

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ПРЕССОВАНИЯ РЕАКТОПЛАСТОВ**

Учебно-методическое пособие

Екатеринбург  
УГЛТУ  
2024

УДК 678-419:004.925.84

ББК 35.710.5

М92

Рецензенты:

кафедра химии и процессов горения Уральского института ГПС МЧС, доцент, канд. хим. наук *А. В. Кокшаров*;

*О. С. Ельцов*, канд. хим. наук, зав. лабораторией «Комплексных исследований и экспертной оценки органических материалов» ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

Авторы: Н. М. Мухин, А. Е. Шкуро, А. В. Артемов, О. Ф. Шишлов

**Мухин, Николай Михайлович.**

М92 Определение и оптимизация технологических параметров прессования реактопластов : учебно-методическое пособие / Н. М. Мухин, А. Е. Шкуро, А. В. Артемов, О. Ф. Шишлов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2024. – 70 с.

ISBN 978-5-94984-925-5

В учебно-методическом пособии рассматриваются теоретические основы процесса прессования реактопластов. Описывается влияние различных факторов на процесс прессования, а также методы оптимизации технологических параметров. Приводится подробная инструкция по использованию лабораторного гидравлического пресса, а также список вопросов для подготовки к коллоквиумам по теме «Прессование».

Предназначено для обучающихся, осваивающих образовательные программы по направлению «Химическая технология», а также для специалистов, работающих в области производства изделий из реактопластов.

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

УДК 678-419:004.925.84

ББК 35.710.5

ISBN 978-5-94984-925-5

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет, 2024

## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Теоретические основы метода прессования .....</b>	<b>7</b>
1.1. Принцип формования изделий методом прессования .....	7
1.2. Физико-химические основы формования изделий из реактопластов методом прессования .....	10
1.3. Конструкции и классификации прессов .....	16
1.4. Конструкционная классификация гидравлических прессов .....	20
1.5. Общее устройство и работа гидравлического пресса .....	20
1.6. Прессы специального назначения .....	23
1.7. Автоматизированные прессовые комплексы .....	29
1.8. Технологический расчет пресса .....	35
<b>2. Типовая последовательность технологических операций прессования изделий из реактопластов.....</b>	<b>37</b>
<b>3. Режимы прессования.....</b>	<b>39</b>
3.1. Давление прессования .....	39
3.2. Температура прессования .....	40
3.3. Время выдержки под давлением .....	41
<b>4. Определение технологических свойств реактопластов .....</b>	<b>42</b>
4.1. Определение содержания влаги и летучих веществ .....	42
4.2. Определение насыпной плотности и удельного объема пресс-порошков.....	43
4.3. Определение таблетуемости пресс-материалов .....	43
4.4. Определение текучести по Рашигу .....	44
4.5. Определение текучести и предела текучести, скорости отверждения по методу деформирования диска .....	45
<b>5. Определение физико-механических свойств реактопластов.....</b>	<b>49</b>
5.1. Определение плотности материала в пресс-изделии гидростатическим взвешиванием.....	49

5.2. Определение водопоглощения .....	50
5.3. Определение разрушающего напряжения при статическом изгибе .....	51
5.4. Определение модуля упругости при изгибе диска из изотропного материала .....	52
<b>Задания для самостоятельных работ .....</b>	<b>54</b>
Задание 1. Оптимизация режимов таблетирования пресс-материалов ....	54
Задание 2. Оптимизация режимов предварительного подогрева и температуры прессования пресс-материалов.....	55
Задание 3. Оптимизация температурно-временных режимов прессования пресс-материалов .....	56
<b>Список использованных источников .....</b>	<b>57</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....</b>	<b>58</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....</b>	<b>68</b>

## Введение

При прессовании изделий из реактопластов материал в виде порошка, волокнистой массы, подогретых или неподогретых (комнатной температуры) таблеток, испытывая давление от усилия главного цилиндра гидравлического пресса через пуансон пресс-формы, размягчается и пластифицируется за счет теплоотдачи от нагретой поверхности формующей полости пресс-формы, уплотняется, заполняет всю полость и отверждается. Прямое прессование простых по конфигурации изделий в основном связано с закономерностями уплотнения пресс-материала. При прессовании сложных изделий, кроме уплотнения в полости пресс-формы, возникает движение массы, ее растекание. При литьевом прессовании реактопластов сначала пластифицированная в передаточной камере масса протекает через литниковые каналы, а затем уже в форме материал уплотняется и отверждается. Такая последовательность процессов характерна для литьевого прессования изделий любой степени сложности.

При прессовании реактопластов можно условно выделить три различных физических состояния пресс-материала:

- исходное сырье – порошок, рыхлая (волокнистая) масса или твердое тело (в виде сжатой таблетированной массы);
- пластичное тело – вязкотекучее состояние;
- твердое тело – отпрессованное изделие.

*Прессование реактопластов* – это нестационарный термо- и гидродинамический процесс в сплошной среде, сопровождаемый химическими превращениями при отверждении материала. Изменение состояния пресс-материала при переработке связано не только с отверждением термореактивного связующего, но и взаимодействием системы полимерная матрица – наполнитель (всей пластифицированной массы).

Качество пресс-изделий из реактопластов определяют не только эксплуатационные (физико-механические) свойства отвержденного материала, но и технологические свойства исходного пресс-материала. Технологические свойства характеризуют состав и условия переработки реактопласта при формовании изделий. Показатели свойств определяют в соответствии с ГОСТ или ТУ на пресс-материал.

# 1

## Теоретические основы метода 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. Основным формующим инструментом – пресс-форма, давление в которой создается прессом.

### 1.1. Принцип формования изделий методом прессования

Если формуемый материал способен к пластической деформации без нагревания, то прессование производится в холодной форме и называется *холодным прессованием*. При холодном прессовании 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. 1.1).

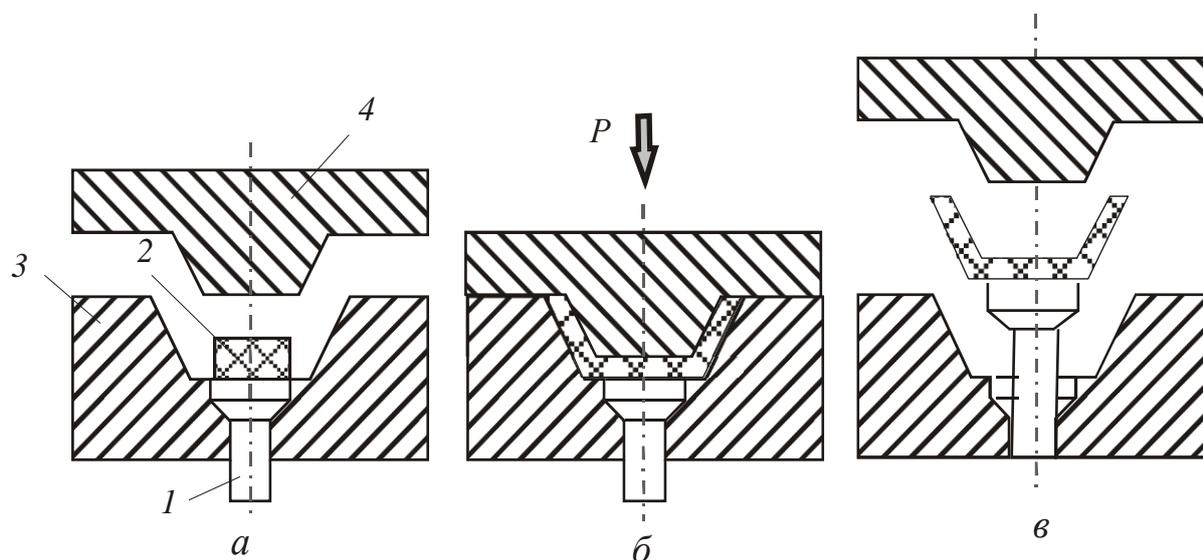


Рис. 1.1. Схема изготовления изделий методом прямого прессования:  
 а – загрузка пресс-материала; б – смыкание формы;  
 в – раскрытие формы и извлечение готового изделия;  
 1 – выталкиватель; 2 – пресс-материал; 3 – матрица; 4 – пуансон

При формировании изделий сложной конструкции, имеющих малую толщину стенки и большую высоту либо 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 (литники).

Этим методом перерабатываются быстро отверждающиеся реактопласты, а также высоковязкие и высоконаполненные термопласты. Литье-вое 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.

Схемы двух способов литьевого прессования представлены на рис. 1.2 и 1.3.

Рис. 1.2. 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

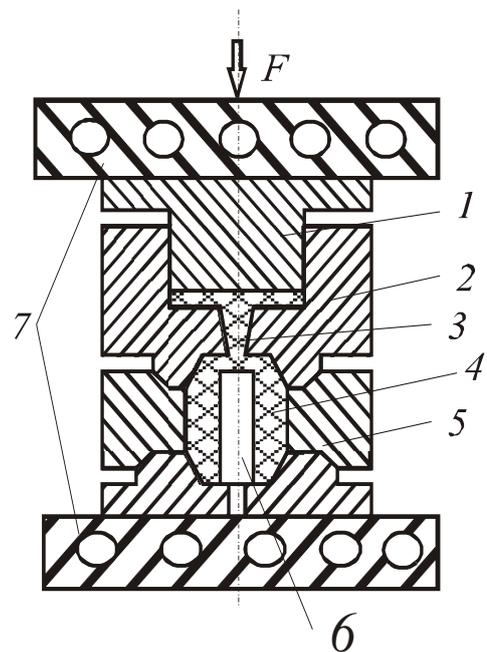
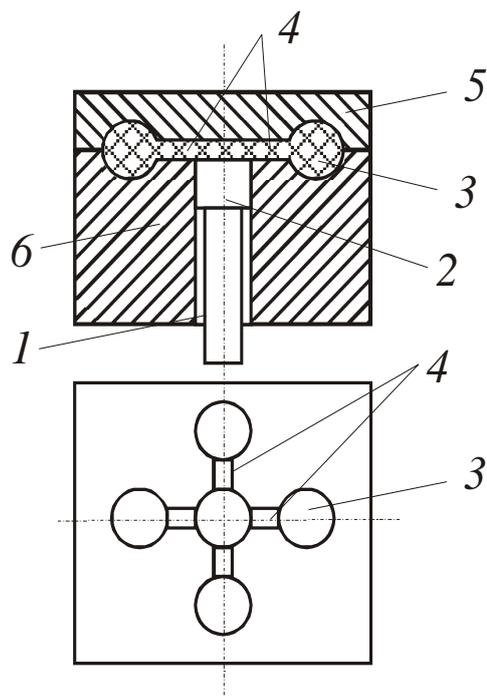


Рис. 1.3. Схема трансферного прессования с нижней загрузочной камерой:  
 1 – загрузочная (литьевая) камера;  
 2 – нижний рабочий плунжер; 3 – гнезда пресс-формы (изделия); 4 – разводящие (литниковые) каналы; 5 – пуансон;  
 6 – матрица



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. 1.4).

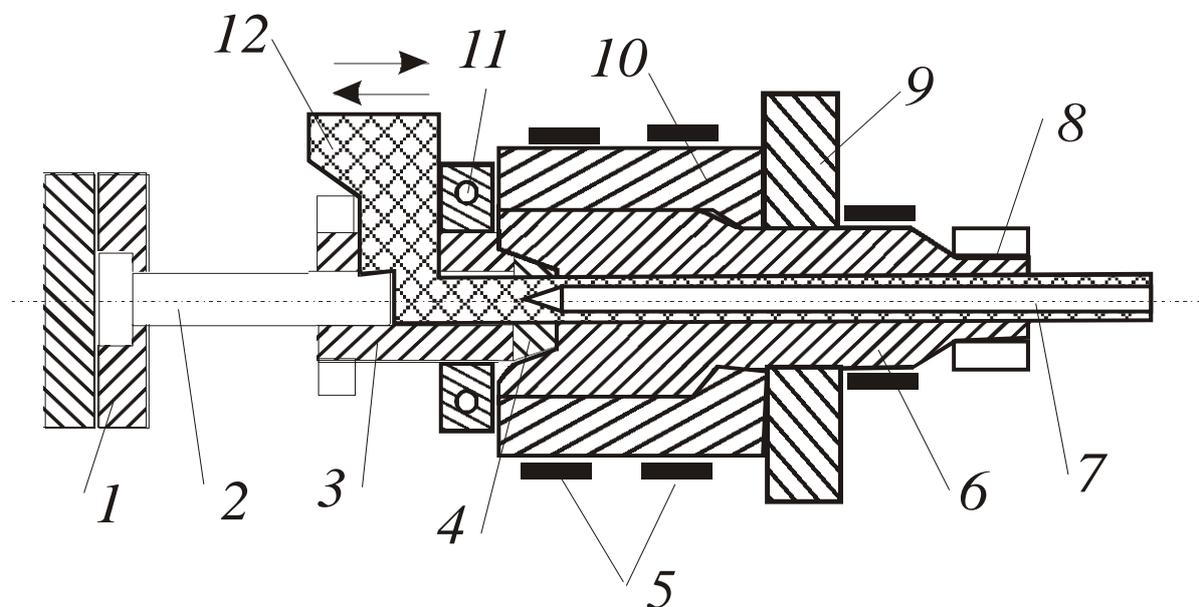


Рис. 1.4. Схема пресс-формы для профильного (штранг-) прессования:  
 1 – фланец крепления плунжера; 2 – плунжер; 3 – загрузочная камера;  
 4 – дорнодержатель; 5 – обогрев электрический; 6 – матрица; 7 – дорн;  
 8 – мундштук; 9 – фланец; 10 – обойма; 11 – каналы охлаждения;  
 12 – загрузочный бункер

Пуансон пресс-формы связан с плунжером горизонтального пресса и совершает возвратно-поступательные движения. Штранг-прессованием получают изделия большой протяженности профильной формы из высоконаполненных пресс-порошков и волокнитов.

## 1.2. 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 формующую 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. 1.5):

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

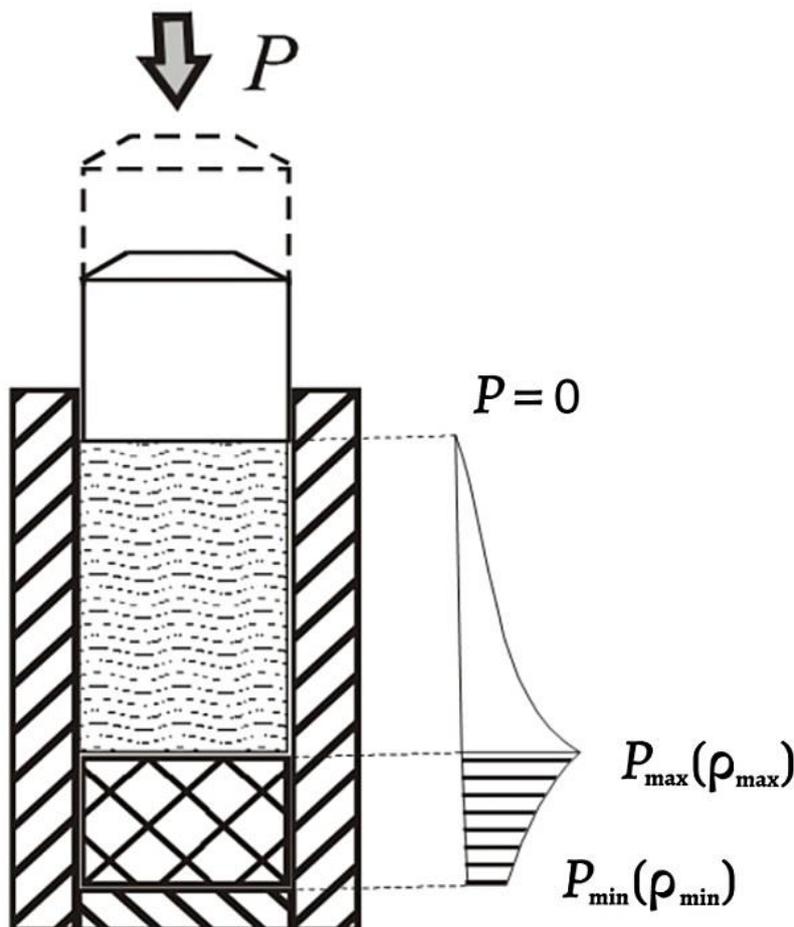


Рис. 1.5. Эпюры распределения давления при смыкании пресс-формы

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:

$$\rho = P/RT(A + BP), \quad (1.1)$$

где  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  
 $P$  – давление прессования, Па;  
 $R$  – универсальная газовая постоянная;  
 $T$  – температура прессования, °К  
 $A$  и  $B$  – постоянные коэффициенты.

