

Составитель Ф. Ш. Шарифьянов

УДК 621.74(07)

ББК 34.61(я7)

Литейные машины и технологии: Лабораторный практикум /Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Ф. Ш. Шарифьянов. –Уфа, 2010. –47 с.

Дано описание трёх лабораторных работ, содержащих процесс экспериментального изучения свойств формовочных смесей и литейных свойств сплавов, также процесс получения отливок в разовых песчаных формах.

Предназначен для студентов, обучающихся по специальностям 150201 «Машины и технология обработки металлов давлением», 150202 «Оборудование и технология сварочного производства», 150204 «Машины и технология литейного производства», 150206 «Машины и технологии высокоэффективных процессов обработки материалов», 150207 «Реновация средств и объектов материального производства в машиностроении», 080502 «Экономика и управление на предприятии (по отраслям)», 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере», 280103 «Защита в чрезвычайных ситуациях», 280104 «Пожарная безопасность», для подготовки бакалавра по направлениям 151000 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительным производством», 150600 «Материаловедение и технология новых материалов», а также практикум может быть использован студентами других специальностей.

Табл. 2. Ил. 16. Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: канд. техн. наук Маркелов А. А.,  
канд. техн. наук Чёлушкин А. С.

© Уфимский государственный  
авиационный технический университет, 2010

## Содержание

Предисловие.....	3
<b>Лабораторная работа № 1. Свойства формовочных смесей и их влияние на качество отливок.....</b>	<b>6</b>
<b>Лабораторная работа № 2. Литейные свойства сплавов и их влияние на качество отливок.....</b>	<b>21</b>
<b>Лабораторная работа № 3. Технология получения отливок ручной формовкой в двух опоках по разъёмной модели .....</b>	<b>30</b>
Список литературы.....	38
Приложения.....	39



## Предисловие

Литейное производство является основной заготовительной базой машиностроения. Современный уровень литейной технологии позволяет получать отливки различной массы, размеров и конфигурации из любых сплавов, которые невозможно получить другими способами, как, например,ковка или сварка. Кроме того, литейное производство выгодно отличается от них более высоким коэффициентом использования металла, который составляет 75 % и более. Отливки имеют большую точность и максимально приближены к конфигурации и размерам деталей. Суммарная энергоёмкость при изготовлении деталей из литых заготовок в 2 раза меньше, чем при использовании других технологий. Литые заготовки имеют низкую себестоимость. Благодаря таким очевидным преимуществам литейное производство занимает лидирующее положение среди заготовительных производств предприятий машиностроения.

В связи с этим большое значение в преподавании на кафедре ряда дисциплин технологического цикла придается литейному оборудованию и технологическим процессам литья. Без знания литейного оборудования, их технологических возможностей, производительности невозможно разрабатывать технологию изготовления литых изделий, планировать производство, рассчитывать экономическую эффективность, а также проводить организационно-управленческие мероприятия.

Учитывая то, что часто практические и лабораторные работы предшествуют чтению лекций, а значительный объем материала учебной дисциплины переносится на самостоятельное изучение студентами, целесообразно несколько расширить теоретическую часть лабораторной работы.

Выполнение лабораторных работ позволит студентам закрепить теоретические знания и приобрести навыки в производстве отливок, научиться анализировать полученные отливки с точки зрения производительности и совершенства отдельных способов литья и оценить качество отливок. До занятий студенты, в рамках самостоятельной работы, предусмотренной учебным планом, готовятся к выполнению лабораторных работ путём изучения её теоретической части, особо обращая внимание на приведённые в конце описания

контрольные вопросы. В период подготовки к лабораторным занятиям студент составляет теоретическую часть отчёта. Требования к составлению отчёта приведены в конце описания работ. Для облегчения составления отчёта преподаватель заранее обеспечивает студентов электронными версиями описания лабораторных работ путём их переноса с кафедрального компьютера на электроносители старост групп, которые далее распространяют другим студентам. Наличие электронных версий позволяет студентам легко и быстро перекопировать необходимый иллюстрационный и теоретический материал в свой отчёт. При этом затрата времени на чисто техническую работу при составлении отчёта оказывается минимальной. Перед выполнением лабораторных работ у студентов проверяется наличие составленного предварительного отчёта по работе, а также теоретическая подготовленность студентов методом их устного опроса по контрольным вопросам, приведённым в конце описания работ или по специальным тестам. Студенты, не имеющие составленного индивидуального отчёта, и не готовые к ответу на контрольные вопросы к выполнению лабораторных работ не допускаются. Таким студентам предлагается перейти в другую аудиторию (читальный зал библиотеки) и заниматься изучением описания лабораторной работы и составлением отчёта. Им также будет предложено отработать эту, невыполненную по расписанию, работу в другое время или вместе со студентами другой группы или в конце семестра. Допуск к отработке осуществляется на тех же условиях. Во время занятий студент выполняет практическую часть работы, вносит в отчёт её результаты, пишет выводы. Затем отчет должен представляться преподавателю на проверку и защищаться путем ответов на вопросы, задаваемые преподавателем.

**Меры безопасности.** До начала работы необходимо убедиться в исправности формовочного инструмента и приспособлений, проверить, нет ли на них заусенцев. Плавку металла и заливку формы жидким металлом должен производить только учебный мастер. Во время формовки точно выполнять его указания, не счищать излишки формовочной смеси руками. После окончания формовки навести порядок на рабочем месте, обо всех замеченных неполадках сообщить преподавателю.



## СВОЙСТВА ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ОТЛИВОК

### 1. Цель работы

- 1.1. Изучить основные свойства формовочных смесей.
- 1.2. Приобрести практические навыки определения отдельных технологических свойств формовочных смесей.
- 1.3. Установить влияние свойств формовочных смесей на качество получаемых отливок

### 2. Теоретическая часть

Материалы, которые используются для изготовления литейных форм и стержней, называют формовочными. При их смешивании по заданной технологии получают формовочные и стержневые смеси.

Формовочные смеси применяются для изготовления литейной формы. Стержневые смеси служат для изготовления специальных вставок (стержней), используемых для получения в отливках отверстий. Часто формовочные и стержневые смеси объединяют общим названием «формовочные смеси» [1].

#### 2.1. Формовочные смеси

Основными исходными компонентами формовочных смесей являются песок и глина. Поэтому формовочные смеси, приготовленные на их основе, называются песчано-глинистыми. Кварцевый песок является огнеупорной основой смеси, а глина - связующим материалом. Содержание глины в смесях может колебаться от 5 до 15 % и более.

В качестве вспомогательных материалов часто используют для чугунного литья каменноугольную пыль или графит. Их вводят как противопригарные и разделительные вещества для исключения прилипания формовочной смеси к отливке и технологической оснастке. К противопригарным добавкам также относятся маршалит (тонко измельченный кварцевый песок) и магнезит ( $MgCO_3$ ) - для стального литья, тальк  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$  - для цветного литья и др.

По состоянию формы перед заливкой формовочные смеси различаются на смеси для форм, заливаемых в сыром и в сухом состояниях.

