри изделия, поэтому толстостенные изделия следует отверждать медленно и при низких температурах или применять ступенчатый температурный режим, как при прессовании слоистых пластиков (см. рис. 3.47).

Представленная на рисунке 3.51 термограмма отверждения при прессовании стекловолокнутого пресс-материала АГ-4В на основе модифицированного фенолоформальдегидного связующего показывает наличие большого температурного градиента в 30 °С между температурой пресс-формы и в центре пресс-изделия.

Наибольшие тепловые эффекты имеют место при прессовании изделий из реактопластов на основе эпоксидных связующих и ненасыщенных полиэфиров – температурные градиенты могут превышать 100 °С.

Необходимо учитывать, что крупногабаритные изделия для сохранения текучести в период замыкания пресс-формы следует прессовать при пониженных температурах.

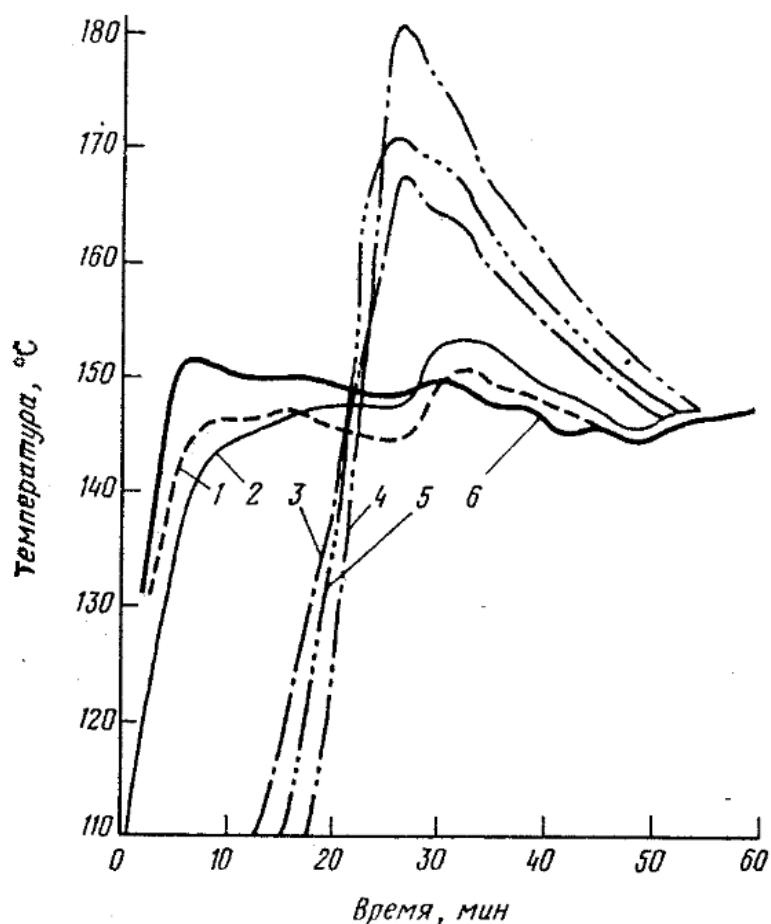


Рис. 3.51. Изменение температуры и пресс-материала АГ-4В в процессе прессования: 1 – температура матрицы; 2 – температура на границе материал-формы; 3 – температура материала на глубине 0,25Н (толщины образца); 4 – температура в центре образца 0,5Н; 5 – температура на уровне 0,75Н; 6 – температура пуансона; образец Ø 110 × 41 мм

Все же какие значения температуры прессования являются отправной точкой при выборе пресс-формы в зависимости от выше указанных факторов? Для многих видов пресс-материалов на основе фенолоформальдегидных, эпоксидных, кремнийорганических связующих и аминопластов такой температурой является температура $155 \pm 5^\circ\text{C}$, у пресс-материалов на основе модифицированных данных связующих – $145 \pm 5^\circ\text{C}$. Эти температуры приняты за температуры стандартных испытаний при входном контроле пресс-материалов T_0 , при которых прессуются образцы для определения основных физико-механических и технологических свойств.

При прессовании крупногабаритных изделий T_n снижают до 140 ± 5 °С. Когда прессуются тонкостенные изделия (менее 6 мм), то T_n поднимают до 170–190 °С. В литературе приведены T_n для каждой конкретной марки пресс-материала.

3.13.4. Расчет времени выдержки

Время выдержки под давлением – время, исчисляемое с момента полного смыкания пуансона и матрицы пресс-формы с находящимся в ней пресс-материалом до момента ее раскрытия, т. е. время, в течение которого материал находится под давлением в форме. Время выдержки определяет степень отверждения и влияет на качество пресс-изделий и производительность пресса.