Течение платинированного 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. 1.6).

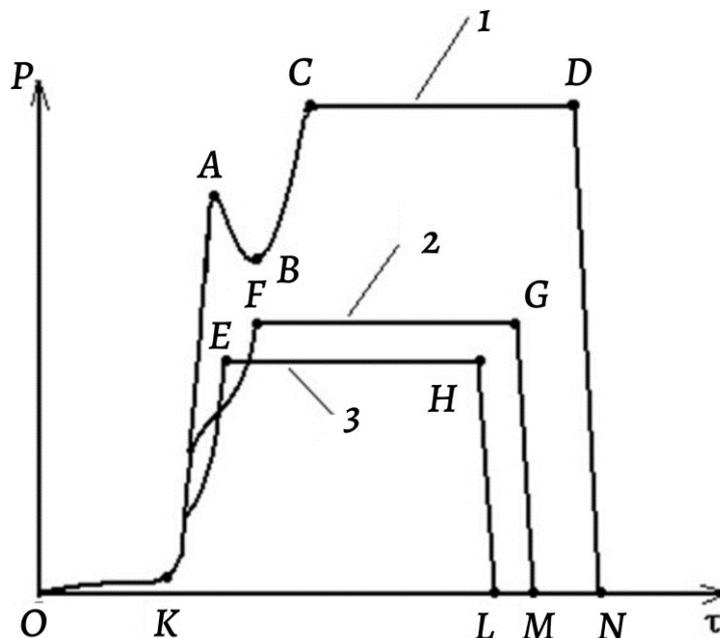


Рис. 1.6. Распределение давления в пресс-материале при прессовании реактопластов: 1 – предварительно не нагретый материал; 2 – материал, нагретый в ГТВЧ; 3 – материал, пластицированный в шнековом (червячном) пластикаторе;  $OK$  – начальный период смыкания пресс-формы;  $KABC$ ,  $KF$ ,  $KE$  – окончательное смыкание формы;  $CD$ ,  $FG$ ,  $EH$  – отверждение материала в замкнутой форме;  $DN$ ,  $GM$ ,  $HL$  – размыкание формы;  $AB$  – растекание материала в полости формы;  $BC$  – замыкание формы

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

Участок  $KABC$  – окончательное смыкание пресс-формы. На отрезке  $AB$  давление снижается из-за растекания материала по всей формующей полости. Точка  $B$  соответствует началу отверждения материала. Последний подъем давления (отрезок  $BC$ ) 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 током высокой частоты (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.

### 1.3. Теплохимические процессы отверждения реактопластов при прессовании

Процесс нагрева пресс-материала от формующих поверхностей матрицы и пуансона (*теплопередача*) – физический процесс (рис. 1.7), т. е. материал разогревается от начальной температуры  $T_n$  и переходит в вязко-текучее состояние. Затем химический процесс 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 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. 1.7, а).

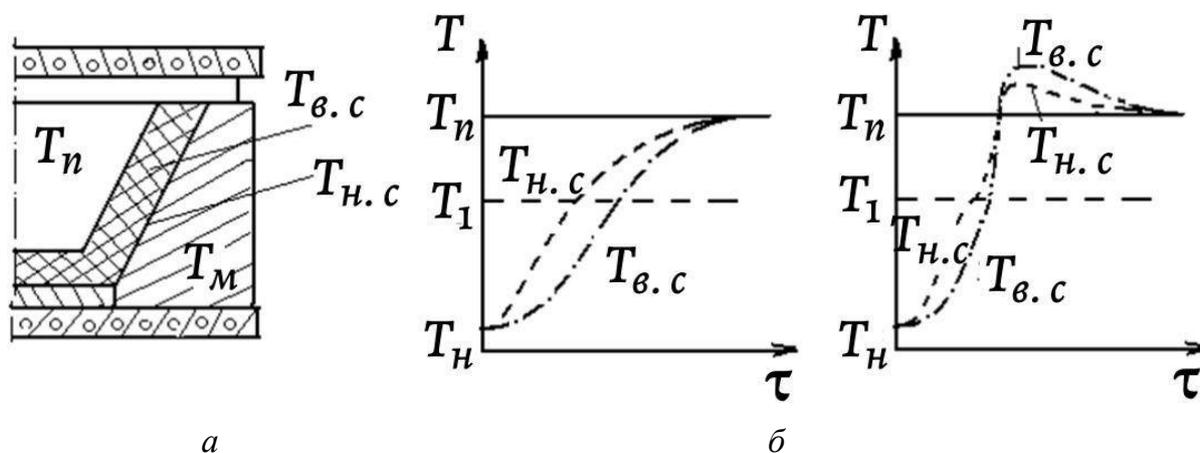


Рис. 1.7. Термограммы процесса отверждения реактопластов:  
 а – отверждающиеся без выделения экзотермического тепла;  
 б – отверждающиеся с выделением экзотермического тепла;  $T_n$  – начальная температура пресс-материала;  $T_n$  – температура прессования (пресс-формы);  
 $T_1$  – температура начала 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. Сначала 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: нагрев от  $T_1$  до  $T_n$  и отверждение 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 выделением экзотермического тепла (на основе ФФО, ЭС, НПС и их модификаций), термограмма процесса отверждения имеет следующий вид (см. рис. 1.7, б). До температуры начала интенсивного отверждения  $T_1$  нагрев материала происходит так же, как и в первом случае (см. рис. 1.7, 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  $\Delta T$  может превышать 200 °С. Из рис. 1.7, б следует, что процесс отверждения происходит в неизотермических условиях.

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \tau} &= a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{Q}{c\rho} \frac{\partial \alpha}{\partial \tau} \\ \frac{\partial \alpha}{\partial \tau} &= K_0 f(\alpha) e^{-\frac{U}{RT(\tau)}}, \end{aligned} \quad (1.2)$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с;

$Q$  – количество экзотермического тепла, кДж/кг;

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

$\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;

$\alpha$  – степень отверждения;

$\tau$  – 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,  $\tau_v$ ) 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:

$$\tau_v = f[h^2; a; \beta; T_n; T_n; \tau_0(T_0); Q; U], \quad (1.3)$$

где  $h$  – толщина изделия, м;

$\beta$  – коэффициент, определяющий скорость нагрева в зависимости от формы изделия;

$\tau_0$  – время отверждения материала при температуре стандартных испытаний  $T_0$ , с.

## 1.4. 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 и челюстные.

*Колонные прессы* бывают двух-, четырех- и многоколонными (рис. 1.8). *Рамные* (рис. 1.9) и *челюстные* (рис. 1.10) 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*, *коленно-рычажные*, *эксцентрикковые* и *ротационные*. Их целесообразно применять для из-

готовления мелких деталей при больших скоростях прессования, коротких выдержках и небольших усилиях прессования. В промышленности пластических масс механические прессы нашли наибольшее применение в таблетировании пресс-материалов, а также в конструкциях некоторых пресс-автоматов.

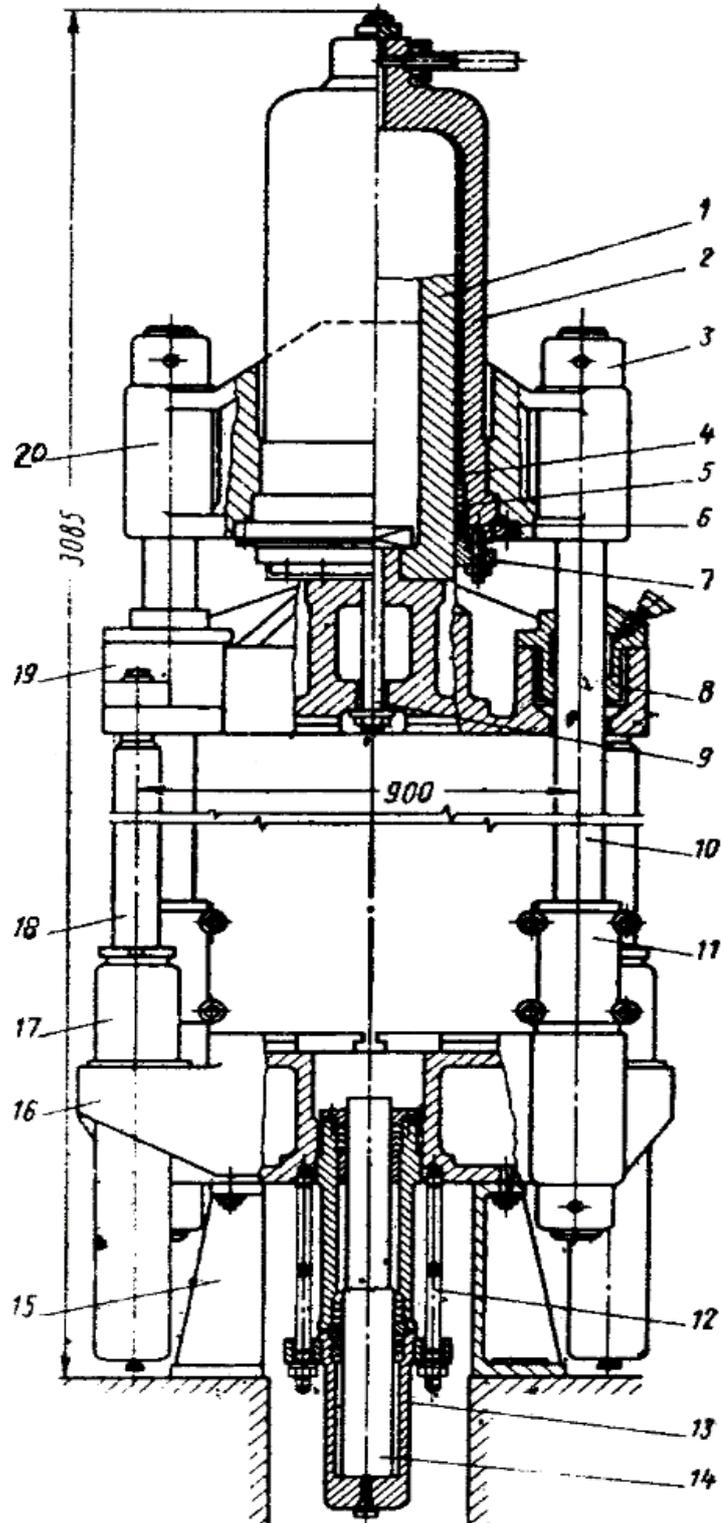


Рис. 1.8. Четырехколонный гидравлический пресс:

- 1 – главный плунжер;
- 2 – главный гидроцилиндр;
- 3 – гайка; 4 – направляющая втулка; 5 – манжета;
- 6 – сальник; 7 – фасонный 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)

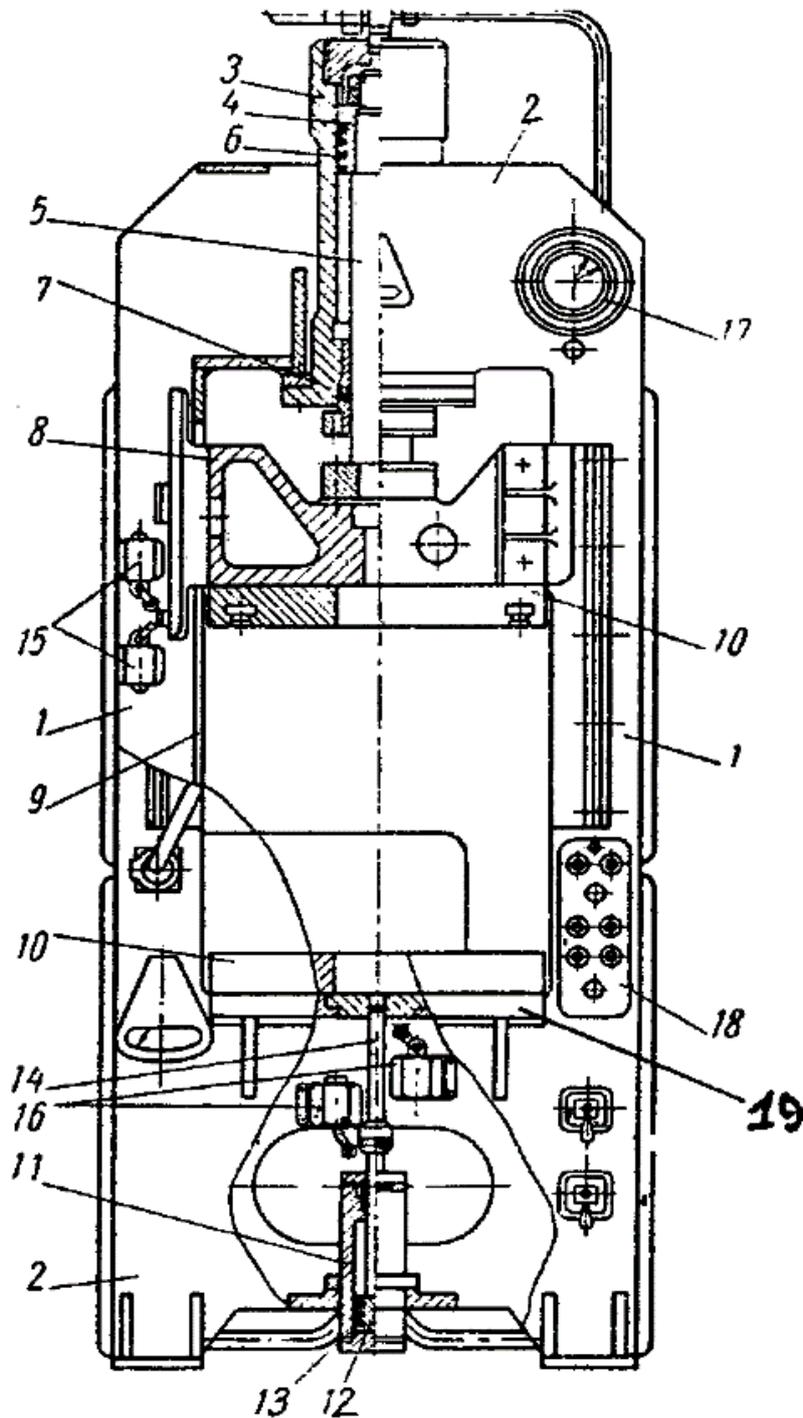


Рис. 1.9. Рамный гидравлический пресс: 1 – стойки; 2 – плиты; 3 – главный гидроцилиндр; 4 – дифференциальный плунжер; 5 – шток; 6, 7 – уплотнительные манжеты; 8 – подвижная верхняя плита; 9 – направляющие; 10 – верхняя и нижняя рабочие плиты; 11 – гидроцилиндр выталкивателя; 12 – дифференциальный плунжер 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

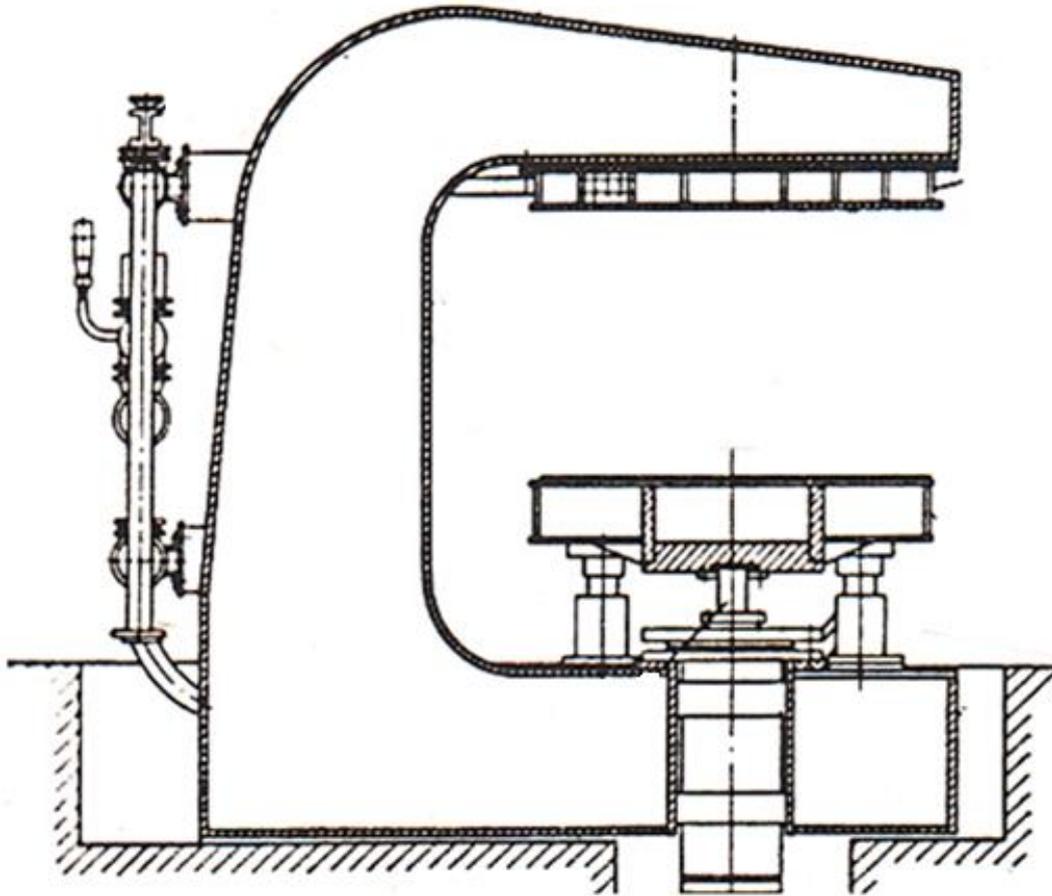


Рис. 1.10. Челюстной пресс

*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 они 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.