По назначению различают единые, облицовочные и наполнительные смеси. Единые смеси имеют одинаковые технологические свойства по всему объёму и используют в массовом производстве при машинной и автоматизированной формовке для получения мелких и средних отливок, когда заливка металла производится в сырые формы. В мелкосерийном и индивидуальном производстве, особенно при изготовлении крупных отливок ответственного назначения, применяются облицовочная и наполнительная смеси. В этом случае облицовочные смеси служат для выполнения поверхности формы, непосредственно контактирующей с металлом отливки. Их применяют при изготовлении средних и крупных форм, которые подвергают сушке или поверхностной подсушке. Облицовочную смесь наносят на модель слоем толщиной 20...50 мм, остальной объём опоки заполняют наполнительной смесью. Наполнительная смесь готовится из отработанной (горелой) смеси с дополнением свежих материалов до 5 %. В качестве облицовочных смесей крупных форм часто используют самотвердеющие и химически твердеющие смеси, позволяющие исключить операцию сушки.

#### 2.2. Стержневые смеси

Стержни воспринимают значительное давление со стороны заливаемого литейного сплава и работают в затрудненных условиях отвода газов. Поэтому к свойствам и составу стержневых смесей предъявляются повышенные требования. Стержневые смеси классифицируют, в основном, по содержанию в них связующих веществ - крепителей: 1) песчано - глинистые стержневые смеси из песка и глины с введением некоторых добавок; 2) песчаные смеси на специальных органических связующих веществах (олифа, льняное масло, сульфитный щелок, декстрин, битум) и неорганических связующих крепителях (жидкое стекло, фосфатные связки, цементы и др.).

Выбор связующего вещества зависит от его удельной прочности, конструкции и назначения стержней. Все стержни из песчано-глинистых смесей и смесей на специальных крепителях проходят сушку.



### 2.3. Основные свойства формовочных смесей и их влияние на качество отливок

**Основные свойства формовочных смесей.** Качество отливок, изготавливаемых в песчаных формах, в значительной мере связано со свойствами формовочных и стержневых смесей: влажности, прочности и газопроницаемости. Под *влажностью* формовочной и стержневой смесей понимается содержание в ней воды, выраженное в процентах к массе смеси. Влажность смеси влияет на ее пластичность, прочность и газопроницаемость. Недостаточная влажность приводит к снижению пластичности, прочности и даже газопроницаемости. Рабочая влажность смесей находится в летнее время в пределах 4...7%, а в зимнее – 4...5%.

Зависимость газопроницаемости  $K$  и прочности  $\sigma_{сж}$  от влажности песчано-глинистых смесей представлены на рис. 1.1.

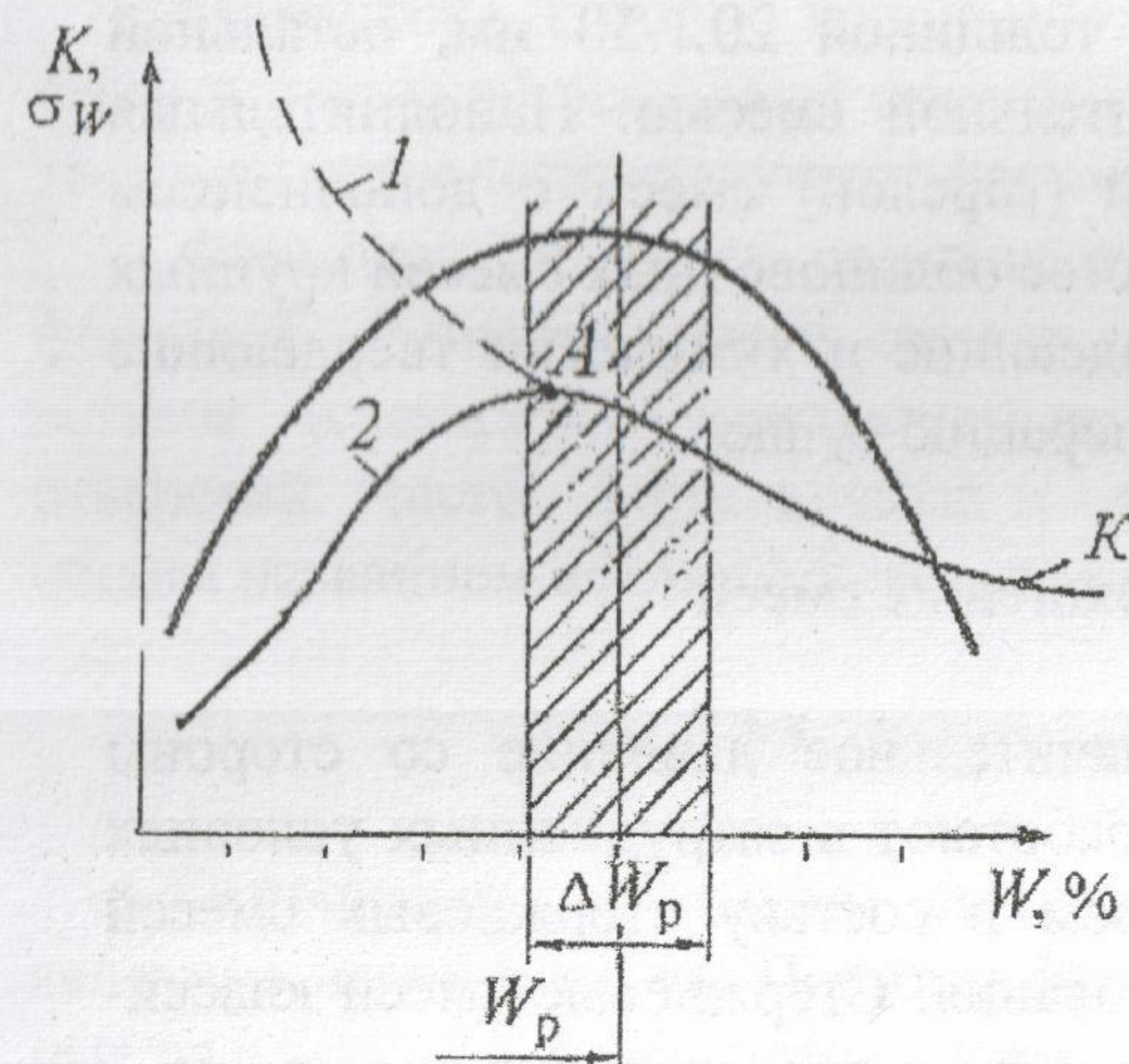


Рис. 1.1. Принципиальные зависимости газопроницаемости  $K$  и прочности на сжатие  $\sigma_{сж}$  смесей от их влажности  $W$  [1, с. 140]

При начальном увеличении влажности поры заполнены пылью и поэтому газопроницаемость низкая. Затем повышение газопроницаемости до точки  $A$  объясняется тем, что при увеличении влажности вода способствует укрупнению пылевидных частиц, поры при этом увеличиваются. Кроме того, при смачивании каналов снижается трение проходящих газов. При влажности более высокой, чем в точке  $A$ , каналы постепенно заполняются водой, и газопроницаемость снижается. В общем случае максимумы газопроницаемости  $K$  и прочности на сжатие  $\sigma_{сж}$  смесей не совпадают и поэтому выбирают область оптимальных значений свойств  $\Delta W_p$ .

**Влияние влажности формовочных смесей на качество отливок<sup>1</sup>.** Чрезмерная влажность вызывает повышенное выделение газов и паров за счёт взаимодействия влажной формовочной смеси с горячим расплавленным металлом, при этом также снижается газопроницаемость формовочной смеси, что в свою очередь приводит к возникновению различных дефектов в отливке. Типичные дефекты<sup>2</sup> в отливках представлены на рис. 1.2. К ним относятся газовые раковины (рис. 1.2,  $a$ ), ужимины (рис. 1.2,  $b$ ) и горячие трещины (рис. 1.2,  $в$ ), газовые раковины (рис. 1.2,  $г$ ) и пригар (рис. 1.2,  $d$ ).