До середины 60-х годов прошлого столетия применялся простой стандартный метод определения выдержки – определение произведения удельной выдержки на толщину изделия, с:

$$\tau_{\epsilon} = \tau_{\text{уд.}\epsilon} h, \quad (3.58)$$

где $\tau_{\text{уд.}\epsilon}$ – удельное время выдержки, определяемое при прессовании стандартного стаканчика (см. рис. 3.33), мин/мм;

$$\tau_{\text{уд.}\epsilon} = \tau_{\epsilon, \text{см}} / h_{\text{см}}, \quad (3.59)$$

где $\tau_{\epsilon, \text{см}}$ – время выдержки стандартного стаканчика, с;

$h_{\text{см}}$ – толщина стенки прессуемого изделия, мм.

Но такой упрощенный подход не учитывал тепловые и химические процессы при отверждении, теплофизические и технологические свойства пресс-материала, геометрическую форму прессуемого изделия.

Основой для расчета времени выдержки является система дифференциальных уравнений (3.2.2), исходя из которой время выдержки является функцией следующих параметров:

$$\tau_{\epsilon} = f[h, \beta, a, T_n, T_n, Q_{\epsilon}, \tau_0(T_0, U)], \quad (3.60)$$

где h – толщина стенки прессуемого изделия, м;

β – коэффициент формы изделия;

a – коэффициент температуропроводности;

T_n – начальная температура пресс-материала, °С;

T_n – температура прессования, °С;

Q_3 – тепло экзотермической реакции, Дж;
 τ_0 – время отверждения материала при температуре стандартных испытаний T_0 , с;
 U – кажущаяся энергия активации процесса отверждения, Дж.

На основании системы дифференциальных уравнений (3.2) время выдержки складывается из времени разогрева материала в пресс-форме до температуры отверждения и времени его отверждения, с:

$$\tau_{\text{с}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{отв}}. \quad (3.61)$$

Н. Ф. Канавцом была предложена следующая методика расчета времени выдержки. Время нагрева $\tau_{\text{н}}$ рассчитывается как время нагрева материала до температуры прессования, а время отверждения $\tau_{\text{отв}}$ – как время отверждения, определенное разработанным им пластометрическим методом с введением температурных коэффициентов.

Данные коэффициенты учитывают влияние температуры прессования $T_{\text{н}}$ на время отверждения τ_0 , определенное при температуре стандартных испытаний T_0 . Н. Ф. Канавец первый обосновал, что время нагрева материала является не функцией толщины изделия, а квадрата толщины. На основании такого подхода им была предложена формула расчета времени при прессовании изделий из фено- и аминопластов. В дальнейшем его формула была уточнена его учениками путем введения дополнительных поправочных коэффициентов. Эти формулы приведены во многих учебниках и монографиях, где рассматривается технология прессования реактопластов:

$$\tau_{\text{с}} = \frac{h^2}{4K_2a} \ln \left(K_1 \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{н}}}{T_{\text{н}} - T_i} \right) + v(\tau_0 - \tau_{\text{н.о.н}}) e^{[\gamma(T_0 - T_{\text{н}} + 4)]}, \quad (3.62)$$

где K_2 и K_1 – коэффициенты формы изделия, учитывающие скорость нагрева;

T_i – температура в центре изделия при его прогреве до температуры $T_{\text{н}}$, °С; обычно $T_i = T_{\text{н}} - (2-4)$ °С;

v – коэффициент, учитывающий предварительный подогрев пресс-материала на скорость нагрева;

$\tau_{\text{н.о.н}}$ – время нагрева образца пластомера до температуры T_0 , с;

γ – температурный коэффициент, учитывающий влияние температуры прессования на скорость отверждения.

Недостаток такого подхода заключается в том, что:

1) предложенные формулы (3.61) не учитывают того фактора, что пресс-материал начинает отверждаться не после его прогрева до температуры прессования T_n , а раньше – после достижения им температуры начала интенсивного отверждения T_1 . Не учитывается неизотермическое отверждение пресс-материала при его нагреве от T_1 до T_n ;

2) не учитывается в полной мере влияния тепла экзотермической реакции отверждения на процессы нагрева и отверждения.

Методика Н. Ф. Канавца применима при прессовании тонкостенных изделий из фенопластов толщиной до 6 мм. При прессовании таких изделий время нагрева τ_n намного меньше времени отверждения $\tau_{отв}$. С дальнейшим увеличением толщины изделия время нагрева значительно превышает время отверждения.

Учитывая выше указанные недостатки такого подхода к расчету времени выдержки, было предложено, исходя из системы дифференциальных уравнений (3.2), время выдержки представлять как сумму времени нагрева пресс-материала до температуры начала интенсивного отверждения и времени неизотермического отверждения:

$$\tau_{\text{с}} = \tau_1 + \int_{\tau_1}^{\tau_{отв}} e^{-U/RT(\tau)} d\tau, \quad (3.63)$$

где τ_1 – время нагрева пресс-материала до температуры начала интенсивного отверждения T_1 , определяемое из уравнения нестационарной теплопроводности (первое уравнение в системе 3.2), с:

$$\tau_1 = \frac{h^2}{4K_2a} \ln \left(K_1 \frac{T_n - T_n}{T_n - T_1} \right) = \frac{h^2 Fo_1}{4a}, \quad (3.64)$$

где Fo_1 – критерий Фурье, который является функцией коэффициентов формы изделия K_1 и K_2 (пластины, бруска, цилиндра, шара) и относительной температуры:

$$Fo_1 = f \left(\frac{T_n - T_1}{T_n - T_n} \right). \quad (3.65)$$

Критерий Фурье определяют по графической зависимости от относительной температуры (рис. 3.52).