## 1.5. Конструкционная классификация гидравлических прессов

На заводах промышленности пластических масс применяются гидропрессы с размерами рабочего стола от  $200 \times 200$  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 – на прессы малой мощности (от 250 до 10 000 кН) и большой мощности (от 10 000 до 50 000 кН);
- конструкции станины – на колонные и рамные;
- типа привода – с индивидуальным и групповым приводом; в последних – давление в гидроцилиндрах создается от гидрокомпрессорных аккумуляторных станций;
- направления закрытия пресс-формы – на вертикальные, горизонтальные и угловые;
- направления главного рабочего усилия – с вертикальным, нижним и комбинированным давлением;
- количества главных рабочих гидроцилиндров – на одноцилиндровые и многоцилиндровые;
- конструкции главного гидроцилиндра – с цилиндром одностороннего действия и возвратными цилиндрами и с цилиндром двухстороннего действия, снабженного дифференциальным плунжером;
- количества прессующих плит – на одноэтажные, двухэтажные и многоэтажные;
- периодичности работы – на циклические и карусельные;
- способа управления – с ручным, полуавтоматическим и автоматическим управлением.

## 1.6. Общее устройство и работа гидравлического пресса

Рассмотрим на примере рамного пресса с верхним давлением (см. рис. 1.9). Рама пресса сварная и состоит из двух стоек, связанных поперечными плитами (две плиты сверху и две плиты снизу). В верхней части жестко закреплен главный гидроцилиндр пресса (рис. 1.11).

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

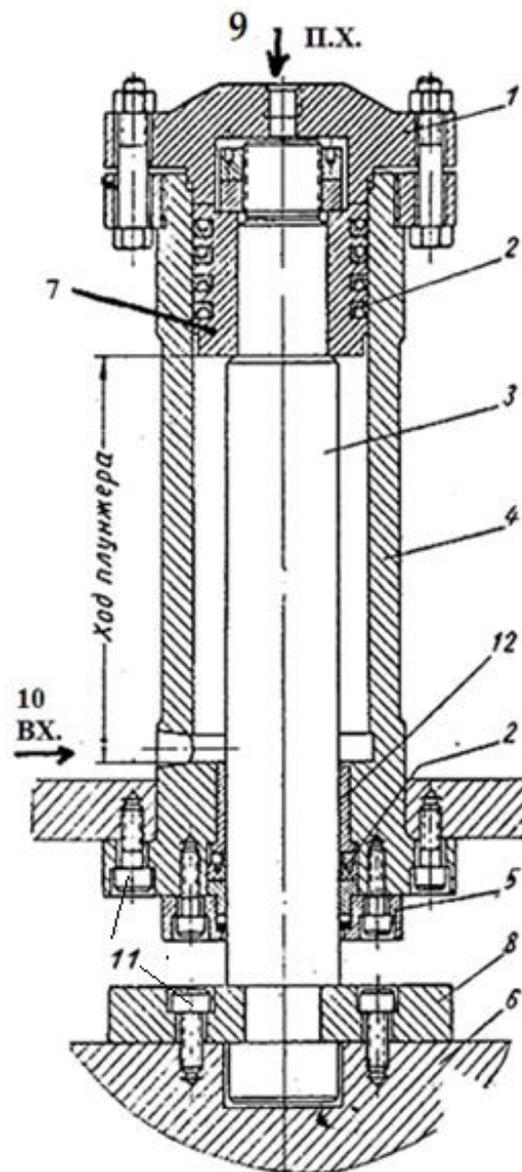


Рис. 1.11. Главный гидроцилиндр рамного пресса:

- 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. 1.12). 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.

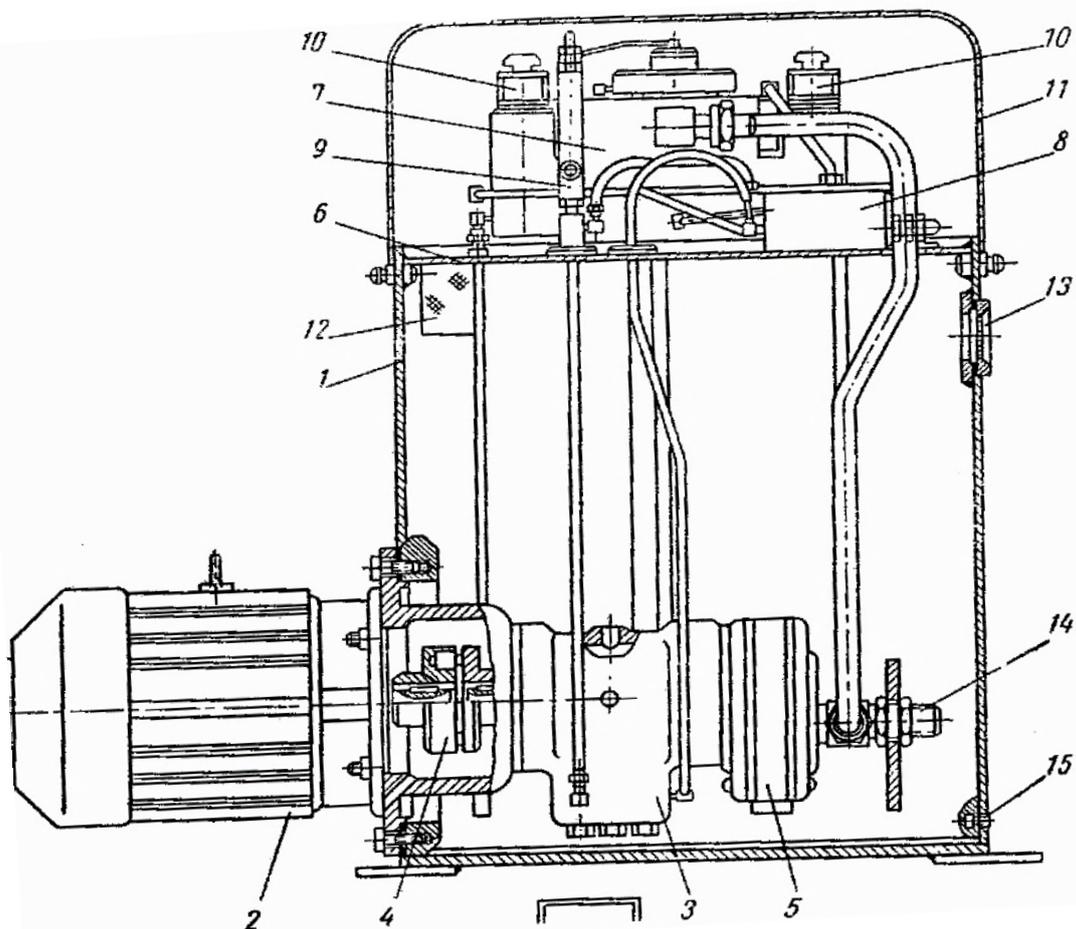


Рис. 1.12. Индивидуальный гидропривод рамного пресса:  
 1 – бак рабочей жидкости; 2 – электродвигатель; 3 – насос высокого давления;  
 4 – муфта сцепления; 5 – насос низкого давления; 6 – плита; 7 – гидропанель;  
 8 – регулятор промежуточного давления; 9 – предохранительный клапан;  
 10 – электромагниты; 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.

## 1.7. Прессы специального назначения

*Угловой гидравлический пресс* (рис. 1.13) 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.

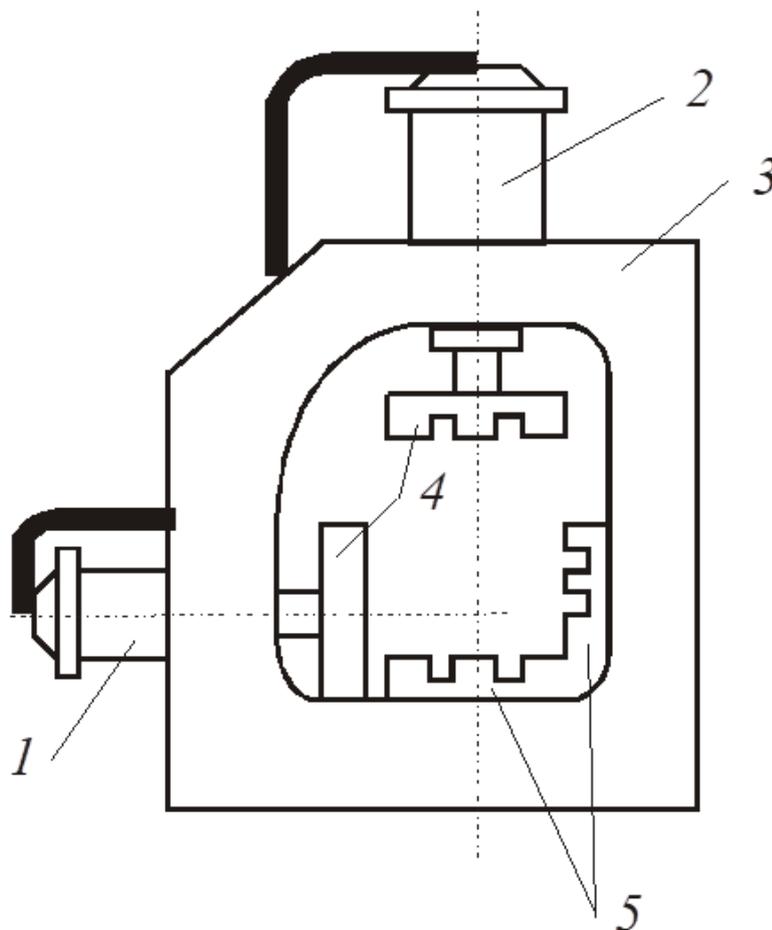


Рис. 1.13. Угловой пресс с одним угловым цилиндром: 1 – боковой гидроцилиндр; 2 – верхний гидроцилиндр; 3 – рама (стойка); 4 – подвижные рабочие плиты; 5 – неподвижные рабочие плиты

*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. 1.14).

Для прессования листов и плит из слоистых пластиков и древесных пластиков применяются этажные прессы (рис. 1.15). 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 применяются два и более гидроцилиндра. Между нижней греющей плитой, лежащей на подвижном столе, и верхней, прикрепленной к архитраву, монтируются промежуточные греющие плиты.

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 механизированы. По бокам пресса установлены погрузочно-разгрузочные камеры-этажерки, рольганги и другие погрузочно-разгрузочные механизмы.

*Прессы для трансферного прессования* относятся к типу литьевых гидропрессов. Такой пресс (рис. 1.16) состоит из станины, в верхней части которой находится гидроцилиндр для запирания формы, а в нижней – гидроцилиндр для нагнетания пластичного материала в форму. Для предотвращения раскрытия формы при прессовании усилие нижнего гидроцилиндра составляет 50 % от верхнего.

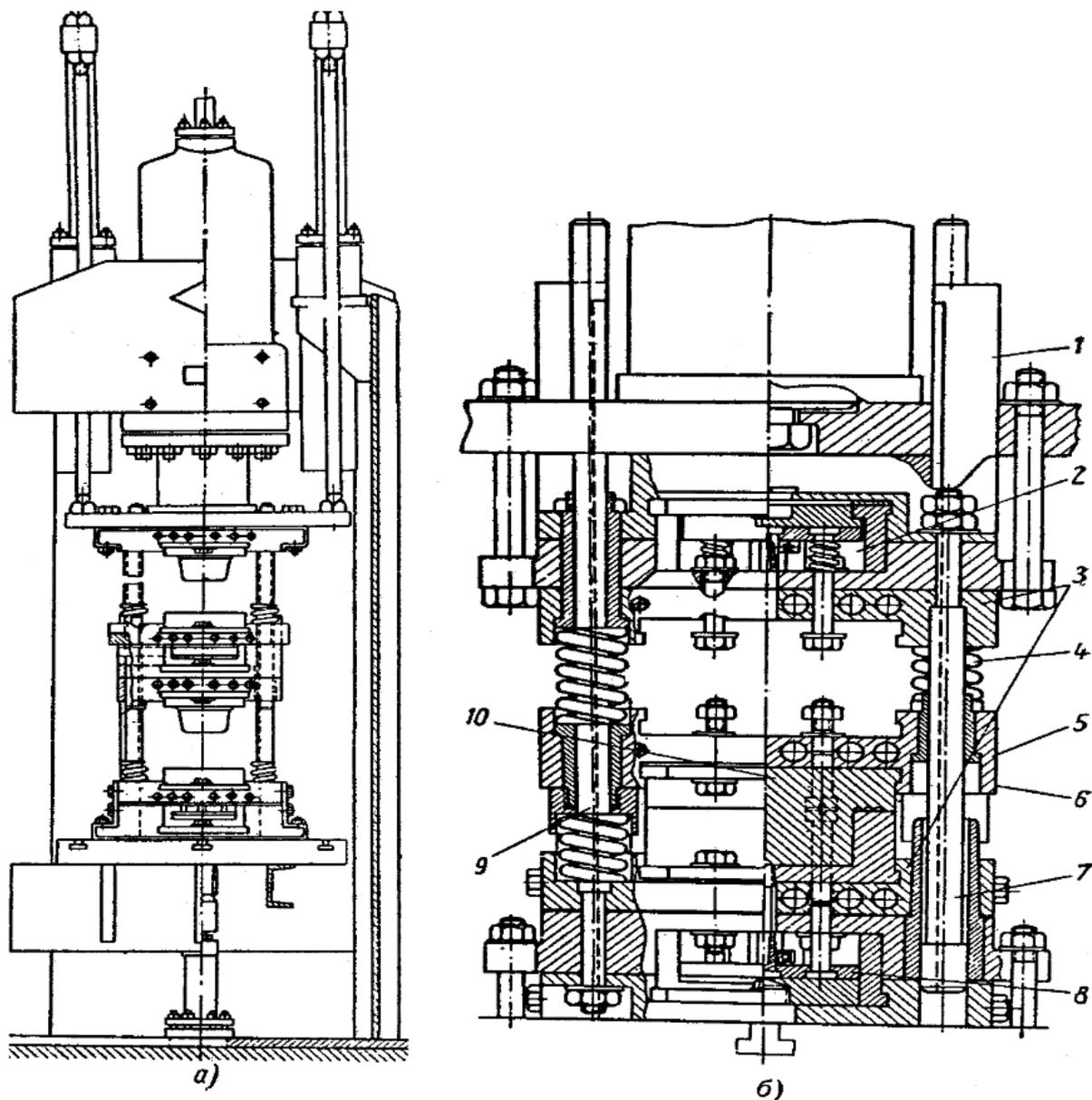


Рис. 1.14. Гидравлический пресс с инструментальной оснасткой для двухэтажного прессования: *a* – общий вид пресса; *б* – оснастка для двухэтажного прессования; 1 – тяговое устройство; 2 – выталкиватель; 3 – верхняя и нижняя плиты обогрева пресс-форм; 4 – буферная пружина; 5 – промежуточная греющая плита; 6 – теплоизоляция; 7 – направляющая колонка; 8 – нижний выталкиватель; 9 – направляющие колонки; 10 – оформляющее гнездо