Рис. 1.2. Дефекты в отливках:  $a$  – газовые раковины;  $b$  – ужимины;  $в$  – трещины;  $г$  – газовая пористость;  $d$  – пригар

**Влияние прочности формовочных смесей на качество отливок.** Пониженная прочность смесей вызывает брак по засорам, песчаные раковины и ужимины, вызванные частичным разрушением формы при её сборке и заливке. *Засоры* возникают осыпавшейся формовочной смесью, которая внедряется в поверхностный слой отливки. *Ужимина* – углубление в отливке, заполненное формовочным материалом и покрытое слоем металла (рис. 1.2,  $b$ ). *Горячие трещины* (рис. 1.2,  $в$ ) чаще возникают при температурах близких к температуре солидуса из-за неподатливости формы благодаря высокой прочности смеси и в местах резких переходов от тонких частей отливок к

<sup>1</sup> Подробнее о дефектах в отливках см. приложение 1

<sup>2</sup> ГОСТ 19200 – 80. Отливки из чугуна и стали. Термины и определения дефектов



толстым. *Песчаные раковины* – открытые или закрытые пустоты в теле отливки, которые возникают из-за низкой прочности формы и стержней, слабого уплотнения формы и других причин.

**Влияние газопроницаемости формовочных смесей на качество отливок.** При недостаточной газопроницаемости формы в отливках также появляются газовая пористость, ужимины, газовая шероховатость и раковины. *Газовая пористость* (рис. 1.2, з) – мелкие поры, распределённые в теле отливки и образовавшиеся в результате выделения газов при затвердевании металла. *Газовая шероховатость* – сферообразные углубления на поверхности отливки, возникающие вследствие роста газовых раковин на поверхности раздела металл – форма. *Пригар* (рис. 1.2, д) представляет собой трудно отделяемый слой (корку) формовочной или стержневой смеси, прочно удерживаемый на поверхности отливки и резко ухудшающий качество её поверхности.

В литейных цехах контроль качества формовочных и стержневых смесей обычно сводится к определению влажности, газопроницаемости, предела прочности на сжатие сырых и на растяжение сухих образцов.

#### 2.4. Определение основных технологических свойств формовочных и стержневых смесей [1,2]

К *технологическим свойствам* формовочных и стержневых смесей относятся влажность, формуемость, газотворность, газопроницаемость, прочность, осыпаемость, твердость, пластичность и др. В этой работе рассмотрим экспериментальные методы определения влажности, газопроницаемости, прочности формовочных смесей с использованием стандартных приборов.

**2.4.1. Определение влажности.** После приготовления смеси определяют её влажность. Содержание влаги в смесях определяют двумя методами: нормальным и ускоренным.

**Нормальный метод.** Навеску  $50 \pm 0,01$  г исследуемой смеси помещают в предварительно высушенные и взвешенные фарфоровые чашки, а затем переносят в сушильную печь. Температура в печи должна быть  $105 \dots 110$  °С. По истечении 1 часа чашку с навеской вынимают из печи и взвешивают, затем опять помещают в печь. Этот процесс повторяют до установления постоянной массы, после чего

чашки с навеской помещают в эксикатор, где охлаждают до комнатной температуры и взвешивают.

Влажность смеси определяют по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m} 100 \%, \quad (1.1)$$

где  $m_1$  – масса ёмкости с навеской до сушки, г;  $m_2$  – масса ёмкости с навеской после сушки, г;  $m$  – масса навески до высушивания, г.

**Ускоренный метод.** Для ускоренного определения влаги формовочной смеси используют прибор модели 062М2 УЗЛО (Усманского завода литейного оборудования), который не требует сжатого воздуха (рис. 1.3). Для сокращения продолжительности испытания сушку осуществляют инфракрасной лампой. Навеску массой  $10 \pm 0,01$  г исследуемой смеси насыпают на лоток поворотного столика 4 прибора, а затем помещают под колпак 2, внутри которого имеется инфракрасная лампа. Сушка до постоянной массы продолжается в течение 3...5 мин. В неавтоматизированных литейных цехах влажность смеси можно определить *косвенным* путём по показаниям ручной пробы<sup>3</sup>. Для этого в руку набирают порцию смеси, сжимают пальцы и получают комок уплотнённой смеси.