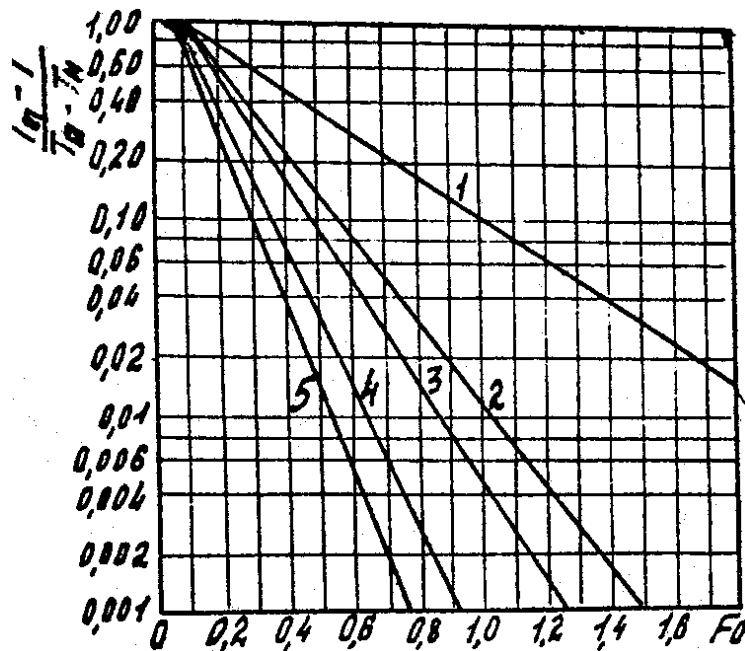


Рис. 3.52. Температурная функция критерия Фурье середины нагреваемых тел различной формы при контактной теплопередаче:
1 – плиты; 2 – стержня квадратного сечения; 3 – цилиндра неограниченной длины; 4 – цилиндра с высотой, равной диаметру; 5 – шара

Время отверждения пресс-материала определяется исходя из того, что

$$\int_{\tau_1}^{\tau_{ome}} e^{-U/RT(\tau)} d\tau = \text{const}, \quad (3.66)$$

независимо от температурного режима отверждения $T(\tau)$, при достижении необходимой степени отверждения.

Зная время отверждения пресс-материала τ_0 при T_0 , можно записать:

$$\tau_0 e^{-U/RT_0} = \int_{\tau_1}^{\tau_{1-n}} e^{-U/RT(\tau)} d\tau + \tau_n e^{-U/RT_n}, \quad (3.67)$$

где τ_{1-n} – время неізотермического отверждения пресс-материала, равное времени нагрева от T_1 до T_n , с;

τ_n – время доотверждения при постоянной температуре прес-сования T_n , с.

На основании равенства (3.67) находим, ...:

$$\tau_n = \tau_0 e^{-\frac{U}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_n}\right)} - \int_{\tau_1}^{\tau_{1-g}} e^{-U/RT(\tau)} d\tau. \quad (3.68)$$

Закон изменения температуры $T(\tau)$ в интервале от T_1 до T_n можно заменить на среднеинтегральную температуру:

$$\bar{T}_{1-n} = K T_n. \quad (3.69)$$

Опуская выводы формул определения \bar{T}_{1-n} и K , конечная формула расчета времени выдержки с учетом неизотермического характера отверждения пресс-материалов, отверждающихся без выделения экзотермического тепла, имеет вид:

$$\tau_g = \frac{h^2 Fo_1}{4a} + \frac{h^2 Fo_2}{4a} \left[1 - e^{-\frac{U}{RT_n}\left(\frac{1}{K} - 1\right)} \right] + \tau_0 e^{-\frac{U}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_n}\right)}, \quad (3.70)$$

где Fo_2 – критерий Фурье нагрева пресс-материала от T_1 до T_n :

$$Fo_2 = f\left(\frac{T_n - T_i}{T_n - T_1}\right) = f\left(\frac{2}{T_n - T_1}\right). \quad (3.71)$$

Зависимость коэффициента K от T_n представлена на рисунке 3.53.