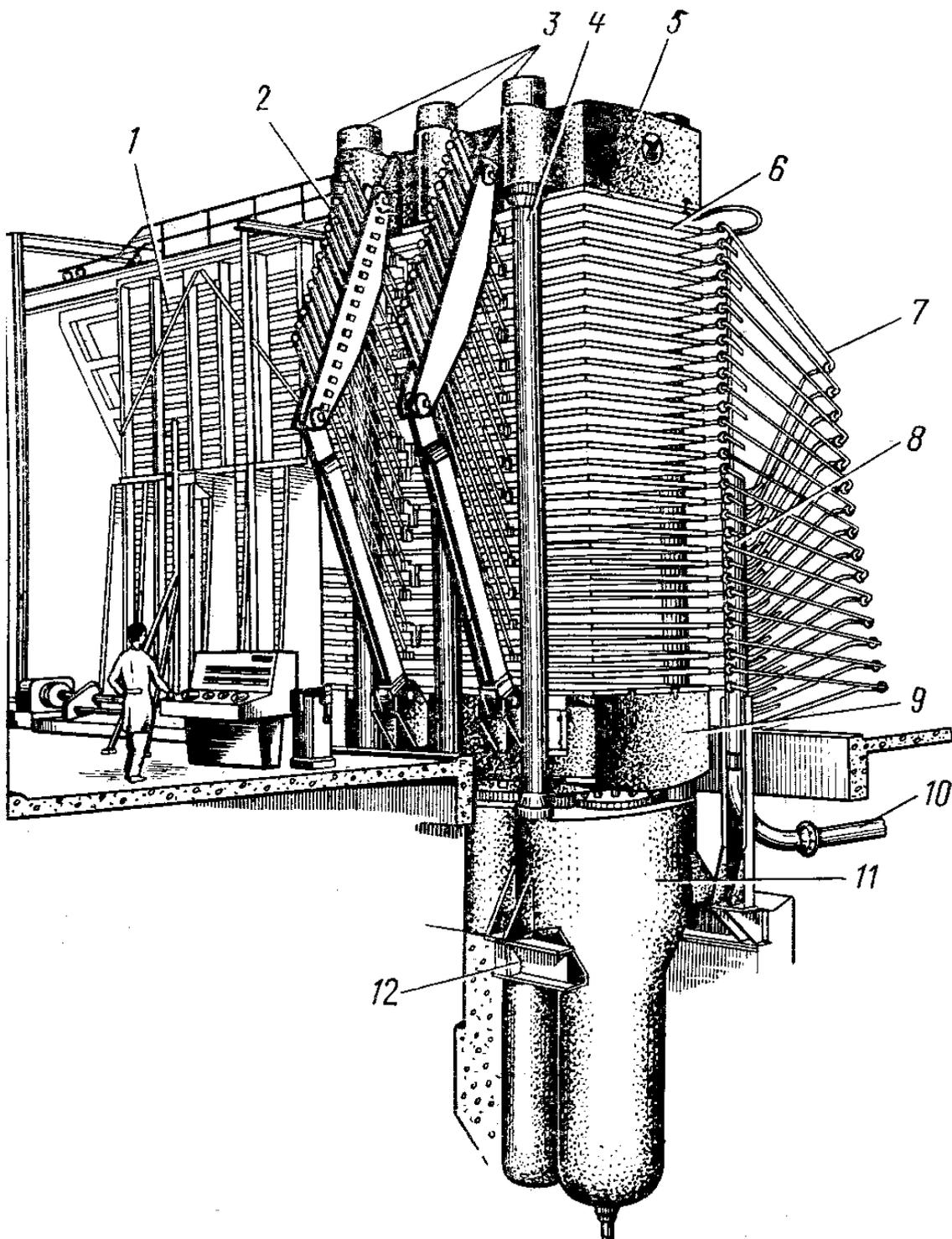


Рис. 1.15. Гидравлический 29-этажный пресс колонной конструкции:

- 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

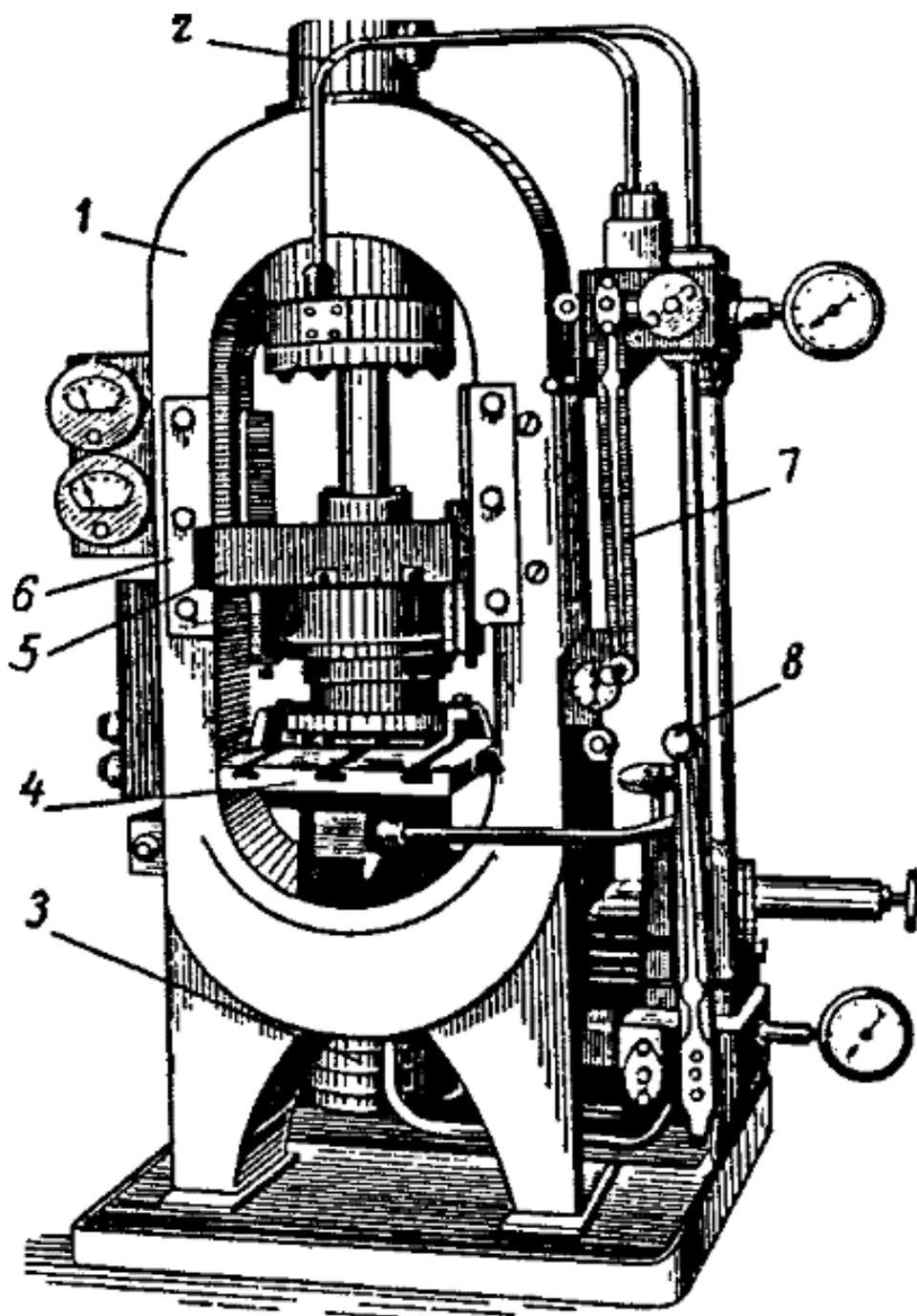


Рис. 1.16. Пресс для трансферного прессования:  
 1 – рама (стойка); 2 – верхний гидроцилиндр; 3 – нижний гидроцилиндр;  
 4 – нижний рабочий стол; 5 – верхняя подвижная плита; 6 – направляющие;  
 7 – ограничитель хода; 8 – пульт управления

*Прессы для профильного прессования (штранг-прессы) – профильное прессование реактопластов производится на специальных горизонтальных гидравлических профильных прессах (штранг-прессах) (рис. 1.17).*

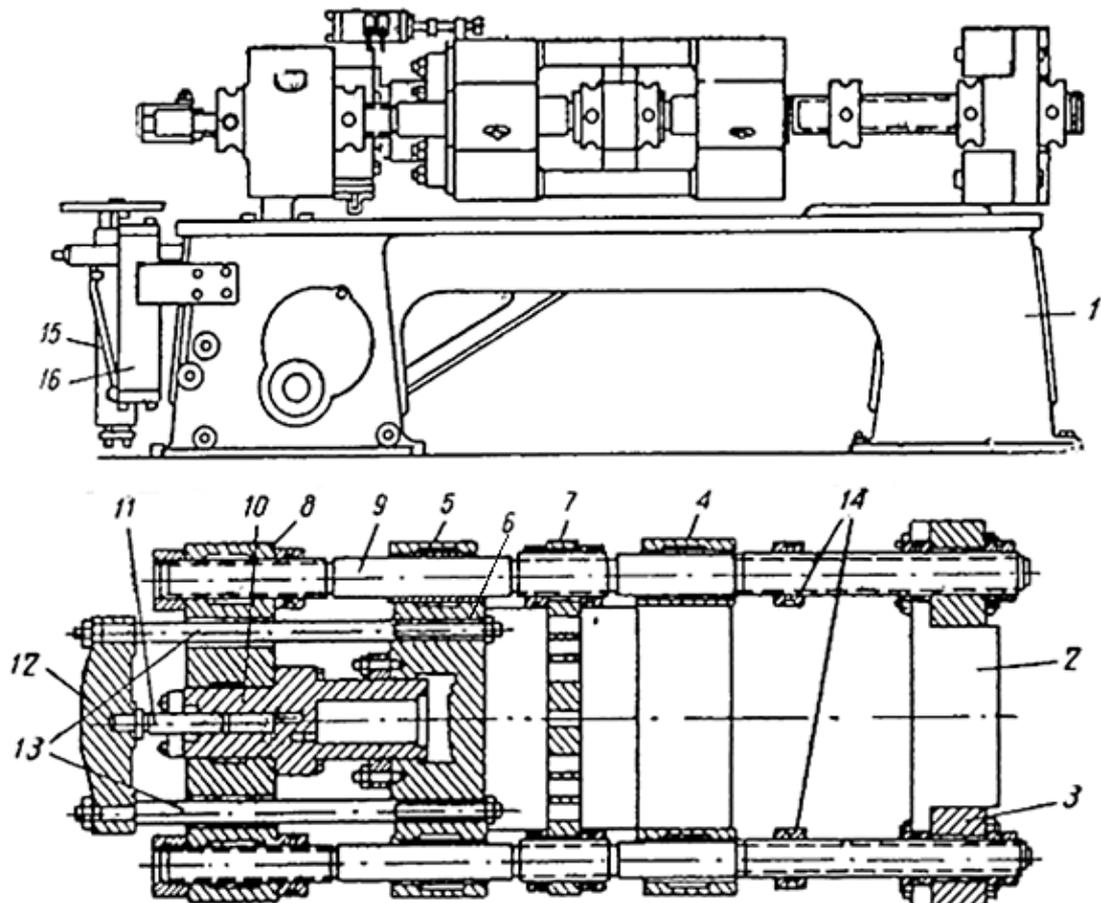


Рис. 1.17. Пресс для профильного прессования реактопластов:  
 1 – станина; 2 – плиты стола; 3 – стойки стола;  
 4 – верхняя подвижная плита; 5 – задняя подвижная плита;  
 6 – колонны плит; 7 – мост; 8 – неподвижная плита; 9 – колонны пресса;  
 10 – неподвижный плунжер рабочего цилиндра; 11 – плунжер обратного хода;  
 12 – плита плунжера обратного хода; 13 – тяги плунжера обратного хода;  
 14 – гайки; 15 – регулятор давления; 16 – дистрибьютор

Пресс-форма для профильного прессования (см. рис. 1.4) устанавливается на подвижных плитах пресса. Фланец крепления плунжера формы соединен с неподвижным плунжером рабочего гидроцилиндра. Подвижные плиты пресса выполняют возвратно-поступательные движения и выполняют 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.

## 1.7. 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 рис. 1.18.

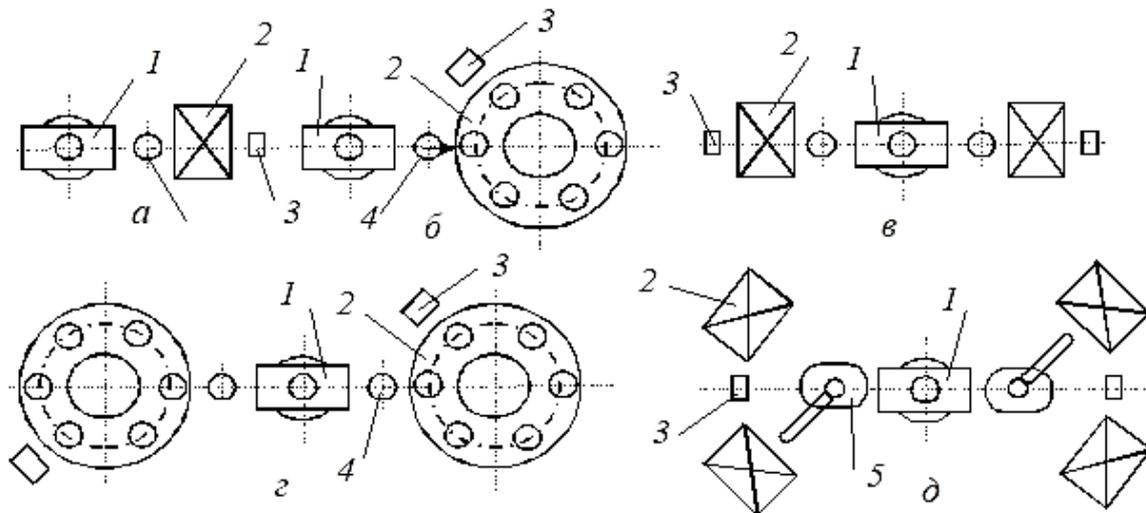


Рис. 1.18. Варианты структур автоматизированных прессовых комплексов для прессования реактопластов: 1 – дозатор; 2 – пресс; 3 – накопитель; 4 – манипулятор; 5 – робот

Можно использовать дозатор для обслуживания одного пресса (варианты *а* и *б*, см. рис. 1.18) или расположить группу прессов вокруг одного дозатора (см. рис. 1.18, *в*, *г*, *д*). Во всех случаях образуется комплекс, в 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 разделяют на АПК с объемным дозатором, АПК с весовым дозатором и АПК с пластикатором-дозатором.

Примером применения объемного дозирования является пресс-автомат с *шиберным* (кассетным) питателем (рис. 1.19).

Пуансон пресс-формы совершает обычное возвратно-поступательные движения 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.