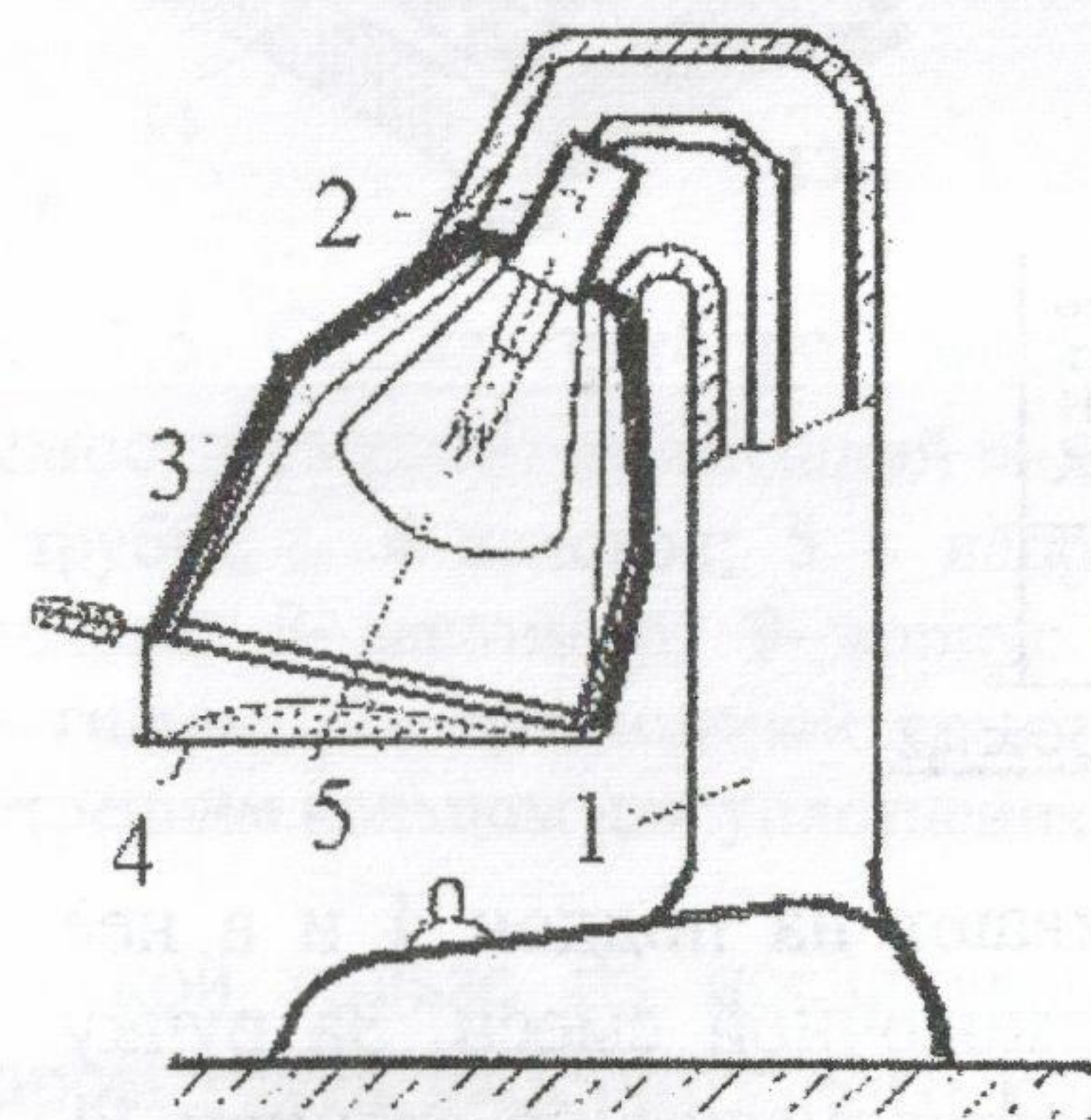


Рис. 1.3. Прибор для ускоренного определения влажности модели 062М2: 1 – стойка; 2 – патрон с лампой; 3 – отражатель; 4 – поворотный столик; 5 – навеска смеси

По отпечаткам пальцев на полученном комке (пробе) судят о влажности смеси: 1...1,5 % влажность имеет проба готовая рассыпаться; при 3...5 % влажности образуется твердый, прочный комок с незначительными следами (ямками) отпечатков пальцев, а при большей влажности следы пальцев имеют явную выраженность. Этим

<sup>3</sup> Нем. *handformgerecht*



способом часто пользуется опытный литейщик (оператор). После установления влажности смеси определяют её газопроницаемость.

**2.4.2. Определение газопроницаемости.** Способность форм и стержней пропускать через себя газы определяется газопроницаемостью формовочных материалов. Для установления газопроницаемости на лабораторном копре модели 031 изготавливают стандартные образцы (рис. 1.4).

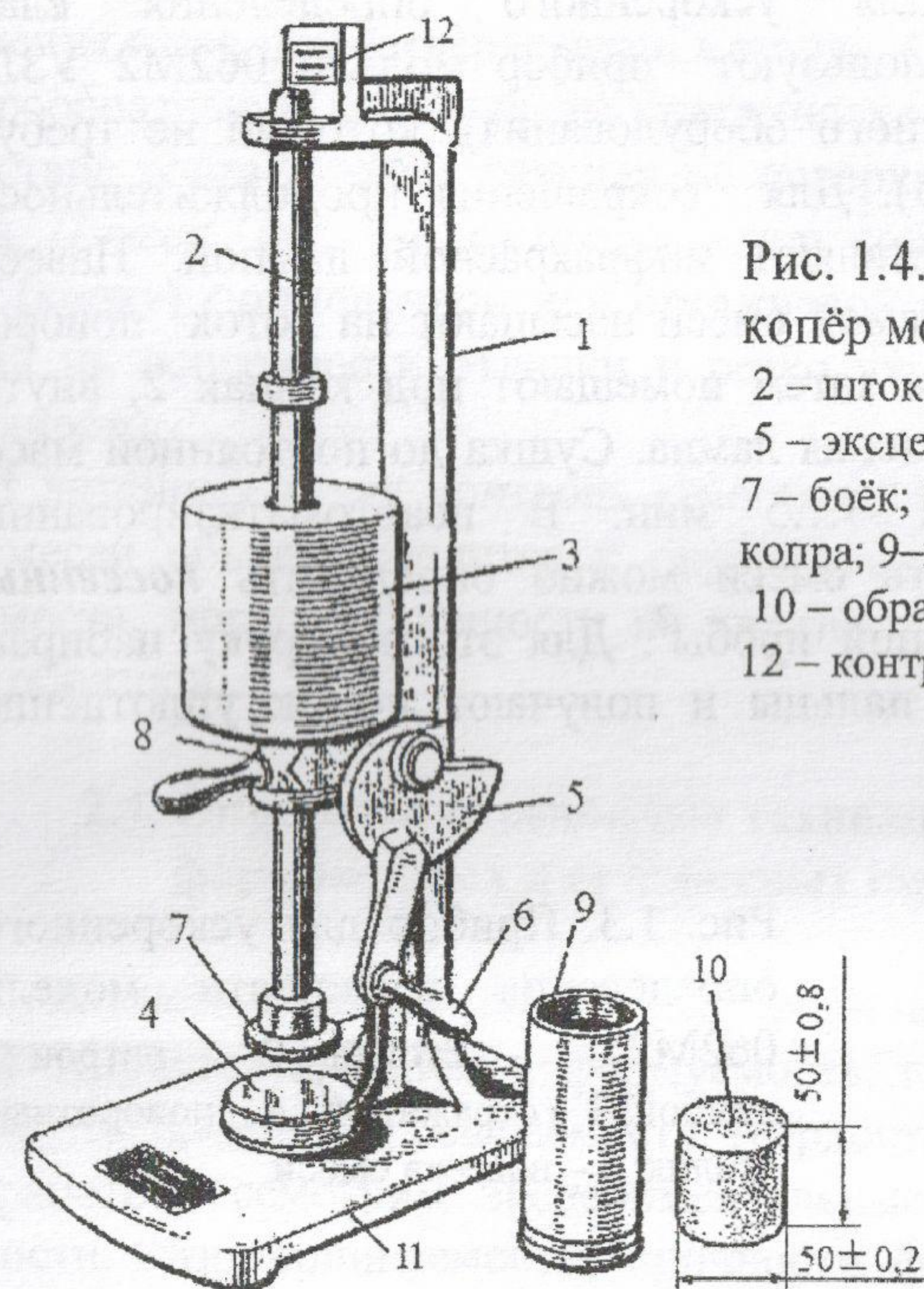


Рис. 1.4. Лабораторный копр модели 031: 1 – стойка; 2 – шток; 3 – груз; 4 – поддон; 5 – эксцентрик; 6 – рукоятка; 7 – боёк; 8 – ручка (подъёмник) копра; 9 – металлическая гильза; 10 – образец; 11 – станина; 12 – контрольные риски

Металлическую гильзу 9 устанавливают на поддон 4 и в неё засыпают навеску (примерно 170 г) формовочной смеси. За ручку копра 8 поднимают шток 2 и груз 3, устанавливают на станину 11 поддон с гильзой, затем осторожно и плавно опускают боёк 7 со штоком 2 в гильзу до соприкосновения со смесью. Вращением рукоятки 6 с эксцентриком 5 уплотняют смесь тремя ударами груза 3 с массой  $6,35 \pm 0,015$  кг, падающего с высоты  $50 \pm 0,25$  мм. Контроль проводится по трем горизонтальным рискам 12, нанесенным через 0,8 мм на верхней части стойки 1 станины. Совпадение верхнего торца штока 2 со средней риской соответствует высоте образца 50 мм.

Крайние риски указывают на допускаемые отклонения  $\pm 0,8$  мм. После уплотнения гильзу с поддоном снимают с копра, отделяют поддон от гильзы и производят определение газопроницаемости смеси нормальным или ускоренным методами.