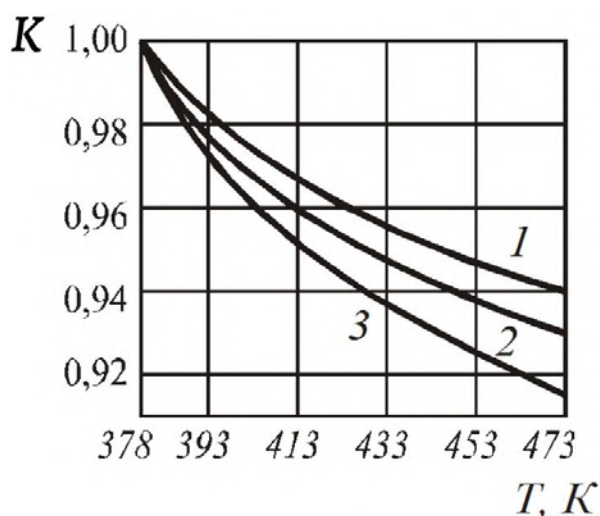


Рис. 3.53. Зависимость коэффициента K , определяющего неизотермический характер процесса отверждения, от температуры прессования для тел различной формы:
1 – плиты; 2 – цилиндра неограниченной длины; 3 – шара

Расчет времени выдержки при прессовании толстостенных изделий из реактопластов с учетом экзотермического тепла отверждения

При прессовании толстостенных изделий (с толщиной стенки > 10 мм) из реактопластов, отверждающихся с выделением экзотермического тепла (см. рис. 3.51), расчет времени выдержки необходимо вести с учетом этого фактора. Поскольку в этом случае для каждого конкретного изделия закон изменения температуры $T(\tau)$ в уравнении (3.63) неизвестен, то расчет времени отверждения материалов, отверждающихся с выделением экзотермического тепла можно осуществить на основе нестационарной теплопроводности с фронтом превращения вещества:

$$\frac{dT}{dx} = -q_x(\tau) \frac{1}{\lambda}, \quad (3.72)$$

где $q_x(\tau)$ – удельный поток тепла, отводимый от фронта превращения (отверждения) к поверхности изделия в момент времени τ , Вт/м²;

λ – коэффициент теплопроводности.

На основании данного теоретического подхода, путем введения критериев подобия предложена формула расчета времени выдержки, с:

$$\tau_{\theta(x)} = \frac{Fo_{1(x)}}{Fo_{1(o)}} \left(\frac{h_x}{h_o} \right)^2 \tau_{n(0)} + \frac{\gamma}{\beta} \frac{h_x}{h_o} \tau_{o(0)}, \quad (3.73)$$

где $Fo_{1(0)}$ и $Fo_{1(x)}$ – соответственно критерии Фурье нагрева образца и изделия до температуры начала интенсивного отверждения T_1 (3.65);

h_o и h_x – соответственно толщина образца и изделия, м;

$\tau_{n(0)}$ – время нагрева образца до температуры T_1 , с;

γ – температурный коэффициент, учитывающий температуру прессования и тепло экзотермической реакции отверждения;

β – коэффициент, учитывающий форму изделия;

$\tau_{o(0)}$ – время отверждения образца в неизотермических условиях, с.

Для определения $\tau_{n(0)}$ и $\tau_{o(0)}$ предварительно необходимо снять термограмму отверждения на образце толщиной h_o при температуре $T_{n(0)}$ (рис. 3.55).

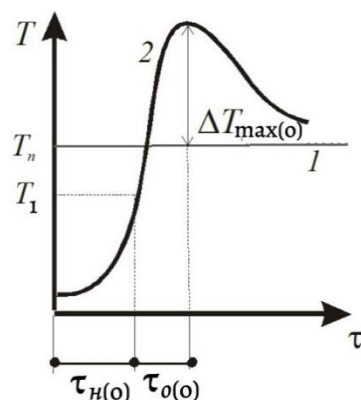


Рис. 3.55. Схема определения времени нагрева $\tau_{n(o)}$ и отверждения $\tau_{o(o)}$ по термограмме процесса отверждения пресс-материала, отверждающегося с выделением тепла:
1 – температура пресс-формы; 2 – температура в центре образца

Зависимость коэффициента γ от температуры представлена на (рис. 3.56).

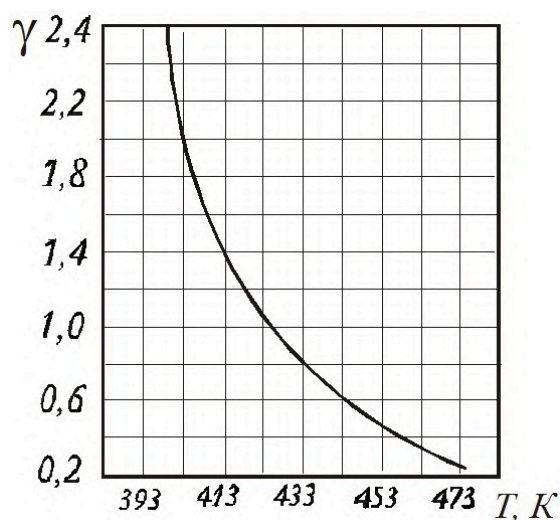


Рис. 3.56. Зависимость температурного коэффициента γ от температуры прессования

Расчет времени выдержки при ступенчатом температурном режиме прессования

Время выдержки при ступенчатом температурном режиме складывается из суммы времен (рис. 3.57), с:

$$\tau_{\text{с}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4, \quad (3.74)$$

где τ_1 – время нагрева материала до температуры начала интенсивного отверждения T_1 , с;

τ_2 – время нагрева материала до температуры прессования T_n , которое является временем отверждения материала в неизотермических условиях при изменении температуры в интервале $T_1 \rightarrow T_n$ до промежуточной степени отверждения, с;

τ_3 – время отверждения материала до оптимальной степени отверждения при T_n , с;

τ_4 – время охлаждения пресс-формы от температуры T_n до температуры распрессовки T_p , с.