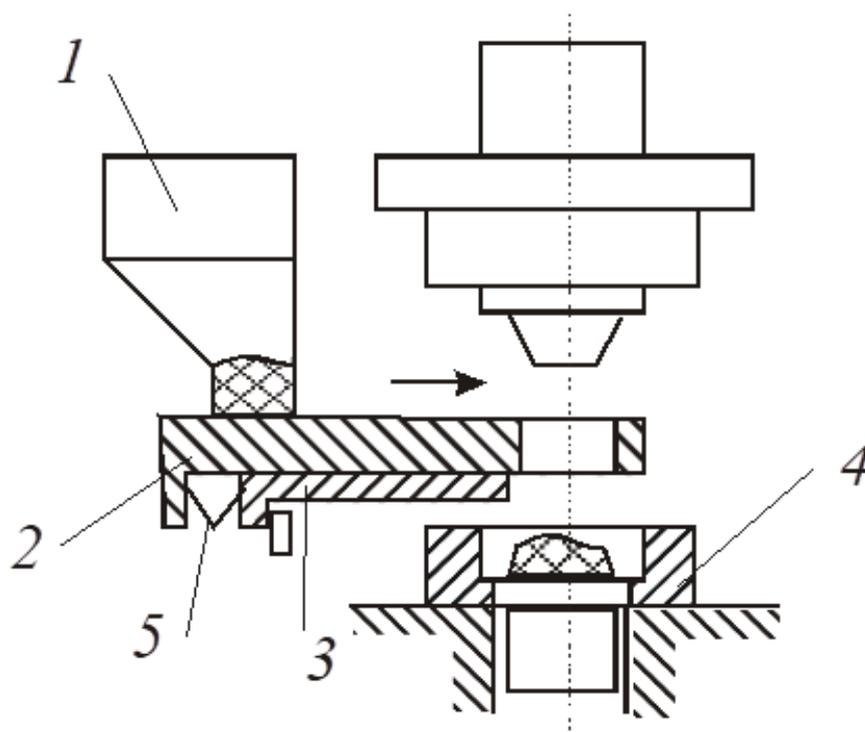


Рис. 1.19. Устройство для загрузки пресс-порошка в пресс-автомат:

- 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 расположен на роторе и совершает пульсирующее вращательное движение.

На рис. 1.20 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.

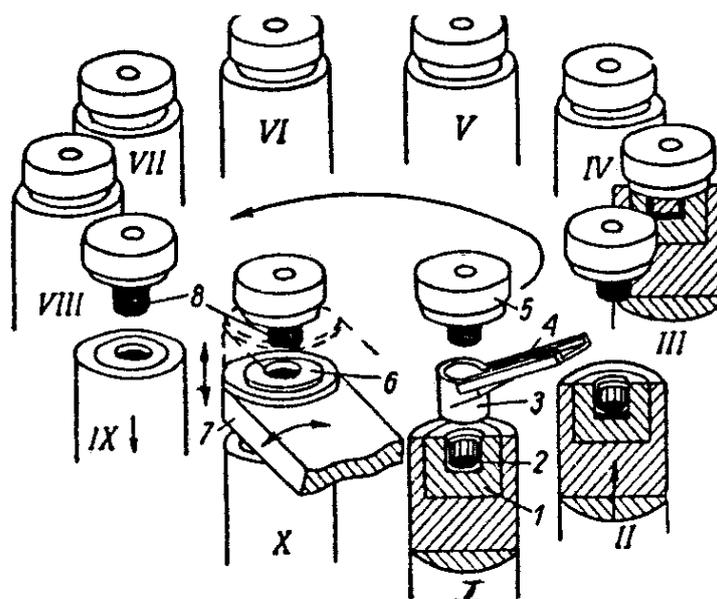


Рис. 1.20. Схема работы ротационного пресс-автомата:  
 1 – матрица; 2 – таблетка; 3 – загрузочная воронка; 4 – лоток; 5 – пуансон;  
 6 – вращающийся патрон; 7 – рычаг; 8 – изделие

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. 1.21), 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 и обработка готовых изделий совершаются на соответствующих последовательно расположенных непрерывно вращающихся роторах (рис. 1.22).

На четырехгнездном роторе 1 происходит объемная дозировка, на шестигнездном 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.

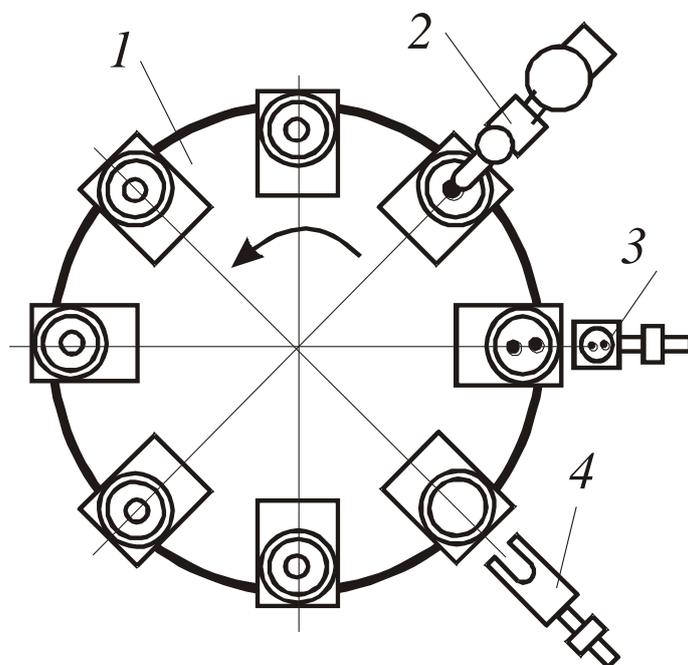


Рис. 1.21. Схема АПК Rotomatic (Италия):

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 нерационально. Несмотря на предварительный подогрев пресс-материалов ТВЧ, выдержку под давлением обычно не удается значительно сократить.

Для рационального использования прессового оборудования применяют прессовые линии с выносными пресс-формами для прессования таких изделий (рис. 1.23).

Линия состоит из питателя для загрузки таблеток в пресс-форму, прессы для смыкания пресс-формы, шагового конвейера для перемещения сомкнутых пресс-форм, прессы 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.

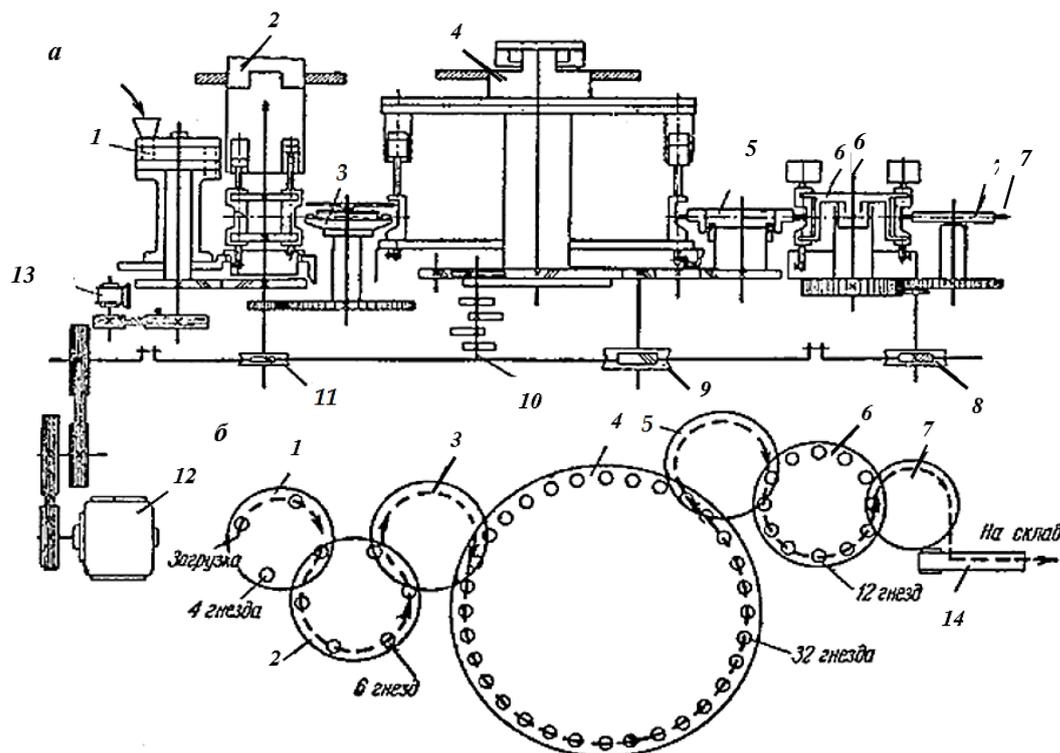


Рис. 1.22. Автоматическая роторная линия: *а* – развернутая кинематическая схема роторной линии; *б* – схема расположения роторов в плане; 1 – ротор дозирования; 2 – ротор таблетирования; 3 – ротор для нагрева таблеток ТВЧ; 4 – ротор прессования; 5, 7 – транспортные роторы; 6 – ротор снятия облоя; 8, 9, 11 – редукторы; 10 – вал привода золотников; 12 – электродвигатель главного привода; 13 – вспомогательный электродвигатель; 14 – транспортер готовых изделий

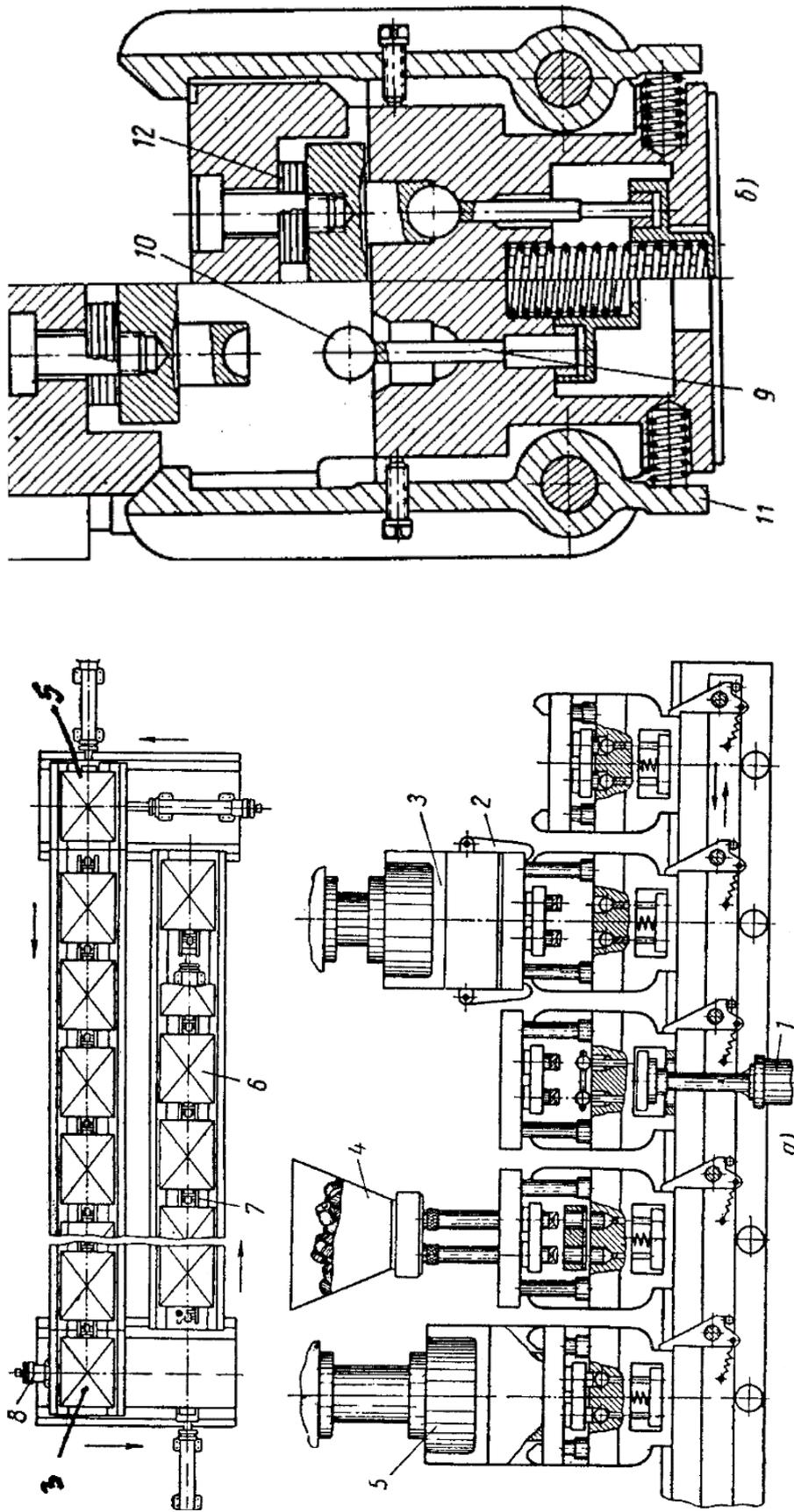


Рис. 1.23. Автоматическая прессовая линия с выносными пресс-формами: *a* – общий вид; *б* – пресс-форма; 1 – гидроцилиндр выталкивания готовых изделий; 2 – захваты-держатели пуансона; 3 – пресс раскрытия пресс-формы; 4 – питатель загрузки таблеток; 5 – пресс смыкания пресс-формы; 6 – сомкнутые пресс-формы; 7 – транспортер; 8 – гидроцилиндр; 9 – выталкиватель пресс-изделия; 10 – готовое пресс-изделие; 11 – рычаг замкового устройства; 12 – тарельчатая пружина

## 1.8. Технологический расчет пресса

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

Номинальное усилие  $Q_n$  пресса определяется, Н:

$$Q_n = \frac{\pi P_n D^2}{4}, \quad (1.4)$$

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:

$$Q_{эф} = \frac{\pi P_{max} D^2}{4} + G - T - R, \quad (1.5)$$

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 кожаных или резиновых манжет, Н:

$$T = \pi P_{max} Dh f, \quad (1.6)$$

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  $f = 0,1$ ).

Длительность предварительного  $\tau_{mn}$  подогрева таблеток ТВЧ может быть рассчитана по формуле, с:

$$\tau_{nn} = \frac{c\rho(T_{nn} - T_n)}{0,55\eta_m K f E^2}, \quad (1.7)$$

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

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$T_{nn}$  – температура предварительного подогрева, К;

$T_n$  – начальная температура таблетки, К;

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

$K$  – коэффициент диэлектрических потерь,  $K = \varepsilon \cdot \operatorname{tg}\delta$ ;

$f$  – 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 (1.8), как:

$$\tau_{nn(x)} = \tau_{nn(u)} \frac{K_{(u)}}{K_x}. \quad (1.8)$$

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.

# 2

## **Типовая последовательность технологических операций прессования изделий из реактопластов**

Технологический процесс прессования изделий из реактопластов состоит из следующих основных операций: входного контроля качества пресс-сырья, его подготовки (включая таблетирование), дозирования, предварительного подогрева, собственно прессования (формования), механической обработки, термической обработки и контроля готовых изделий. Типовая последовательность основных технологических операций и переходов при прессовании для конкретных материалов и изделий уточняется в технологической карте прессования:

*Входной контроль* – определение основных технологических и эксплуатационных свойств пресс-материала согласно ГОСТ или ТУ.

*Подготовка сырья* – подсушка, просеивание, очистка от включений; фильерирование или разрезка (для волокнистых пресс-материалов); таблетирование.

*Дозирование сырья* – взвешивание, объемное дозирование, определение количества таблеток.

*Предварительный подогрев* – укладка дозированного сырья или таблеток, нагрев, извлечение навески или таблеток.

*Формование* – нагрев пресс-формы, подъем или опускание подвижной плиты пресса, установка арматуры или закладных оформляющих деталей формы, загрузка навески или таблеток, смыкание пресс-формы, выдержка под давлением (включая подпрессовку), разъем пресс-формы, включение выталкивающей системы пресса, извлечение изделия, очистка пресс-формы, визуальный контроль качества изделия. Перечень переходов при формовании приведен применительно

к изготовлению на стационарных пресс-формах (на съемных пресс-формах порядок переходов, их число изменяется и определяется технологической картой).

*Механическая обработка пресс-изделий* – зачистка от грата, удаление облоя, отделка.

*Термическая обработка* – загрузка изделий в термошкаф, термообработка, извлечение изделий. Термическая обработка выполняется при необходимости, в зависимости от типа сырья и требований к размерной стабильности и электрическим свойствам деталей.

*Контроль изделий* – определение размеров, сравнение с эталонным образцом детали; для деталей, эксплуатирующихся в жестких температурно-климатических условиях или под нагрузкой, проводят специальные методы испытаний неразрушающего контроля.

*Упаковка и складирование готовых пресс-изделий.*

# 3

## Режимы прессования

Прессование изделий происходит при определенных сочетаниях температуры, давления и времени выдержки под давлением.

### 3.1. Давление прессования

*Давлением прессования* называется эффективное (минимальное) усилие прессы, приходящееся на единицу площади горизонтальной проекции изделия плоской формы, необходимое для уплотнения материала.