**Нормальный метод.** Газопроницаемость смеси определяют на широко известном приборе модели 041 (рис. 1.5). Для этого в метал-

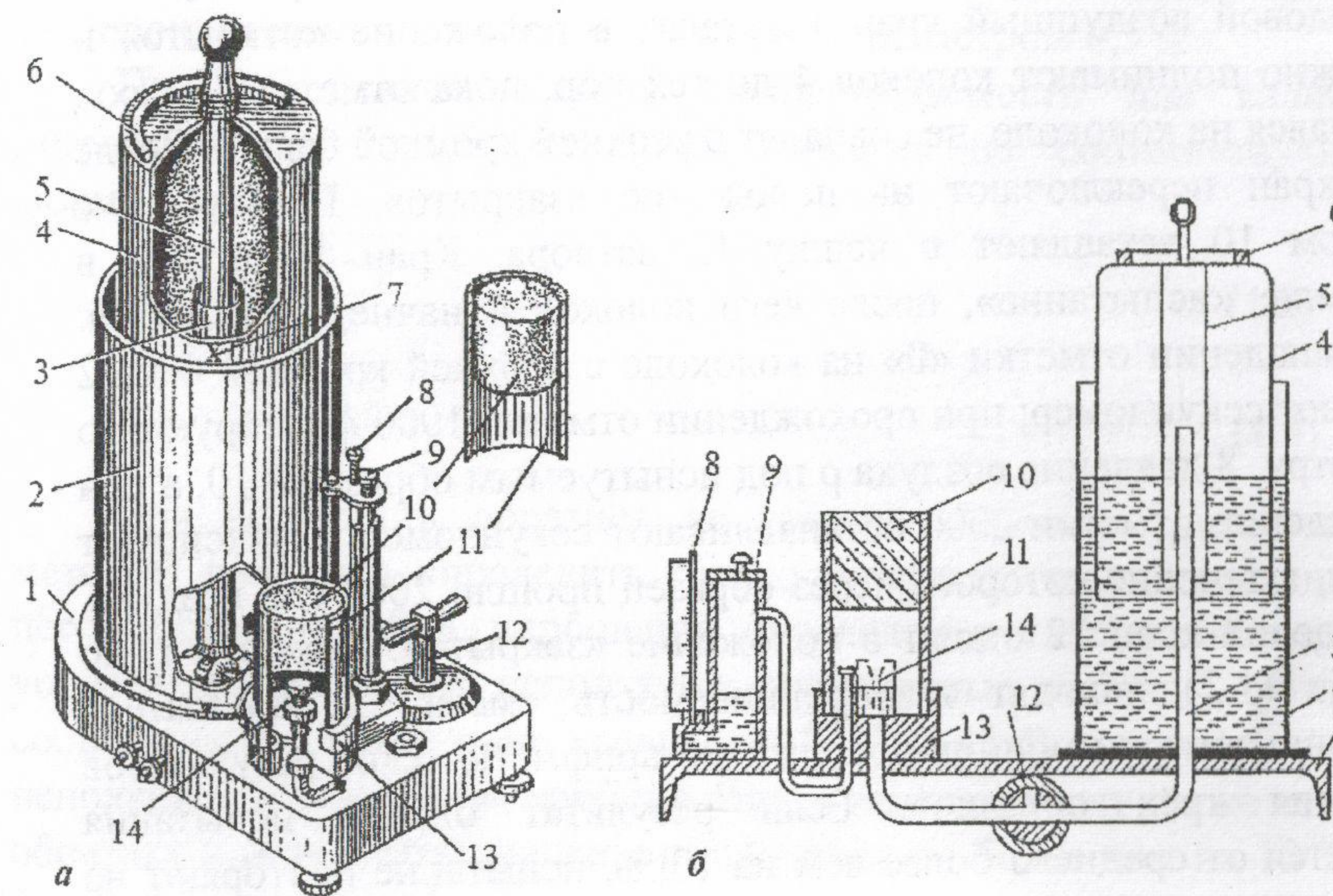


Рис. 1.5. Схема прибора модели 041 для определения газопроницаемости смесей: а – внешний вид; б – схема прибора: 1 – основание; 2 – бак; 3 – трубка; 4 – колокол; 5 – направляющая трубка; 6 – груз; 7 – метка на колоколе; 8 – манометр; 9 – корпус резервуара манометра; 10 – образец; 11 – гильза; 12 – трехходовой кран; 13 – чаша (патрон Фишера с резиновым внутренним кольцом для уплотнения); 14 – ниппель

лической гильзе из исследуемой смеси изготавливают трёхкратным ударом груза лабораторного копра стандартный образец 10 диаметром и высотой 50 мм (см. рис. 1.4). Через стандартный образец пропускают  $2000 \text{ см}^3$  воздуха комнатной температуры. При этом по манометру снимают показания давления воздуха перед образцом  $p$  и по секундомеру фиксируют время  $t$  опускания колокола, то есть время прохождения всего объёма воздуха. Величину газопроницаемости  $K$ ,  $\text{см}^4/(\text{г} \cdot \text{мин})$ , формовочных материалов вычисляют по формуле



$$K = \frac{V h}{F p \tau} = \frac{509,6}{p \tau}, \quad (1.2)$$

где  $V$ —объём воздуха, прошедшего через образец ( $2000 \text{ см}^3$ );

$h$ —высота образца ( $5 \text{ см}$ );

$F$  - площадь поперечного сечения образца ( $19,6 \text{ см}^2$ );

$p$ —показание манометра, см. вод. ст. ( $\text{г/см}^2$ );

$\tau$  - время прохождения  $2000 \text{ см}^3$  воздуха через образец, мин.

Трехходовой воздушный кран 12 ставят в положение «открыто» и осторожно поднимают колокол 4 до тех пор, пока отметка 7 — «х», имеющаяся на колоколе, не совпадет с верхней кромкой бака 2. После этого кран переключают на положение «закрыто». Гильзу 11 с образцом 10 вставляют в чашку 13 затвора. Кран 12 ставят в положение «испытание», после чего колокол 4 начнет опускаться. При совпадении отметки «0» на колоколе с верхней кромкой бака 2 включают секундомер; при прохождении отметки 1000 фиксируют по манометру 8 давление воздуха  $p$  под испытуемым образцом 10, а при прохождении отметки 2000 останавливают секундомер и фиксируют время  $\tau$ , в течение которого через образец прошло  $2000 \text{ см}^3$  воздуха. Трехходовой кран 12 ставят в положение «закрыто». Зная  $p$  и  $\tau$ , по формуле (1.2) находят газопроницаемость смеси. За показатель газопроницаемости принимают среднее арифметическое результатов испытания трёх образцов. Если результат одного испытания отличается от среднего более чем на 10 %, испытание повторяют на трёх вновь изготовленных образцах.

**Пример.** При испытании образца определено манометрическое давление  $p = 2,5 \text{ см вод. ст.}$ . Время прохождения  $2000 \text{ см}^3$  воздуха равно  $\tau = 1,5 \text{ мин.}$  Газопроницаемость по формуле (1.2) будет равна  $K = 509,6 / (2,5 \cdot 1,5) = 135,9 \text{ см}^4 / (\text{г} \cdot \text{мин})$ . На практике считают, что газопроницаемость является безразмерной и принимают, что она составляет 135,9 единиц.