Время нагрева τ_2 для реактопластов, отверждающихся без выделения тепла, складывается из времени его нагрева до температуры $T(\tau'_2)$ (рис. 3.57), которое соответствует времени разогрева пресс-формы от T_1 до T_n , и времени нагрева материала – от $T(\tau'_2)$ до T_n :

$$\tau_2 = \tau_2' + \tau_2'' \quad (3.75)$$

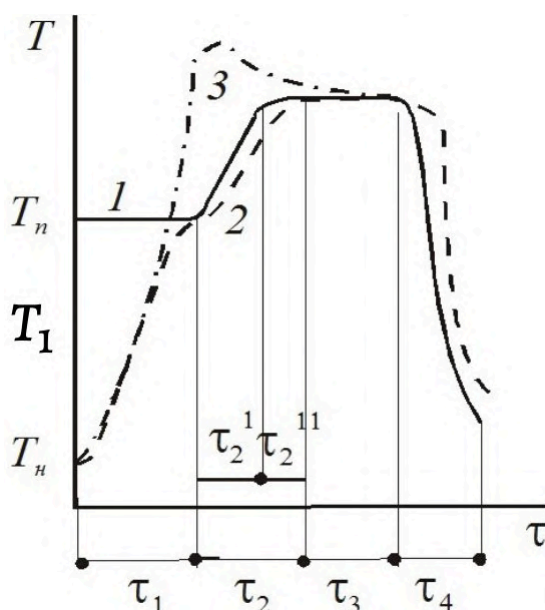


Рис. 3.57. Схема определения времени выдержки

при ступенчатом температурном режиме прессования:

1 – температура пресс-формы; 2 – температура материала, отверждающегося без выделения тепла; 3 – температура материала, отверждающегося с выделением экзотермического тепла

При прессовании же пресс-материалов, отверждающихся с выделением экзотермического тепла, за время τ_2 можно принять время τ_2 , так как в центре изделия материал прогревается быстрее чем в поверхностных слоях (рис. 3.57).

Расчет времени выдержки при ступенчатом температурном режиме прессования реактопластов, отверждающихся без выделения экзотермического тепла, имеет вид, с:

$$\tau_{\varepsilon} = \frac{h^2 Fo_1}{4a} + \frac{T_n - T_1}{b} + \left\{ \tau_0 e^{-\frac{U}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_n} \right)} - \frac{T_n}{b} \left[1 + \frac{bh^2 Fo_2}{4a(T_n - T_1)} \right] \times \right. \\ \left. \times \left[\frac{RT_n}{U} - 2 \left(\frac{RT_n}{U} \right)^2 \right] \right\} + \frac{T_n - T_p}{b_{охл}}, \quad (3.76)$$

где b – скорость разогрева пресс-формы от T_1 до T_n , град/с;

$b_{охл}$ – средняя скорость охлаждения пресс-формы от T_n до T_p , град/с.

$$Fo_1 = f \left(\frac{T_1 - T_i}{T_1 - T_n} \right) = f \left(\frac{2}{T_1 - T_n} \right), \quad (3.77)$$

$$Fo_2 = f \left(\frac{16a\beta}{bh^2} \right). \quad (3.78)$$

В зависимости от скорости нагрева b время отверждения τ_3 может оказаться при расчетах отрицательным. Это указывает на то, что при небольшой скорости нагрева пресс-формы b и высокой скорости отверждения (малой величине τ_0) отверждение заканчивается раньше времени нагрева изделия τ_2 до T_n .

Расчет времени выдержки при ступенчатом температурном режиме прессования реактопластов, отверждающихся с выделением экзотермического тепла, производится на основе следующей формулы:

$$\tau_{\varepsilon} = \frac{h^2 Fo_1}{4a} + \frac{T_n - T_1}{b} + \left\{ \tau_0 e^{-\frac{U}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_n} \right)} - \frac{T_n}{b} \left[\frac{RT_n}{U} - 2 \left(\frac{RT_n}{U} \right)^2 \right] \right\} + \\ + \frac{T_n - T_p}{b_{охл}}. \quad (3.79)$$

Расчет времени выдержки при литьевом прессовании

При литьевом прессовании материал загружается в загрузочную камеру и, пока происходит смыкание пресса, нагревается. При течении через литниковые каналы, соприкасаясь с горячими формующими поверхностями, прогрев материала продолжается. Кроме

того, температура повышается вследствие диссипации энергии вязкого течения. Это оценивается по формуле:

$$\Delta T = P_{л.н} / \rho c, \quad (3.80)$$

где ΔT – изменение (увеличение) температуры, °С;

$P_{л.н}$ – давление прессования;

c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С);

ρ – плотность материала, кг/м³.