Давление прессования зависит от вязкопластических свойств пресс-материала (текучести). Давление прессования, наряду со сложностью детали (с различным соотношением высоты и толщины стенок, острыми углами и резкими переходами) и текучестью пресс-материала, будет определять общее усилие прессования, требуемую скорость смыкания пресс-формы, уровень технологии производства. Значение минимального давления прессования определяется экспериментально. В зависимости от его величины, показателя вязкопластических свойств пресс-материала (предела текучести), геометрии изделия и формующей полости пресс-формы определяется усилие прессования детали:

$$Q_{np} = 10^{-3} A \cdot p_* + B \cdot \tau_{cd}, \quad (3.1)$$

где  $Q_{np}$  – усилие прессования, кН;

$p^*$  – минимальное давление прессования,  $H/m^2$ ;  $\tau_{сд}$  – предел текучести пресс-материала,  $H/m^2$ ;  
 $A$  и  $B$  – геометрические коэффициенты,  $m$ .

Усилие прессования связано с манометрическим давлением главного гидроцилиндра пресса соотношением:

$$p_m = \frac{1,27Q_{np}}{K_{zn} \cdot D_{пл}^2}, \quad (3.2)$$

где  $p_m$  – манометрическое давление в гидроцилиндре,  $H/m^2$ ;  
 $D_{пл}$  – диаметр плунжера гидроцилиндра,  $m$ ;  
 $K_{zn}$  – коэффициент полезного действия пресса,  $K_{zn} = 0,85-0,9$ .

## 3.2. Температура прессования

Температура прессования зависит от свойств и состояния исходного материала. Для большинства изделий, размеры и форма которых близки к стандартным образцам, температура прессования задается по ГОСТ или ТУ на пресс-материал. Температура прессования нестандартных деталей может быть изменена.

При относительно пониженных температурах рекомендуется прессовать детали крупногабаритные, толстостенные, тяжелые (от одного до нескольких килограммов). Особенно важно понижать температуру прессования для таких деталей, у которых навеска материала загружается в пресс-форму в несколько приемов, или материал обладает пониженной текучестью, или имеет повышенное содержание влаги и летучих веществ.

Прессование при более высоких температурах (тонкостенных деталей) значительно сокращает время выдержки под давлением, а иногда и улучшает физико-механические свойства материала изделий.

Температура прессования устанавливается исходя из того, что формование детали должно завершаться за время  $\tau_{\phi}$ , не превышающее продолжительность пребывания пресс-материала в вязко-текучем состоянии при этой температуре  $\tau_{вмс}$ , т. е.  $\tau_{\phi}$  в основном зависит от скоростей холостого и рабочего хода пресса и времени подпрессовок.

### 3.3. Время выдержки под давлением

Этот параметр устанавливается исходя из необходимости обеспечения заданной степени отверждения пресс-материала или необходимых эксплуатационных свойств изделия. Продолжительность выдержки в пресс-форме под давлением зависит от размеров изделия, теплофизических свойств и скорости отверждения пресс-материала, его начальной температуры и температуры прессования:

$$\tau = f(h, a, \beta, T_n, T_2, \tau_{o(T_0)}, U), \quad (3.3)$$

где  $h$  – толщина стенки изделия (определяющий размер),  $m$ ;

$\beta$  – коэффициент формы изделия;

$a$  – коэффициент температуропроводности,  $m^2/c$ ;

$T_n$  – начальная температура пресс-материала перед загрузкой в пресс-форму,  $K$ ;

$T_2$  – температура пресс-формы,  $K$ ;

$\tau_{o(T_0)}$  – время отверждения пресс-материала при температуре стандартных испытаний  $T_o$ ,  $c$ ;

$U$  – кажущаяся энергия активации процесса отверждения,  $Дж/моль$ .

Методы выбора параметров процесса прессования изложены в [1–3].

# 4

## Определение технологических свойств реактопластов

Технологические свойства определяются для того, чтобы оценить пригодность материала к переработке в конкретные изделия, выбрать оптимальный метод переработки и определить условия технологического процесса, что повышает качество продукции и производительность производства.

### 4.1. Определение содержания влаги и летучих веществ

Методика [4, 5] основана на фиксации потери массы испытуемого материала при нагревании в сушильном шкафу.

В трех чистых, предварительно взвешенных с закрытой крышкой бюксах взвешивают на аналитических весах 3–5 г материала с точностью  $\pm 0,0001$  г. Открытый бюкс помещают на 30 мин при  $105 \pm 2$  °С в термощкаф. После этого бюкс закрывают крышкой и переносят в эксикатор для охлаждения материала до комнатной температуры. Затем бюкс повторно взвешивают.

Относительное содержание влаги и летучих веществ  $x$  (в %) рассчитывают по формуле

$$x = \frac{G_1 - G_2}{G_1 - G_0} \cdot 100, \quad (4.1)$$

где  $G_0$  – масса бюкса, г;

$G_1$  и  $G_2$  – масса бюкса с материалом до и после удаления летучих веществ соответственно, г.

## 4.2. Определение насыпной плотности и удельного объема пресс-порошков

Методика [6] основана на определении массы свободно засыпанного в измерительный цилиндр пресс-порошка.

Пробу пресс-порошка через воронку ссыпают в предварительно взвешенный измерительный цилиндр вместимостью 100 мл. Избыток материала удаляют линейкой, и цилиндр с пробой взвешивают с точностью  $\pm 0,1$  г. Насыпную плотность  $\rho_n$  (в  $\text{кг}/\text{м}^3$ ) и удельный объем  $V_{y\delta}$  (в  $\text{м}^3/\text{кг}$ ) рассчитывают по формулам

$$\rho_n = 10(G_1 - G_0), \quad (4.2)$$

$$V_{y\delta} = 0,1/(G_1 - G_0), \quad (4.3)$$

где  $G_0$  – масса цилиндра, г;

$G_1$  – масса цилиндра с материалом, г.

Результат определения – среднее арифметическое трех параллельных испытаний.

## 4.3. Определение таблетиремости пресс-материалов

Методика основана на прессовании таблетки в таблет-форме двустороннего прессования. В таблет-форму  $\text{Ø}28$  мм засыпают 7,5 г пресс-материала, и устанавливают ее между плитами пресса. Дают давление таблетирования с выдержкой не менее 30 с. Начальное давление составляет 30 МПа. Последующие запрессовки проводят при давлении, превышающем предыдущее на 15 МПа. Определение таблетиремости проводят при обычной температуре или температуре размягчения пресс-материала. При каждом значении давления проводят два параллельных опыта.

Определяют плотность [7] и прочность таблеток. Для этого штангенциркулем измеряют диаметр и высоту таблетки с точностью  $\pm 0,1$  мм, а затем взвешивают ее на технических весах с точностью  $\pm 0,1$  г.

Плотность  $\rho_m$  (в  $\text{кг}/\text{м}^3$ ) рассчитывают по формуле

$$\rho = \frac{1,27 G_m}{d^2 \cdot h} \cdot 10^6, \quad (4.4)$$

где  $G_m$  – масса таблетки, г;

$d$  и  $h$  – диаметр и толщина таблетки, мм.

Прочность таблетки определяют путем вдавливания в материал шарика  $\varnothing 5,5$  мм. За прочность таблетки  $Q_m$  (в Н) принимают усилие, при котором происходит ее разрушение.  $Q_m$  должно быть не менее 785 Н.

#### 4.4. Определение текучести по Рашигу

Методика основана на прессовании стандартного стержня и измерении его длины.

Определение текучести проводят в пресс-форме Рашига (рис. 4.1), имеющей конический канал для формования стержня. Навеску 7,5 г пресс-материала в виде насыпной массы или таблетки ( $\varnothing 28$  мм) помещают в загрузочную камеру пресс-формы, предварительно нагретую до температуры испытаний. Затем опускают пуансон и дают давление прессования 30 МПа; время выдержки – 3 мин. Материал в течение этого времени расплавляется, течет, заполняя канал формы, и отверждается. После окончания выдержки снимают давление, разбирают пресс-форму и извлекают стержень.

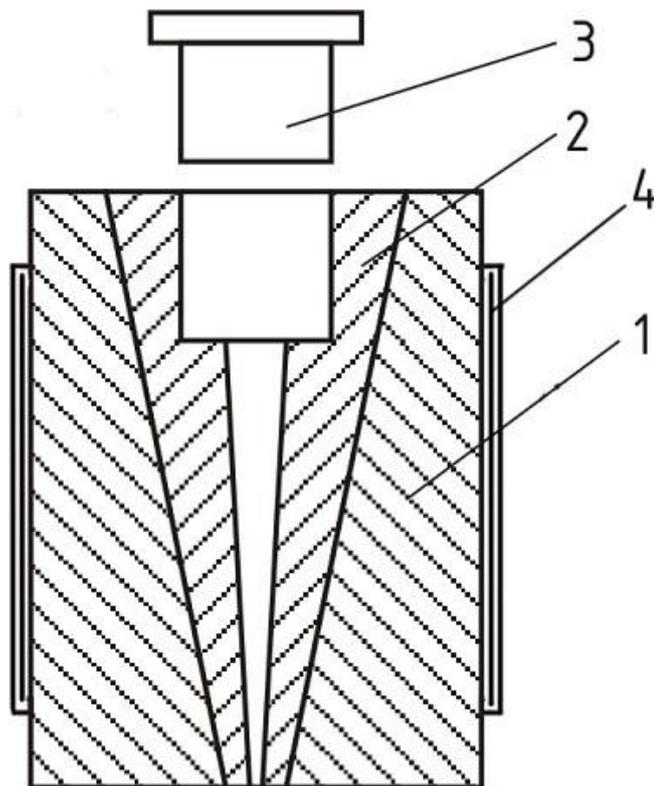


Рис. 4.1. Пресс-форма Рашига:

1 – обойма матрицы; 2 – матрица; 3 – пуансон; 4 – нагревательный элемент

За меру текучести пресс-материала по Рашигу принимают значение (среднее трех определений), равное длине стержня  $l$  (в мм) до границы его плотной части.

#### 4.5. Определение текучести и предела текучести, скорости отверждения по методу деформирования диска

Методика основана на формовании диска между плоскопараллельными плитами [1, С. 95–98; 2, С. 79–89; 5]. Схема вискозиметра с плоскопараллельными плитами приведена на рис. 4.2.

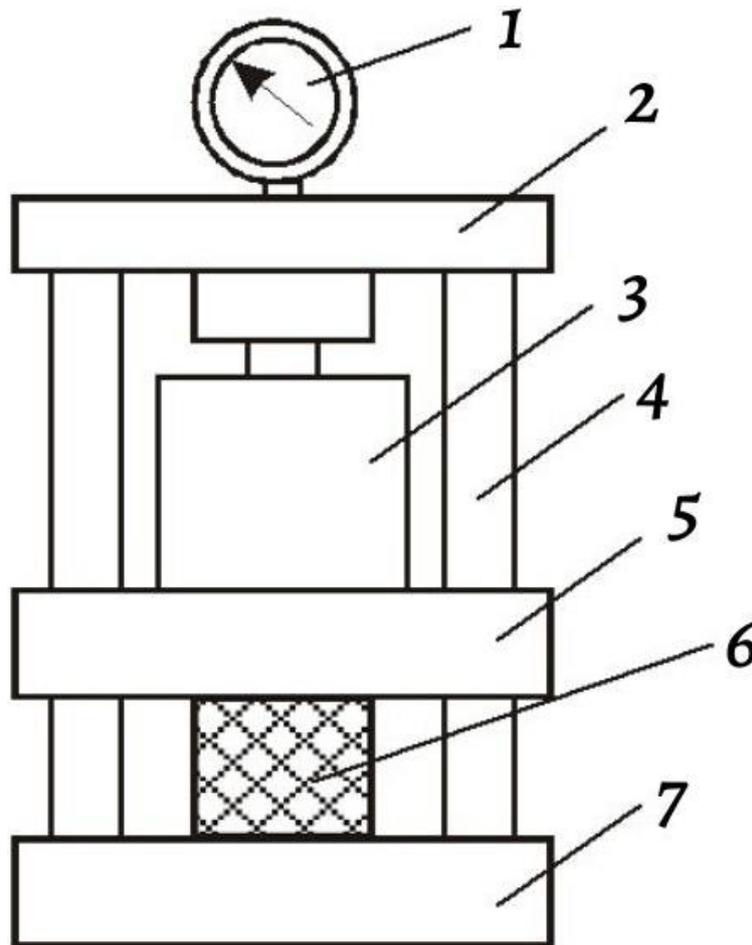


Рис. 4.2. Прибор для определения текучести между плоскопараллельными плитами: 1 – индикатор часового типа; 2 – архитрав; 3 – груз; 4 – колонка; 5 – подвижная плита; 6 – таблетка; 7 – нижняя плита (стол);

Из навески пресс-материала  $m$  (в г, с точностью  $\pm 0,1$  г) в таблет-форме  $\varnothing 28$  мм формируется таблетка по следующему режиму: температура – 15–65 °С, давление – 25–50 МПа, время –  $30 \pm 0,5$  с.

Навеску рассчитывают по формуле

$$m = \frac{\rho}{100} (1 + x/100), \quad (4.5)$$

где  $\rho$  – плотность пресс-материала, кг/м<sup>3</sup>;

$x$  – содержание влаги и летучих веществ, %.

Полученная таблетка закладывается в пресс-форму (см. рис. 4.2), состоящую из двух плоскопараллельных плит 5 и 7. Время с момента

установки таблетки между плитами до начала приложения усилия прессования не должно превышать 10 с.

К таблетке прикладывается усилие прессования  $Q_{np} = 50$  кН с начальной скоростью смыкания плит пресса 2–3 мм/с. Температура прессования диска должна соответствовать температуре стандартных испытаний данной марки пресс-материала. Время выдержки под давлением, в зависимости от скорости отверждения материала, – 30–120 с.

Отформованный диск-образец охлаждают между металлическими пластинами с пригрузом массой 2–3 кг (для предотвращения коробления образца-диска, что иногда наблюдается при охлаждении на воздухе) до температуры 20–30 °С. Затем микрометром измеряют толщину диска  $h$  (в мм) как среднее арифметическое в пяти точках с точностью  $\pm 0,01$  мм.

За показатель текучести пресс-материала (текучесть по диску) принимают приведенный диаметр прессованного диска-образца  $D$  (в мм), рассчитанный с округлением до 1 мм по формуле

$$D = \frac{113}{\sqrt{h}}, \quad (4.6)$$

За показатель предела текучести  $\tau_{cd}$  (в МПа) принимают сопротивление сдвигу пресс-материала в момент окончания его течения при формовании диска, вычисленный по формуле

$$\tau_{cd} = \frac{Q \cdot h}{2V \left( 1 + \frac{\sqrt{V/h}}{3\sqrt{\pi h}} \right)} = \frac{2,5h}{1 + \frac{18,81}{h\sqrt{h}}}, \quad (4.7)$$

где  $Q$  – усилие прессования диска,  $Q = 50$  кН;

$V$  – объем прессованного диска-образца,  $V = 10$  см<sup>3</sup>;

$h$  – толщина диска-образца, мм.

При расчете  $\tau_{cd}$  (в МПа) в правую часть формулы (4.7) величину  $h$  необходимо подставить в мм. За результат определения  $D$  и  $\tau_{cd}$  принимают среднее арифметическое, полученное при прессовании трех дисков-образцов.

Оценку скорости отверждения реактопласта можно вести по изменению деформационных свойств, так как гелеобразование и образова-

ние сетчатой структуры ведут к снижению деформативности. Следовательно, любой показатель деформационных свойств в принципе пригоден для оценки степени отверждения. К числу условных показателей степени отверждения принадлежит отношение  $h$  или  $\tau_{cd}$  при двух значениях нагрузки [1, С. 189–193]. Для построения кинетической кривой отверждения пресс-материала  $c = f(\tau)$  необходимо отпрессовать диски по следующей методике.

К таблетке пресс-материала, как при определении текучести, дается начальное усилие прессования  $Q = 20$  кН и задается время нагрева  $\tau_i$ , по истечении которого прикладывается вторая ступень нагрузки  $Q = 50$  кН. Таким образом, при температуре стандартных испытаний  $T_0$  прессуется серия дисков при времени нагрева (отверждения)  $\tau_i = 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300, 360$  с. По формуле (4.7) рассчитывается  $\tau_{cd}$  для каждого времени  $\tau_i$ .