**Ускоренный метод.** Давление под колоколом при ускоренном методе испытания должно составлять  $10 \text{ см вод. ст.} \approx 10 \text{ г/см}^2 \approx 980,7 \text{ Па} \approx 1 \text{ кПа}$ . С этой целью на неподвижный колокол надевают съёмные чугунные кольца (груз) 6 (см. рис. 1.5), масса которых и обеспечивают такое давление. В воздухопровод прибора вставляют дополнительное сопротивление в виде ниппеля 14. В комплекте прибора имеется два ниппеля с калиброванными отверстиями диаметром  $0,5$  и  $1,5 \text{ мм}$ , которые поддерживают определённый минутный расход воздуха для каждого образца. Поэтому при

использовании этого метода газопроницаемость определяется только как функция давления и отпадает необходимость отсчёта времени прохождения воздуха через образец. Давление перед образцом выравнивается в сотые доли секунды, поэтому нет необходимости дожидаться опускания колокола до отметки  $2000 \text{ см}^3$ . При испытании смеси с ожидаемой газопроницаемостью более 50 применяют ниппель с отверстием  $1,5 \text{ мм}$  и соответственно для смеси с газопроницаемостью до 50 — с отверстием диаметром  $0,5 \text{ мм}$ .

При ускоренном методе газопроницаемость для калибров диаметром  $0,5$  и  $1,5 \text{ мм}$  подсчитывается по соответствующим формулам

$$K = 35,3 \frac{\sqrt{10-p}}{p}; \quad (1.3)$$

$$K = 322 \frac{\sqrt{10-p}}{p}. \quad (1.4)$$

При испытании образцов на газопроницаемость ускоренным методом требуется определить только манометрическое давление  $p$  перед образцом. Для упрощения определения газопроницаемости ускоренным способом используют специальные таблицы, которые составлены на основании уравнений (1.3) и (1.4) и приведены на неподвижном резервуаре прибора. Испытание проводят также на трёх образцах и результаты должны различаться не более чем на 10 %. К факторам, влияющим на газопроницаемость, относятся зерновой состав, плотность и влажность смеси.

**2.4.3. Определение прочности при сжатии смеси во влажном состоянии.** Эксперименты проводят на рычажном приборе модели 051 (рис. 1.6) по образцам, прошедшим испытание на газопроницаемость. С помощью выталкивателя образец осторожно извлекают из гильзы и устанавливают на площадку 6 рычажного прибора, предварительно проверяя, чтобы указатель 4 каретки 2 стоял на делении «0» шкалы рычага 5. Затем, с помощью винта 8 и верхней площадки 7 производят зажим образца и вращением рукоятки 3 с винтом 1 перемещают каретку 2 до тех пор, пока под действием постоянно возрастающей сжимающей нагрузки образец не разрушится; при этом указатель 4 фиксирует на рычаге 5 разрушающее усилие. Прочность на сжатие образцов во влажном состоянии, а также при растяжении сухих образцов, измеряют в  $\text{кг/см}^2$ , поскольку используемые приборы имеют градуировку шкал в этих единицах. Полученные



результаты выражают в размерности ( $1 \text{ кг/см}^2 \approx 10^5 \text{ Па} \approx 0,1 \text{ МПа}$ ). Испытание проводят на трёх образцах. За показатель прочности  $\sigma_{\text{сж}}$  принимают среднее арифметическое значение результатов трех испытаний.

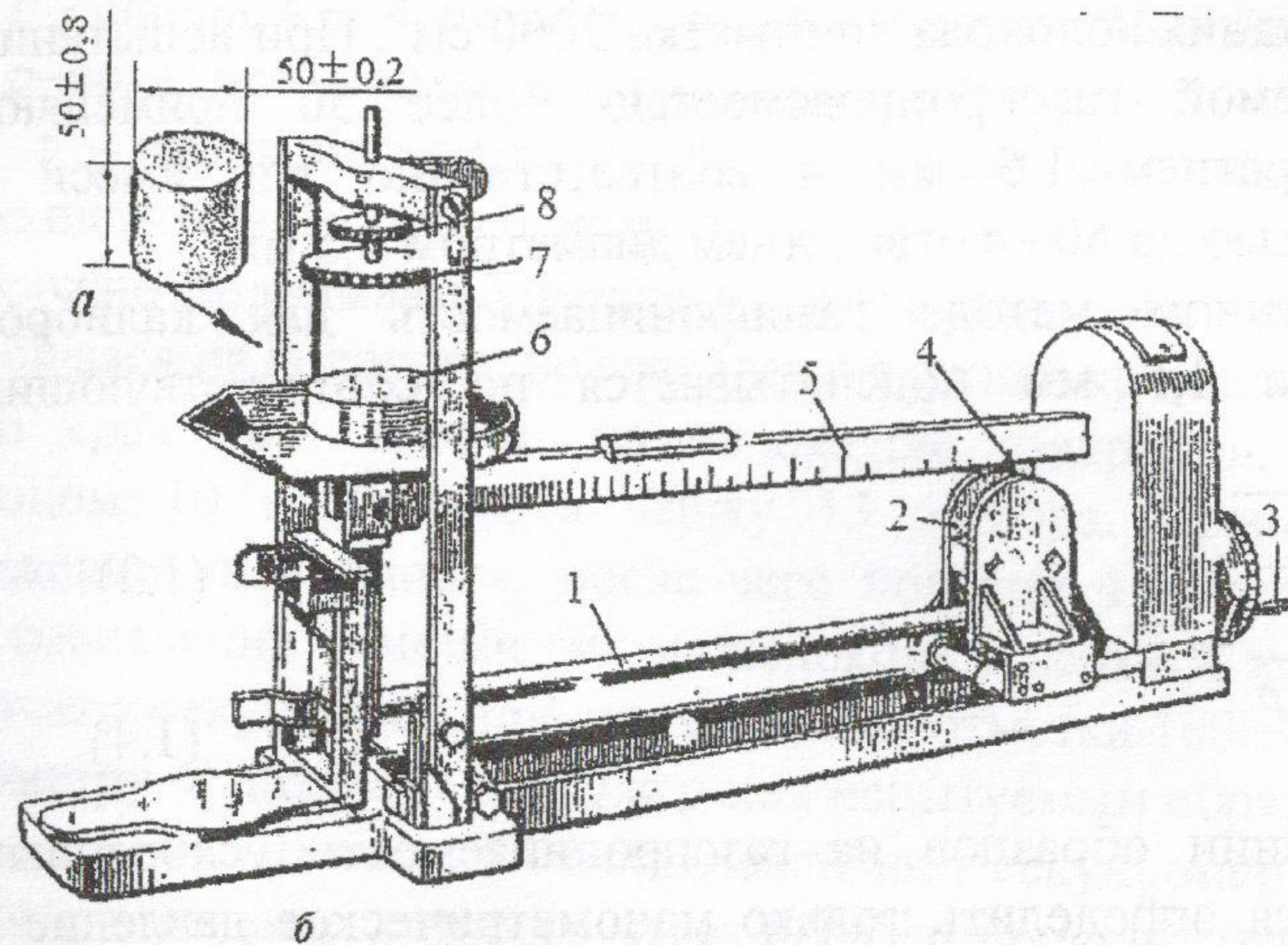


Рис. 1.6. Схема испытания влажных образцов из формовочных смесей на сжатие: *a* – образец для испытаний; *б* – рычажный прибор модели 051 для определения прочности при сжатии влажных образцов: 1 – ходовой винт; 2 – каретка; 3 – рукоятка; 4 – указатель; 5 – шкала рычага; 6 – нижняя площадка; 7 – верхняя площадка; 8 – гайка

Если прочность какого – либо из образцов отличается от других более, чем на 10 %, то испытание проводят заново, для чего делают три новых образца.