Температура материала после заполнения формующей полости формы будет определяться как, °С:

$$T_3 = T_n + \Delta T. \quad (3.81)$$

До температуры T_3 прессуемый материал нагревается за время τ_n (с), в течение которого он течет из загрузочной камеры в формующую полость:

$$\tau_n = L / v_p, \quad (3.82)$$

где L – ход пуансона загрузочной камеры, м;

v_p – скорость рабочего хода пресса, м/сек.

Если температура T_3 будет намного меньше температуры начала интенсивного отверждения T_1 , то времени выдержки будет определяться по формуле (3.70).

В том случае, когда температура $T_3 \approx T_1$, сразу после заполнения формующей полости начинается процесс отверждения в неизотермических условиях. Тогда время выдержки можно оценить по уравнению:

$$\tau_g = \frac{h^2 Fo_2}{4a} \left[1 - e^{-\frac{U}{RT_n} \left(\frac{1}{K} - 1 \right)} \right] + \tau_0 e^{-\frac{U}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_n} \right)}. \quad (3.83)$$

Для расчета выдержки при литьевом формовании тонкостенных изделий из реактопластов (с $h < 6$ мм) используют те же положения, которые были изложены выше при прессовании. С учетом особенностей процесса формула (3.61) для времени выдержки при литьевом формовании записывается в виде:

$$\tau_g = \frac{h^2}{4K_2 a} \ln \left(K_1 \frac{T_n - T_n}{20} \right) + (\tau_0 - 10) e^{[\gamma(T_0 - T_n + 4)]}. \quad (3.84)$$

3.13.5. Дефекты пресс-изделий и способы их устранения

Чаще всего при прессовании встречаются такие дефекты, как недопрессовка, матовые поверхности, толстый облой, размерный брак и другие. Причины возникновения наиболее распространенных дефектов и способы их устранения приведены в таблице 3.1.

Данные дефекты могут быть обнаружены при внешнем осмотре пресс-изделия. Выявление размерного брака и брака по физико-механическим свойствам возможно лишь после тщательного измерения изделия и проведения лабораторных испытаний неразрушающими методами контроля.

Таблица 3.1

Виды брака при прессовании реактопластов,
причины и способы устранения

Вид брака	Причины	Способы устранения
Недопрессовка, заметная по верхнему краю изделия и на выступающих частях	Низкая текучесть пресс-материала, который не заполняет глубокие полости формы	Повысить температуру предварительного подогрева (для новолачных пресс-материалов); увеличить давление прессования (на прессах с индивидуальным приводом); заменить материал
Недопрессовка (в основном по верхнему краю)	Засорение направляющих втулок пресс-формы, что мешает ее полному замыканию. Преждевременное отверждение материала из-за слишком медленного смыкания формы	Прочистить втулки и регулярно продувать их в процессе работы. Увеличить скорость смыкания. Если это невозможно из-за конструкции детали, снизить температуру прессования или предварительного подогрева
Матовая поверхность, серый налет по всему изделию	Низкая температура прессования, материал плохо отверждается. Мала выдержка под давлением	Отрегулировать температуру пресс-формы. Увеличить выдержку под давлением
Матовость одних и тех же мест изделия	Износ хромового покрытия оформляющих деталей формы	Хромировать оформляющую поверхность

Окончание табл. 3.1

Вид брака	Причины	Способы устранения
Толстый грат	Велика навеска материала. Недостаточное давление прессования. Низкая текучесть материала	Уменьшить навеску. Повысить давление прессования или переставить форму на пресс с большим усилием. Заменить пресс-материал
Вздутия, пузыри на поверхности изделия	Повышенное содержание летучих веществ в материале. Высокая температура прессования, недостаточная выдержка под давлением	Увеличить высоту или количество подпрессовок, отрегулировать температуру пресс-формы. Увеличить выдержку под давлением
Коробление изделий	Неравномерная усадка материала при неодинаковой толщине изделия. Неравномерный нагрев оформляющих поверхностей пресс-формы при прессовании крупных изделий	Применять рихтовку. Пересмотреть мощность и расположение нагревателей пресс-формы
Посторонние включения	Плохая чистка пресс-формы. Нарушение условий хранения и транспортировки сырья	Улучшить чистку пресс-форм. Сменить сырье

Нарушение технологического режима (сокращение времени выдержки под давлением, нарушение температурного режима) может привести к получению пресс-изделий, годных по внешнему виду, однако недостаточно прочных, с низкими диэлектрическими свойствами и химической стойкостью, поэтому при прессовании изделий, особенно технического назначения, недопустимы никакие нарушения технологического режима.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значительная часть настоящего пособия посвящена истории полимерной отрасли. И этот исторический очерк показывает нам, как синтетические полимеры (и композиты на их основе) менее чем за 100 лет завоевали мир, обогнав по объемам производства традиционные материалы. Сегодня перед полимерной индустрией ставятся новые нетривиальные задачи, связанные с экологией, автоматизацией, повышением производительности предприятий и приданием специальных свойств полимерным материалам.