Степень отверждения  $c$  рассчитывается по формуле

$$c = \frac{\tau_{cd.i} - \tau_{cd.0}}{\tau_{cd.max} - \tau_{cd.0}}, \quad (4.8)$$

где  $\tau_{cd.0}$  – предел текучести при  $\tau_i = 0$  с;

$\tau_{cd.i}$  – предел текучести при  $\tau = \tau_i$ ;

$\tau_{cd.max}$  – предельное значение предела текучести при  $\tau = \tau_{отв}$ .

По полученным значениям  $c$  строится S-образная кинетическая кривая процесса отверждения пресс-материала при температуре стандартных испытаний  $T_0$   $c = f(\tau)$ . Каждая точка кривой определяется по трем параллельным опытам.

# 5

## **Определение физико-механических свойств реактопластов**

Физико-механические свойства включают твердость, прочность, пластичность, жесткость и некоторые другие показатели. Знание этих свойств помогает выбрать сферу применения материала.

### **5.1. Определение плотности материала в пресс-изделии гидростатическим взвешиванием**

Методика основана на определении вытесненного твердым телом объема гидростатирующей жидкости.

Отпрессованный образец (диск  $\text{Ø}50 \cdot 3$  мм или брусок  $30 \times 15 \times 10$  мм) взвешивают с точностью  $\pm 0,001$  г (масса образца на воздухе). Образец подвешивают с помощью тонкой проволоки к коромыслу весов и полностью погружают в стакан с дистиллированной водой при температуре  $20 \pm 1,5$  °С. Для повышения смачиваемости материала в воду добавляют 10 % этанола или ацетона (гидростатирующая жидкость). Стакан установлен над чашкой весов на подставке. Образец не должен касаться стенок стакана. Определяют массу образца в воде. Продолжительность пребывания образца в воде не более 60 с. Плотномером измеряют плотность гидростатирующей жидкости при температуре  $20 \pm 1,5$  °С. Плотность пресс-изделия  $\rho$  (в  $\text{кг/м}^3$ ) рассчитывают по формуле

$$\rho = \frac{G_6}{G_6 - (G_{жс} - G_n)} \cdot \rho_{жс}, \quad (5.1)$$

где  $G_6$  – масса образца на воздухе, г;  
 $G_{жс}$  – масса образца с проволокой в жидкости, г;  
 $G_n$  – масса проволоки в жидкости, г;  
 $\rho_{жс}$  – плотность гидростатирующей жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

## 5.2. Определение водопоглощения

Методика [8] основана на фиксации поглощенной стандартным образцом воды, имеющим форму диска Ø 50·3 мм, после выдержки в дистиллированной воде при температуре 20±1,5 °С в течение 24 ч.

Массу навески пресс-материала для прессования диска  $m$  (в граммах) рассчитывают по формуле

$$m = 5,89 \cdot 10^{-3} \cdot \rho \cdot (1 + x/100), \quad (5.2)$$

где  $\rho$  – плотность пресс-материала, кг/м<sup>3</sup>;  
 $x$  – содержание влаги и летучих веществ, %.

Навеску пресс-материала взвешивают на технических весах с точностью ±0,1 г и загружают в пресс-форму, которую устанавливают на прессе П-10. Образец прессуют по указанным режимам на данный пресс-материал. Распрессовку пресс-формы производят с помощью специального приспособления. Форму очищают от грата, формующую поверхность смазывают олеиновой кислотой для следующей запрессовки.

Образец должен иметь гладкую поверхность без недопрессовок, вздутий, трещин и расслоений. Абразивным инструментом удаляют облой с кромок диска (без нарушения целостности поверхности). Перед испытанием образец кондиционируется на воздухе не менее 3 ч при 20 ± 2 °С. Образец, подготовленный к испытаниям, взвешивают на аналитических весах с точностью до ±0,0001 г. Образец устанавливают на металлической решетке и помещают в емкость с дистиллированной водой при температуре 20 ± 1,5 °С. После выдержки в воде в течение 24 ч образец извлекают; фильтровальной бумагой с поверхности удаляют избыток влаги и повторно взвешивают.

За показатель водопоглощения  $B$  (в мг) принимают массу поглощенной воды (среднее арифметическое трех параллельных испытаний), рассчитывают его по формуле

$$B = 10^3(G_1 - G_0), \quad (5.3)$$

где  $G_0$  и  $G_1$  – масса образца до и после водопоглощения соответственно, г.

Показатель относительного водопоглощения  $B_o$  (в %) рассчитывают по формуле

$$B_o = \frac{G_1 - G_0}{G_0} \cdot 100. \quad (5.4)$$

### 5.3. Определение разрушающего напряжения при статическом изгибе

Методика [9] основана на испытании стандартного образца в виде бруска  $120 \times 15 \times 10$  мм при двухопорном изгибе под действием разрушающего усилия, приложенного по центру образца.

Массу навески пресс-материала для прессования бруска  $m$  (в г) рассчитывают по формуле

$$m = 1,8 \cdot 10^{-2} \cdot k_m \cdot \rho(1 + x/100), \quad (5.5)$$

где  $\rho$  – плотность пресс-материала, кг/м<sup>3</sup>;

$K_m$  – коэффициент технологических потерь,  $K_m = 1,05$ ;

$x$  – содержание влаги и летучих веществ, %.

Навеску пресс-материала взвешивают на технических весах с точностью  $\pm 0,1$  г и загружают в пресс-форму, которую устанавливают на прессе П481А или П-50. Образец прессуют по указанным режимам на данный пресс-материал. Распрессовку пресс-формы производят с помощью специального приспособления. Форму очищают от грата, формующую поверхность смазывают олеиновой кислотой для следующей запрессовки.

Образец охлаждают на воздухе. Он должен иметь гладкую поверхность без недопрессовок, вздутий, трещин и расслоений. Абразив-

ным инструментом удаляют облой с кромок бруска (без нарушения целостности поверхности). Перед испытанием образец кондиционируется не менее 3 ч при  $20 \pm 2$  °С.

У образца, подготовленного к испытаниям, штангенциркулем измеряют ширину  $b$  и толщину  $h$  с точностью  $\pm 0,1$  мм. Образец устанавливают на опоры испытательной машины, дают нагрузку на образец (при скорости нагружения 10 мм/мин) и по шкале силоизмерительного устройства фиксируют разрушающее усилие  $P$  (в Н).

Показатель разрушающего напряжения при статическом изгибе  $\sigma_u$  (в МПа) рассчитывают по формуле

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W} = \frac{3P \cdot l}{2b \cdot h^2} = 150 \frac{P}{b \cdot h^2}, \quad (5.6)$$

где  $M_u$  – изгибающий момент;

$W$  – момент сопротивления;

$l$  – расстояние между опорами,  $l = 100$  мм:

$$M_u = \frac{P \cdot l}{2}, \quad (5.7)$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{3}. \quad (5.8)$$

Обработку результатов испытаний проводят с точностью  $\pm 1$  МПа. За результат определения разрушающего напряжения при статическом изгибе принимают среднее арифметическое не менее пяти параллельных испытаний.

## 5.4. Определение модуля упругости при изгибе диска из изотропного материала

Методика основана на определении прогиба диска под нагрузкой на кольцевой опоре [1, С. 187–189; 3].

Отпрессованный при определенных температурно-временных режимах диск устанавливают на кольцевой опоре прибора. По центру диска опускают шток измерительного устройства. Индикатор часового типа устанавливают на отметку «0». На кольцевую площадку штока

устанавливают груз, обеспечивающий прогиб диска в пределах 0,5–2,0 мм. Величина прогиба измеряется с точностью  $\pm 0,01$  мм. Показатель модуля упругости  $E_u$  (в ГПа) изотропных материалов, к которым относятся пресс-порошки и волокниты, рассчитывают по формуле

$$E_u = \frac{3P \cdot r^2 \cdot (3 + \mu)(1 - \mu)}{4\pi \cdot W_{\max} \cdot h^3}, \quad (5.9)$$

где  $P$  – нагрузка в центре диска;

$r$  – радиус цилиндрической опоры;

$W_{\max}$  – максимальный прогиб диска в центре;

$\mu$  – коэффициент Пуассона,  $\mu = 0,25$ ;

$h$  – толщина диска, определенная по п. п. 4.5.

## Задания для самостоятельных работ

### Задание 1. Оптимизация режимов таблетирования пресс-материалов

Определить оптимальную температуру и давление таблетирования пресс-материала с применением полного факторного эксперимента (ПФЭ) по матрице  $N = 2^2+2$  (табл. 1).

*Определяющие факторы:*

$Z_1$  – температура таблет-формы, °С;

$Z_2$  – давление таблетирования, МПа.

*Параметры оптимизации:*

$\rho_m$  (в кг/м<sup>3</sup>) – плотность таблетки;

$Q_m$  (в Н) – прочность таблетки.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента (ПФЭ)  $N = 2^2+2$

№ опыта	$X_1$	$X_2$	$Z_1, ^\circ\text{C}$	$Z_2, \text{МПа}$	Параметры оптимизации	
					$\rho_m, \text{кг/м}^3$	$Q_m, \text{МПа}$
0	0	0	40	70		
0	0	0	40	70		
1	–	–	20	40		
2	+	–	60	40		
3	–	+	20	100		
4	+	+	60	100		

$X_1$  и  $X_2$  – кодированные значения определяющих факторов.

В каждом опыте матрицы провести три параллельных измерения ( $m = 3$ ).

Обработку экспериментальных данных, построение экспериментально-статистической модели

$$Y(\rho_m; Q_m) = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_{11} \cdot (X_1)^2 + b_{22} \cdot (X_2)^2 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2$$

и оптимизацию параметров произвести с применением Microsoft Excel.

## Задание 2. Оптимизация режимов предварительного подогрева и температуры прессования пресс-материалов

Определить оптимальную температуру и время предварительного подогрева пресс-материала контактным способом и температуру прессования с применением полного факторного эксперимента (ПФЭ) по матрице  $N = 2^3$  (табл. 2).

*Определяющие факторы:*

$Z_1$  – температура подогревателя; °С;

$Z_2$  – время подогрева, мин;

$Z_3$  – температура прессования, °С.

*Параметры оптимизации:*

$R$  (в мм) – текучесть по Рашигу;

$D$  (в мм) – текучесть по диску;

$\tau_{сд}$  (в МПа) – предел текучести.

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента (ПФЭ)  $N = 2^3$

№ опыта	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Z_1, °С$	$Z_2, \text{мин}$	$Z_3, °С$	Параметры оптимизации		
							$R, \text{мм}$	$D, \text{мм}$	$\tau_{сд}, \text{МПа}$
0	0	0	0	95	7	155			
1	–	–	–	80	4	140			
2	+	–	–	110	4	140			
3	–	+	–	80	10	140			
4	+	+	–	110	10	140			
5	–	–	+	80	4	170			
6	+	–	+	110	4	170			
7	–	+	+	80	10	170			
8	+	+	+	110	10	170			

$X_1, X_2, X_3$  – кодированные значения определяющих факторов.

В каждом опыте матрицы провести три параллельных измерения ( $m = 3$ ).

Обработку экспериментальных данных, построение экспериментально-статистической модели

$$Y(R; D) = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + b_{23} \cdot X_2 \cdot X_3$$

и оптимизацию параметров произвести с применением Microsoft Excel.

## Задание 3. Оптимизация температурно-временных режимов прессования пресс-материалов

Определить оптимальную температуру и время выдержки при прессовании пресс-материала с применением полного факторного эксперимента (ПФЭ) по матрице  $N = 2^2+2$  (табл. 3).

*Определяющие факторы:*

$Z_1$  – температура прессования, °С;

$Z_2$  – время выдержки, мин.

*Параметры оптимизации:*

$E_u$  (в ГПа) – модуль упругости при изгибе;

$\sigma_{и}$  (в МПа) – разрушающее напряжение при статическом изгибе;

$B$  (в мг) – водопоглощение.

Таблица 3

Матрица планирования эксперимента (ПФЭ)  $N = 2^2+2$

№ опыта	$X_1$	$X_2$	$Z_1, °C$	$Z_2, \text{мин}$	Параметры оптимизации		
					$E_u, \text{ГПа}$	$\sigma_{и}, \text{МПа}$	$B, \text{мг}$
0	0	0	155	6 (8)			
0	0	0	155	6 (8)			
1	–	–	140	3 (5)			
2	+	–	170	3 (5)			
3	–	+	140	9 (11)			
4	+	+	170	9 (11)			

$X_1$  и  $X_2$  – кодированные значения определяющих факторов.

*Примечание.*  $Z_2$ , указанное в скобках, соответствует времени выдержки при прессовании бруска  $120 \times 15 \times 10$  мм.

В каждом опыте матрицы провести три параллельных измерения ( $m = 3$ ).

Обработку экспериментальных данных, построение экспериментально-статистической модели

$$Y(E_u; \sigma_{и}; B) = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_{11} \cdot (X_1)^2 + b_{22} \cdot (X_2)^2 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2$$

и оптимизацию параметров произвести с применением Microsoft Excel.

## Список использованных источников

1. Ставров В. П., Дедюхин В. Г., Соколов А. Д. Технологические испытания реактопластов. М. : Химия, 1981. 248 с.
2. Дедюхин В. Г., Ставров В. П. Прессованные стеклопластики. М. : Химия, 1976. 272 с.
3. Мухин Н. М. Разработка технологии изготовления толсто-стенных изделий из стекловолоконитов методом прессования : дисс. ... канд. техн. наук. Л. : ЛТИ им. Ленсовета, 1982. 206 с.
4. Практикум по технологии переработки пластических масс / под ред. В. М. Виноградова, Г. С. Головкина. М. : Химия, 1980. 240 с.
5. ГОСТ 11368–79. Массы древесные прессовочные. Технические условия. М. : Изд-во стандартов, 1979. 22 с.
6. ГОСТ 11035.1–93 (ИСО 60–77). Пластмассы. Определение насыпной плотности формовочного материала, который просыпается через специальную воронку. М.: Стандартиформ, 1993. 6 с.
7. ГОСТ 15139–69. Определение плотности пластмасс. М. : Стандартиформ, 2014. 20 с.
8. ГОСТ 4650–2014. Пластмассы. Методы определения водопоглощения. М. : Стандартиформ, 2015. 20 с.
9. ГОСТ 4648–2014. Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб. М. : Стандартиформ, 2014. 25 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### И Н С Т Р У К Ц И Я

работы на гидравлическом прессе П481А  
в лаборатории переработки полимеров и композитов № 3-137  
кафедры технологии ЦБП и переработки полимеров

#### ***1. Общие положения***

1.1. Работающий на гидравлическом прессе марки П481А (прессовщик) должен иметь образование не ниже 10 классов.

1.2. Прессовщик может быть допущен к самостоятельной работе только после специального обучения, проверки знаний по технике безопасности и по работе на прессе кафедральной комиссией.

1.3. Проверка знаний по технике безопасности проводится через год.

1.4. Наряду с настоящей инструкцией, прессовщик обязан знать и выполнять инструкцию кафедры технологии переработки пластмасс по технике безопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности.

#### ***2. Подчиненность и взаимосвязь со смежными рабочими местами.***

2.1. Прессовщик непосредственно подчиняется учебному мастеру или преподавателю, проводящим работы, а через них зав. лабораторией или завкафедрой.

2.2. В случае неисправности оборудования или оснастки прессовщик поддерживает связь с учебным мастером, дежурными на факультете электриком, а также в случаях аварии прессовщик должен обратиться к учебному мастеру и преподавателю, проводящим работы.

#### ***3. Права и обязанности прессовщика***

3.1. Прессовщик имеет право:

– не приступать к работе на неисправном оборудовании, при нарушении заземления, неисправной блокировке пресса, неисправной оснастке, отсутствии технологической карты прессования;

– при возникновении аварийных ситуации или предпосылок к аварии на своем рабочем месте самостоятельно остановить оборудование в случае неисправности пресса.

3.2. Прессовщик обязан:

– соблюдать технологический режим прессования в соответствии с технологической картой или научно-технической документацией;

- правильно заполнять журналы ведения технологического процесса прессования образцов или изделий;
- содержать в чистоте рабочее место в течение всей работы, не загромождать его изделиями, особенно подходы к электрооборудованию;
- соблюдать правила техники безопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности;
- соблюдать требования по охране труда, устанавливающие организационные, технические, гигиенические, лечебно-профилактические мероприятия, обеспечивающие безопасность, сохранение здоровья и работоспособность в процессе труда.