**2.4.4. Определение прочности смеси при растяжении.** Предел прочности при растяжении определяют на сухих образцах, имеющих форму восьмёрки (рис. 1.7, *a*). «Восьмёрка» изготавливается в специальном металлическом (стержневом) ящике (рис. 1.7, *б*). Для этого на поддон 1 ставят половинки 2 и 3 формы (рис. 1.7, *в*), фиксируя их между собой штырями 7. Затем на форму, образованную двумя половинками, устанавливают воронку 4, обеспечивая их соосность и скрепляют между собой винтом 6. Навеску смеси (110...120 г) насыпают в форму, сверху вставляют колодку 5, затем таким образом подготовленное приспособление устанавливают под боёк копра 7 (см. рис. 1.4) и смесь уплотняют тремя ударами груза вращением рукоятки 6. Если уплотнение проведено правильно, то верхняя плоскость воронки должна находиться в пределах трёх

контрольных рисок, имеющих на колодке. После удаления колодки отвинчивают винт 6 и снимают воронку. Если уплотнённая смесь выступает за верхний уровень формы, то требуемая высота образцов достигается срезанием лишней смеси горизонтальным перемещением воронки при её снятии с формы. Форму с образцом осторожно переносят на специальную подставку и разбирают раздвижением половинок формы в стороны. Образец на подставке помещают в сушильный шкаф. Режим сушки определяется типом связующего материала. Для испытания используют предварительно высушенный и охлаждённый образец. Испытание проводят на рычажном приборе модели 083М (рис. 1.7, *в*).

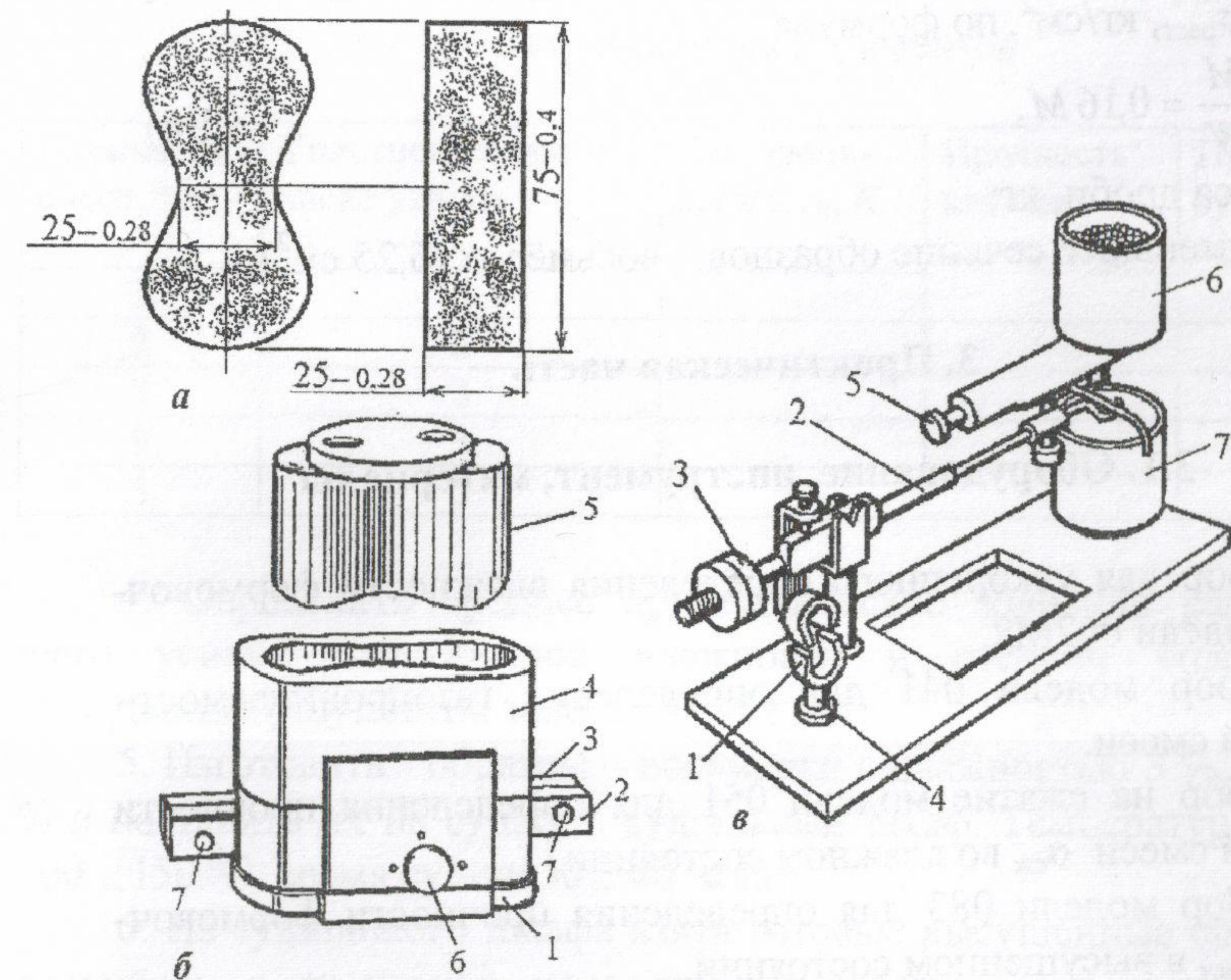


Рис. 1.7. Испытание сухой формовочной смеси на растяжение: *a* – образец-восьмёрка для испытаний; *б* – приспособление (металлический стержневой ящик) для изготовления образцов: 1 – поддон; 2, 3 – половинки формы; 4 – воронка; 5 – колодка; 6 – винт; 7 – штыри; *в* – прибор модели 083 М для определения предела прочности при растяжении  $\sigma_{\text{раст}}$  сухих образцов: 1 – зажим или захват; 2 – рычаг; 3 – груз; 4 – гайка; 5 – затвор; 6 – бункер с чугунной дробью; 7 – ведёрка с навеской дробью.

Перед испытанием рычаг 2 устанавливают в горизонтальное положение, меняя положение груза 3 его вращением по резьбе.



Вращением гайки 4 поднимают нижний зажим в верхнее положение. Затем образец свободно без усилий помещают между верхним и нижним зажимами, опускают нижний зажим вращением гайки 4, что приводит к затягиванию зажимов до плотного их соприкосновения с образцом. После этого оттягивают затвор 5, открывается при этом отверстие бункера 6 и дробь из него высыпается в ведро 7. При нарастании массы ведра с дробью к образцу прикладывается возрастающее растягивающее усилие, которое и разрушает образец. В момент разрыва образца рычаг 2 падает и затвор 5 перекрывает выходное отверстие воронки 6. Дробь взвешивают (масса ведра составляет 310 г) и определяют предел прочности смеси при растяжении  $\sigma_{\text{раст}}$ , кг/см<sup>2</sup>, по формуле

$$\sigma_{\text{раст}} = \frac{M}{W} = 0,16 M, \quad (1.4)$$

где  $M$  – масса дроби, кг;  
 $W$  – наименьшее сечение образцов – восьмёрок (6,25 см<sup>2</sup>).