Для того чтобы решать подобные задачи, нужно в первую очередь овладеть базовыми знаниями в области переработки пластических масс. Надеемся, что данное пособие станет для обучающихся первым (но не последним!) шагом на пути к усвоению комплекса необходимых знаний, пониманию круга задач, стоящих перед специалистом-переработчиком пластмасс, и первичных навыков поиска решений этих задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оборудование для переработки пластмасс : справочное пособие / под ред. В. К. Завгороднего. – Москва : Машиностроение, 1976. – 407 с.
2. Бортников, В. Г. Производство изделий из пластических масс : учебное пособие для вузов в трех томах. Т. 3. Проектирование и расчет технологической оснастки. – Казань : Дом печати, 2004. – 311 с.
3. Техника переработки пластмасс / под ред. Н. И. Басова, В. Броя. Совместное издание СССР и ГДР (изд-во Дейтчер Ферлаг Фюр Грундштоффиндустри, г. Лейпгиг). – Москва : Химия, 1985.
4. Основы технологии переработки пластмасс : учебник для вузов / С. В. Власов, Э. Л. Калинин, Л. Б. Кандырин [и др.]. – Москва : Химия, 1995. – 528 с.
5. Бортников, В. Г. Производство изделий из пластических масс : учебное пособие для вузов в трех томах. Т. 2. Технология переработки пластических масс / В. Г. Бортников. – Казань : Дом печати, 2002. – 399 с.
6. Производство изделий из полимерных материалов : учебное пособие / В. К. Крыжановский, М. Л. Кербер, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматченко. – Санкт-Петербург : Профессия, 2004. – 464 с.

7. Шварц, О. Переработка пластмасс / О. Шварц, Ф.-В. Эбелинг, Б. Фурт ; под общ. ред. А. Д. Паниматченко. – Санкт-Петербург : Профессия, 2005. – 320 с.

8. Технические свойства полимерных материалов : учебно-справочное пособие / В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматченко, Ю. В. Крыжановская. – Санкт-Петербург : Профессия, 2003. – 240 с.

9. Справочник по технологии изделий из пластмасс / Г. В. Сагалаев, В. В. Абрамов, В. Н. Кулезнев, С. В. Власов [и др.]; под ред. Г. В. Сагалаева, В. В. Абрамова, В. Н. Кулезнева, С. В. Власова. – Москва : Химия, 2000. – 424 с.

10. Бортников, В. Г. Основы технологии переработки пластических масс : учебное пособие для вузов / В. Г. Бортников. – Ленинград : Химия, 1983. – 304 с.

11. Торнер, Р. В. Оборудование заводов по переработке пластмасс / Р. В. Торнер, М. С. Акутин. – Москва : Химия, 1986. – 400 с.

12. Басов, Н. И. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов / Н. И. Басов, Ю. В. Казанков, В. А. Любартович. – Москва : Химия, 1986. – 486 с.

13. Шембель, А. С. Сборник задач и проблемных ситуаций по технологии переработки пластмасс / А. С. Шембель, О. М. Антипина. – Ленинград : Химия, 1990. – 272 с.

14. Негодяев, Н. Д. Полимеры – химия и жизнь : краткий путеводитель по миру полимерных материалов / Н. Д. Негодяев, В. В. Глухих, А. И. Матерн. – Екатеринбург : УГТУ, 1996. – 162 с.

15. Основы полимерного материаловедения : учебное пособие / Н. Д. Негодяев, В. Г. Бурындин, В. В. Глухих, А. И. Матерн. – Екатеринбург : УГТУ, 1998. – 322 с.

16. Практикум по полимерному материаловедению / под ред. П. Г. Бабаевского. – Москва : Химия, 1980. – 256 с.

17. Технические свойства полимерных материалов : учебно-справочное пособие / В. К. Крыжановский, В. В. Бурлов, А. Д. Паниматченко, Ю. В. Крыжановская. – Санкт-Петербург : Профессия, 2003. – 240 с.

18. Макаров, В. Г. Промышленные термопласты : справочник / В. Г. Макаров, В. Б. Коптенармусов. – Москва : Химия; КолосС, 2003. – 208 с.

19. Калинин, Э. Л. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации пластмасс : справочник / Э. Л. Калинин, М. В. Саковцева. – Ленинград : Химия, 1987. – 416 с.