3.3 При аварийной остановке прессовщик обязан:

- остановить прессование, обесточить пресс;
- доложить учебному мастеру или зав. лабораторией о случившейся поломке, пожаре;
- приступить к тушению загорания.

#### **4. Прием и сдача рабочего места**

4.1. Перед началом работы прессовщик должен надеть соответствующую спецодежду (халат, перчатки), получить задание на выполнение работ от преподавателя или учебного мастера.

4.2. Перед работой прессовщик должен проверить:

- чистоту рабочего места;
- наличие и исправность заземления;
- исправность пресса, пресс-форм, блокировок и предохранительных устройств, вентиляции;
- соответствие технологических параметров;
- крепление пресс-форм;
- отсутствие течи масла.

4.3. Докладить учебному мастеру или преподавателю обо всех обнаруженных недостатках, принять меры к их устранению и, получив разрешение, приступить к работе.

4.4. По окончании работы прессовщик обязан убрать рабочее место, отключить пресс.

4.5. Сдать учебному мастеру не переработанное сырье.

#### **5. Основные правила безопасной работы с прессом**

5.1 С целью исключения возможных травм, ожогов, пожаров и других вредных воздействий на организм прессовщика, необходимо соблюдать следующие основные правила:

- работать в установленной спецодежде;

- строго соблюдать технологический режим прессования, порядок работы, установленный настоящей инструкцией, инструкцией по технике безопасности лаборатории, промышленной санитарии, пожарной безопасности. Не допускать распыления пыли и облоя, уборку прессы производить без применения сжатого воздуха. Рабочее место содержать в чистоте;

- не приступать к работе, не проверив заземление, блокировочные и защитные приспособления, работу местной вытяжной вентиляции;

- не работать на неисправном оборудовании;

- не принимать пищу на рабочем месте;

- не работать при неисправных контрольно-измерительных приборах (манометры, сигнальные лампы и др.);

- не класть на пресс, пресс-формы посторонние предметы, не облокачиваться на оборудование;

- не работать с открытыми дверцами щитов управления, электрощитов;

- нельзя обслуживать пресс одновременно двум лицам;

- не отвлекаться посторонними разговорами, не покидать рабочего места при работающем оборудовании, не допускать посторонних лиц на своё рабочее место;

- не курить на рабочем месте;

- от работы отстраняются лица, нарушающие правила техники безопасности, в болезненном состоянии, а также не имеющие

## **5. Правила работы с прессом**

### **5.1. Описание рабочего места**

На рабочем месте прессовщика в зависимости от прессуемых изделий или образцов находятся:

- гидравлический пресс П481А. Техническая характеристика прессы приведена в таблице П1.1, а его общий вид – на рис. П1.1;

- термошкаф;

- весы технические, весы торговые, линейка, штангенциркуль, микрометр, секундомер – инструменты, необходимые для взятия навесок, для проверки размеров образцов и времени прессования;

- вспомогательный инструмент (таблет-формы, молоток, выколотка и др.);

- вспомогательные материалы (смазка, обтир для чистки пресс-форм).

Техническая характеристика прессы П481А

Параметр	Значение	Ед. измерения
Максимальное прессующее усилие	392 (40)	кН (т. с.)
Максимальное усилие возвратного хода	9,3 (9,5)	кН (т. с.)
Максимальный ход плунжера	320	мм
Максимальное рабочее давление	31 (320)	МПа(кг/см <sup>2</sup> )
Максимальное выталкивающее усилие	5,9 (6)	кН (т. с.)
Максимальный ход выталкивателя	160	мм
Мощность электродвигателя,	2,8	кВт
Число оборотов электродвигателя	1420	Мин <sup>-1</sup>
Гидропривод прессы	Г-4226	



Рис. П1.1. Гидравлический пресс П481А

## 5.2. Характеристика готовых образцов и изделий

Образцы для испытаний или изделия должны иметь блестящую, гладкую поверхность без вздутий, трещин, расслоений, раковин и выступающего наполнителя. По внешнему виду и цвету образцы должны

соответствовать требованиям нормативно-технической документации на материал.

### 5.3. Краткое описание технологической схемы и принцип работы оборудования

Прессование образцов или изделий состоит из следующих операций:

- взятие навески на весах;
- таблетирование навески (если предусмотрено технологическим режимом прессования);
- подогрев навески или таблетки в термошкафу (если предусмотрено технологическим режимом);
- перенос навески (таблетки) в гнездо пресс-формы (загрузка пресс-формы);
- прессование образца (изделия) в пресс-форме, нагретой до данной технологическим режимом температуре, под давлением;
- извлечение образцов (изделий) из пресс-формы;
- очистка пресс-формы от облоя, зачистка, смазка; затем цикл повторяется.

### 5.4. Принцип работы оборудования

**ВНИМАНИЕ:** На прессе П481А, установленном в лаборатории 5-2А, работать без включения выталкивающей системы! Тумблер, указывающий режим работы, установить в положение «Без выталкивателя».

5.4.1. Перед пуском пресса П481А ознакомиться с технологическим режимом прессования образцов или изделий, указанным в технологической карте (в задании лабораторной работы). Проверить положение тумблера подачи напряжения на пресс. Тумблер должен находиться в положении «Включено». Проверить работу пресса на холостом ходу.

5.4.2. Ход ползуна (верхней плиты) **ВНИЗ**. Нажатием на кнопку «Пуск» включить электродвигатель. Убедиться в отсутствии течи масла.

Нажать двумя руками две кнопки «Ползун вниз». Ползун переместится в нижнее положение. Греющие плиты, установленные на прессе, сомкнутся. В главном цилиндре поднимется давление до установленного электроконтактным манометром. Двигатель автоматически отключится.

**ВНИМАНИЕ:** На прессе П481А, установленном в лаборатории 5-2А, максимально допустимое давление прессования в гидроцилиндре **не более 320 кгс/см<sup>2</sup>**.

Проверить соответствие давления технологической карте.

#### 5.4.3. Ход ползуна **ВВЕРХ**

Нажать кнопку «*Ползун вверх*». Ползун переместится в верхнее положение.

Убедившись в нормальной работе пресса, провести нагрев греющих плит пресса.

#### 5.4.4. Нагрев плит пресса

Тумблеры регуляторов температуры греющих плит «ЭРА-М» установить в положение «*Включено*». Регуляторы температуры установить в положение, соответствующее температуре прессования, указанной в технологической карте (в задании лабораторной работы). При включении тумблера на панели регулятора загорается красная сигнальная лампочка. После прогрева регулятора загорается зеленая сигнальная лампочка, указывающая на включение обогрева плиты. После разогрева плит до заданной температуры регуляторы автоматически отключат обогрев (загорается *красная* лампочка). После охлаждения плит ниже заданной температуры снова автоматически включатся обогрев (загорается *зеленая* лампочка) и т. д.

Разогрев плит пресса при прессовании древесных плит и пластиков производить в сомкнутом состоянии. При прессовании образцов (изделий) из реактопластов или композиционных древесно-полимерных материалов перед разогревом установить съемную пресс-форму и сомкнуть плиты.

#### 5.5. Правила прессования

Убедившись в исправности пресса, пресс-формы, термошкафа, вспомогательного инструмента и при наличии технологической карты или другой необходимой технической документации приступить к прессованию образцов.

Поднять ползун пресса в верхнее положение, кнопкой «*Стоп*» отключить электродвигатель.

В гнездо матрицы (загрузочную камеру) пресс-формы загрузить навеску или таблетку пресс-материала (если предусмотрено технологической картой предварительно подогретую в термошкафу).

Включить электродвигатель кнопкой «*Пуск*».

Опустить ползун вниз (нажатием двух кнопок «*Ползун вниз*») до создания давления по технологической карте (заданию). Идет выдержка под давлением (прессование изделий).

За время выдержки подготовить навеску или таблетку для следующего изделия и загрузить ее в термошкаф для предварительного подогрева (если необходимо по технологии).

По окончании выдержки под давлением включить электродвигатель, нажав кнопку «*Пуск*».

Нажать кнопку «*Ползун вверх*», ползун поднимается в крайнее верхнее положение.

Отключить электродвигатель, нажав кнопку «*Стоп*», снять пресс-форму и распрессовать, извлечь изделие и очистить пресс-форму от облоя.

В дальнейшем цикл повторяется.

## 5.6. Порядок остановки пресса

В конце работы:

После прессования последнего изделия при поднятом в верхнее положение ползуне и отключенном прессе (тумблер подачи напряжения находится в положении «*Выключено*») очистить пресс-форму, протереть цилиндр и все части пресса от грязи и пыли, убрать со стола вспомогательный инструмент, подмести вокруг пресса, отключить термошкаф.

## 5.7. Возможные неисправности при работе пресса

Список возможных неисправностей при работе пресса приведен в табл. П1.2.

5.8. Отклонения от нормального режима прессования и методы их устранения приведены в табл. П1.3.

На рабочем месте имеются следующие блокировочные и предохранительные устройства на прессе:

- электроблокировка движения выталкивателя вверх;
- кнопка аварийного подъема ползуна из любого положения;
- ловители ползуна пресса;
- защитное заземление всех металлических частей;
- конечные выключатели, ограничивающие движения ползуна и выталкивателя.

Таблица П.2

Список возможных неисправностей при работе прессы

Неисправности	Причины	Метод устранения
Неравномерное движение ползуна	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Наличие воздуха в гидросистеме.</li> <li>2. Недостаточное количество масла в баке</li> </ol>	Доложить учебному мастеру
Медленный ход ползуна	Неисправности в гидросистеме	
Отсутствие заданного давления в гидроцилиндре	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неисправности аварийно-предохранительного клапана.</li> <li>2. Неисправности в гидросистеме</li> </ol>	
Самопроизвольное опускание ползуна	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неисправен поддерживающий клапан.</li> <li>2. Неисправности в гидросистеме</li> </ol>	
Ползун не поднимается	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неисправен клапан грузочный.</li> <li>2. Заклинило золотники переключения или реверса.</li> <li>3. Наличие зазора в месте соединения плунжера с ползуном.</li> <li>4. Неисправны блокировочные и защитные устройства</li> </ol>	

Таблица П1.3

Отклонения от нормального режима прессования и методы их устранения

Вид отклонения (брака)	Причины	Метод устранения
Недопрессовка	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Мала навеска пресс-материала.</li> <li>2. Низкая текучесть.</li> <li>3. Мало давление прессования.</li> <li>4. Высокая температура прессования.</li> <li>5. Медленное создание давления.</li> <li>6. Велики зазоры между матрицей и пуансоном</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проверить массу навески и при необходимости увеличить.</li> <li>2. Снизить температуру прессования. Увеличить давление прессования. Сменить пресс-материал.</li> <li>3. Проверить давление и при недостаточности доложить учебному мастеру.</li> <li>4. Проверить соответствие фактической температуры с технологической кар той и при несоответствии снизить задание ЭРА.</li> <li>5. Установить причину и доложить учебному мастеру.</li> <li>6. Сообщить учебному мастеру или преподавателю</li> </ol>
Толстый облой	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Велика навеска</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проверить массу навески и при необходимости уменьшить навеску</li> </ol>

## 5.9. Аварийная остановка

Аварийная остановка производится при:

- возникновении возгорания на прессе;
- выходе из строя блокировочных и защитных устройств;

В случае аварийной остановки доложить учебному мастеру или преподавателю о причинах остановки.

Требовать от учебного мастера, дежурного электрика выполнения работ по устранению неполадок, ведущих к нарушению технологических режимов, мешающих выполнению качественного изготовления образцов или изделий.

5.9. Виды брака изделий, получаемых методом прессования и способы их устранения приведены в табл. П1.4.

Таблица П1.4

Виды брака и способы их устранения

Виды брака	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Мало давление прессования.</li> <li>2. Не смыкается пресс-форма</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проверить давление и доложить учебному мастеру.</li> <li>2. Почистить пресс-форму</li> </ol>
Вздутия	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Мала выдержка.</li> <li>2. Высокое содержание летучих веществ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Увеличить выдержку.</li> <li>2. Подсушить материал или сделать подпрессовки</li> </ol>
Трещины	То же	То же
Коробление	Неравномерная усадка разных частей изделий	Увеличить выдержку под давлением. Применить зажимы, оправки до полного охлаждения изделий
Прилипание изделий к поверхности пресс-форм.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Загрязненная оформляющая поверхность пресс-форм.</li> <li>2. Износ хромового покрытия.</li> <li>3. Мала выдержка под давлением</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Почистить пресс-форму.</li> <li>2. Применить смазку или триацетатную пленку.</li> <li>3. Увеличить выдержку</li> </ol>
Размерный брак	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нарушение режима прессования.</li> <li>2. Мала или велика навеска</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проверить технологический режим прессования.</li> <li>2. Проверить навеску</li> </ol>

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Вопросы к коллоквиумам по дисциплине  
«Технология получения  
и переработки полимерных композиционных материалов»  
по теме «Прессование»

**Коллоквиум 1.** Входной контроль качества пресс-сырья (технологические свойства пресс-материалов): определение понятия технологических свойств. Определение содержания влаги и летучих веществ, связующего и растворимой части связующего. Определение гранулометрического состава, сыпучести (по опорожнению стандартной воронки, по углу естественного откоса, по углу обрушения). Определение объемных характеристик (насыпной плотности, удельного объема, коэффициента уплотнения). Определение таблетированности и температуры размягчения. Определение текучести по Рашигу, времени отверждения по стандартному стаканчику. Пластометрические испытания пресс-материалов: время вязко-текучего состояния, предела текучести, время отверждения, кажущаяся энергия активации процесса отверждения. Методы оценки степени отверждения. Усадка пресс-материалов. Автоматизированная система технологических испытаний пресс-материалов, комплекс технических средств входного контроля: определение текучести и предела текучести и вязкости по методу деформирования диска, температуропроводности, плотности, времени и кажущейся энергии активации процесса отверждения.

**Коллоквиум 2.** Принципы формования изделий методом прессования. Конструкции и классификация прессов: механические, гидромеханические, гидравлические. Общее устройство и работа гидравлического пресса. Прессы специального назначения: угловые, этажные, прессы профильного (штранг-прессы) и трансферного прессования. Автоматизированные прессовые комплексы: пресс-автоматы, роторные линии, прессовые линии с выносными пресс-формами. Технологический расчет пресса.

**Коллоквиум 3.** Физико-химические основы формования изделий из реактопластов методом прессования. Основные технологические операции процесса прессования: хранение и подготовка сырья, дозирование, таблетирование (экструдирование волокнистых пресс-материалов), предварительный подогрев; формование пресс-изделий: загрузка материала, смыкание пресс-форм, подпрессовка (характеристика подпрессовок), выдержка под давлением, размыкание и чистка пресс-

форм. Промежуточный контроль качества пресс-изделий. Механическая и термическая обработка. Дефекты пресс-изделий и способы их устранения. Литьевое и трансферное прессование. Прессование слоистых пластиков, декоративных и двухцветных изделий.

**Коллоквиум 4.** Выбор технологических параметров компрессионного и литьевого прессования: определение навески пресс-материала, определение температуры и времени предварительного подогрева, температуры и давления прессования, времени отверждения. Расчеты усилия прессования. Методы расчета времени выдержки при различных температурных режимах прессования.

Учебное издание

*Мухин Николай Михайлович*  
*Шкуро Алексей Евгеньевич*  
*Артемов Артем Вячеславович*  
*Шишлов Олег Федорович*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ПРЕССОВАНИЯ РЕАКТОПЛАСТОВ**

ISBN 978-5-94984-925-5



Редактор В. Д. Билык  
Оператор компьютерной верстки Т. В. Упова

Подписано в печать 28.10.2024. Формат 60×84/16.  
Бумага офсетная. Цифровая печать.  
Уч.-изд. л. 5,40. Усл. печ. л. 4,18.  
Тираж 300 экз. (1-й завод 26 экз.).  
Заказ № 7987

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».  
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.  
Редакционно-издательский отдел.  
Тел. 8(343)221–21–44.

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ».  
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2.  
Тел. 8(343)362–91–16.