20. Каменков, Е. И. Применение пластических масс : справочник / Е. И. Каменков, Г. Д. Мясников, М. П. Платонов. – Ленинград : Химия, 1985. – 448 с.
21. Гуль, В. Е. Основы переработки пластмасс / В. Е. Гуль, М. С. Акутин. – Москва : Химия, 1985. – 400 с.
22. Сагалаев, Г. В. Основы технологии изделий из пластмасс : Цикл лекций в двух частях / Г. В. Сагалаев, В. М. Виноградов, Г. В. Комаров. – Москва : Химия, 2000. – 424 с.
23. Швецов, Г. А. Технология переработки пластических масс : учебник для техникумов / Г. А. Швецов, Д. У. Алимова, М. Д. Барышников. – Москва : Химия, 1988. – 512 с.
24. Гиберов, З. Г. Механическое оборудование заводов пластических масс : учебник для техникумов / З. Г. Гиберов. – Москва : Машиностроение, 1967. – 240 с.
25. Оленев, Б. А. Проектирование производств по переработке пластических масс / Б. А. Оленев, Е. М. Мордкович, В. Ф. Калошин. – Москва : Химия, 1982. – 256 с.
26. Ставров, В. П. Технологические испытания реактопластов / В. П. Ставров, В. Г. Дедюхин, А. Д. Соколов. – Москва : Химия, 1981. – 248 с.
27. Руководство для эффективного литья пластмасс под давлением / сост. Э. Л. Калинин, М. Б. Саковцева. – Москва : Полипластик, 1997. – 183 с.
28. Бернхард, Э. Переработка термопластичных материалов / Э. Бернхард. – Москва : Химия, 1965. – 748 с.
29. Лапшин, В. В. Основы переработки термопластов литьем под давлением / В. В. Лапшин. – Москва : Химия, 1974. – 270 с.
30. Филатов, В. И. Технологическая подготовка производства пластмассовых изделий / В. И. Филатов. – Ленинград : Машиностроение, 1976. – 272 с.
31. Фридман, М. Л. Технология переработки кристаллических полиолефинов / М. Л. Фридман. – Москва : Химия, 1977. – 400 с.
32. Современные композиционные материалы / под ред. Л. Браутмана, Р. Крока; пер. с англ. – Москва : Мир, 1970. – 525 с.
33. Принципы создания композиционных полимерных материалов / А. А. Берлин, С. А. Вольфсон, В. Г. Ошмян, Н. С. Ениколопов. – Москва : Химия, 1990. – 240 с.
34. Наполнители для полимерных композиционных материалов : справочное пособие / под ред. Г. С. Каца, Д. В. Милевски. – Москва : Химия, 1981. – 632 с.

35. Пластики конструкционного назначения (реактопласты) / под ред. Е. Б. Тростянской. – Москва : Химия, 1974. – 304 с.
36. Конструкционные стеклопластики / В. И. Альперин, Н. В. Корольков, А. В. Мотавкин [и др.]. – Москва : Химия, 1979. – 360 с.
37. Полимерные композиционные материалы – Текст : непосредственный // ЖВХО им. Д. И. Менделеева. – Т. 34. В. 5. – 1989. – 144 с.
38. Тростянская, Е. Б. Термопласты конструкционного назначения / Е. Б. Тростянская. – Москва : Химия, 1975. – 239 с.
39. Дедюхин, В. Г. Прессованные стеклопластики / В. Г. Дедюхин, В. П. Ставров. – Москва : Химия, 1976. – 272 с.
40. Андреевская, Г. Д. Высокопрочные ориентированные стеклопластики / Г. Д. Андреевская. – Москва : Наука, 1966. – 370 с.
41. Ставров, В. П. Формообразование изделий из композиционных материалов : учебное пособие для студентов специальностей «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов», «Оборудование и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов» / В. П. Ставров. – Минск : БГТУ, 2006. – 482 с.
42. Киселев, Б. А. Стеклопластики / Б. А. Киселев. – Москва : Химия, 1961. – 240 с.
43. Практикум по технологии переработки пластических масс / под ред. В. М. Виноградова, Г. С. Головкина. – Москва : Химия, 1980.
44. Шишкина, Е. Е. Энергосберегающая технология конвективной сушки пиломатериалов на основе управляемого влагопереноса в древесине : дис. ... на соискание ученой степени д-ра техн. наук / Елена Евгеньевна Шишкина. – Екатеринбург. – 2016.
45. Серговский, П. С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины / П. С. Серговский. – Москва : Лесн. пром-сть, 1975.
46. Справочник по сушке древесины / Е. С. Богданов, В. А. Козлов, В. Б. Кунтыш, В. И. Мелехов; под ред. Е. С. Богданова. – 4-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Лесн. пром-сть, 1990.
47. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. – Архангельск : ЦНИИМОД, 1985.
48. Гороховский, А. Г. Качество сушки пиломатериалов : учебное пособие / А. Г. Гороховский, Е. Е. Шишкина. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008.

Учебное издание

*Шкуро Алексей Евгеньевич
Шишлов Олег Федорович
Савиновских Андрей Викторович*

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

ISBN 978-5-94984-747-3



Редактор К. В. Смирнова
Оператор компьютерной верстки Т. В. Упова

Подписано в печать 03.06.2020

Формат 60 × 84/16

Уч.-изд. л. 7,9

Усл. печ. л. 9,07

Тираж 300 экз. (1-й завод 35 экз.)

Заказ №

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37
Тел.: 8 (343) 262-96-10. Редакционно-издательский отдел

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ»
620062, РФ, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2
Тел.: 8 (343) 362-91-16