### 3. Практическая часть

#### 3.1. Оборудование, инструмент, материалы

1. Прибор для ускоренного определения влажности формовочной смеси модели 062М2.
2. Прибор модели 041 для определения газопроницаемости формовочной смеси.
3. Прибор на сжатие модели 051 для определения прочности формовочной смеси  $\sigma_{\text{сж}}$  во влажном состоянии.
4. Прибор модели 083 для определения прочности формовочной смеси  $\sigma_{\text{раст}}$  в высушенном состоянии.
5. Лабораторный копер модели 031 для изготовления образцов из формовочной смеси.
6. Гильза для изготовления образцов, предназначенных для определения газопроницаемости и прочности формовочной смеси во влажном состоянии.
7. Форма (металлический ящик) для изготовления образцов – восьмёрок, предназначенных для определения прочности формовочных смесей в сухом состоянии.
8. Печь сушильная.
9. Формовочная смесь с влажностью 3; 5; 7 и 9 %.

#### 3.2. Последовательность выполнения работы

1. Изготовить по 3 цилиндрических образца с разной влажностью: 3; 5; 7 и 9 %. Уплотнение осуществлять тремя ударами груза копра. Смесь с влажностью 5 % дополнительно изготовить и испытать после уплотнения пятью ударами груза копра.

2. Испытать образцы на газопроницаемость ускоренным методом на приборе 062М2 с ниппелем 1,5 мм и на сжатие на приборе 051.

3. Результаты испытаний занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результаты экспериментов

Влажность смеси, %	Уплотнение смеси – число ударов	Газопроницаемость, $K$	Прочность влажной смеси, $\sigma_{\text{сж}}$	Прочность сухой смеси, $\sigma_{\text{раст}}$
3	3			
5	3			
7	3			
9	3			
5	5			

4. Определить среднее арифметическое значение разрушающего усилия для каждой влажности и степени уплотнения. Полученные результаты занести в табл. 1.1.

5. Изготовить образцы – восьмёрки с влажностью 3 %, 5 % и 7 % и поставить их на сушку в сушильный шкаф. Температура сушки 100...150 °С, время сушки 30...40 мин.

6. Из сушильного шкафа взять готовые высушенные образцы – восьмёрки с различной исходной влажностью и подвергнуть их растяжению на рычажном приборе.

7. Результаты испытаний занести в табл. 1.1.

8. По полученным экспериментальным результатам рассчитать среднее арифметическое значение газопроницаемости  $K$ , предела прочности сырых  $\sigma_{\text{сж}}$  и предела прочности сухих образцов  $\sigma_{\text{раст}}$ .

9. На одном рисунке построить зависимости газопроницаемости  $K$ , предела прочности сырых  $\sigma_{\text{сж}}$  и предела прочности сухих образцов  $\sigma_{\text{раст}}$  от влажности формовочных смесей.

10. Проанализировать полученные зависимости и написать выводы по работе.



#### 4. Содержание отчёта

- название работы и её цель;
- схемы приборов, описание их устройства и методов определения свойств формовочной смеси;
- таблицы с результатами экспериментов и графики зависимости газопроницаемости, пределов прочности смеси в сыром и высушенном состояниях, их обсуждение и выводы по работе.

#### 5. Контрольные вопросы

- 5.1. Назовите основные компоненты формовочных смесей и укажите для чего они предназначены?
- 5.2. Какие Вы знаете формовочные смеси по назначению и состоянию литейной формы перед заливкой? Поясните их назначение.
- 5.3. В чем заключается приготовление формовочных смесей?
- 5.4. Чем отличаются стержневые смеси от формовочных?
- 5.5. Какие формовочные смеси используются в условиях индивидуального и серийного производства?
- 5.6. Какие используются смесители для приготовления формовочных и стержневых смесей? Расскажите их устройство и принцип действия.
- 5.7. Какие свойства относятся к технологическим свойствам формовочных смесей?
- 5.8. Какие методы определения влажности Вы знаете?
- 5.9. В чём отличие между нормальным и ускоренным методами определения газопроницаемости?
- 5.10. Каким образом определяют влажность, газопроницаемость и прочность смесей?
- 5.11. Какое влияние оказывают прочностные свойства, газопроницаемость и влажность формовочных смесей на качество получаемых отливок?
- 5.12. Опишите устройство приборов и принцип их работы для определения влажности, газопроницаемости и прочности смесей.
- 5.13. Какой характер имеют зависимости прочности и газопроницаемости смесей от содержания в них влаги?
- 5.14. Почему с увеличением исходной влажности прочность сухих образцов возрастает?

#### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ОТЛИВОК

#### 1. Цель работы

1. Изучить литейные свойства сплавов.
2. Приобрести навыки определения жидкотекучести и усадки литейных сплавов.
3. Установить влияние жидкотекучести и усадки сплавов на качество отливок.

#### 2. Теоретическая часть

*Литейными* называются свойства сплавов, которые проявляются при заполнении формы, кристаллизации и дальнейшем охлаждении отливок в форме [3]. Наиболее важными литейными свойствами сплавов являются: жидкотекучесть, усадка, склонность к ликвации и газопоглощению, образованию горячих трещин и пор.

##### 2.1. Жидкотекучесть литейных сплавов

*Жидкотекучестью* называется способность сплава в расплавленном состоянии заполнять полость формы и воспроизводить её конфигурацию. Жидкотекучесть сплава зависит от его химического состава, температуры заливаемого в форму сплава и теплопроводности материала формы. Способность жидкого металла заполнять форму зависит также от состояния поверхности формы и стержня, размеров и формы поперечного сечения каналов литниковой системы, скорости заливки, температуры формы.

**2.1.1. Влияние химического состава и температуры перегрева сплава на жидкотекучесть.** *Чистые металлы*, а также *эвтектические сплавы*, кристаллизуются при постоянных температурах и имеют хорошую жидкотекучесть. Кроме того, эвтектические сплавы имеют самую низкую температуру плавления, чем другие сплавы той же системы и поэтому широко применяются для получения отливок. Сплавы представляющие собой *твердые растворы и химические соединения*, обладают худшей жидкотекучестью.



При добавлении некоторых компонентов, например фосфора, жидкотекучесть чугуна и бронзы повышается. Так, введение от 0,5 до 1,5 % фосфора в чугун позволяет увеличить его жидкотекучесть настолько, что из такого чугуна без особых затруднений отливаются тонкостенные отопительные радиаторы, поршневые кольца для двигателей внутреннего сгорания и другие тонкостенные детали. Бронза с содержанием фосфора около 1 % используется для отливки художественных изделий: скульптур, барельефов, тонкостенных решеток, монументов и т. п. Кремний и углерод также улучшают жидкотекучесть чугунов. Наряду с этим существуют в литейных сплавах тугоплавкие компоненты, которые ухудшают жидкотекучесть, например, вольфрам, ванадий, титан, молибден. Некоторые компоненты, например марганец и сера по отдельности, слабо влияют на жидкотекучесть, но при совместном наличии их в сплаве образуется химическое соединение  $MnS$ , значительно снижающее жидкотекучесть.

Чем выше температура перегрева и теплосодержание сплава, тем меньше его вязкость и выше жидкотекучесть.

**2.1.2. Влияние состояния формы на жидкотекучесть.** На жидкотекучесть литейного сплава сильное влияние оказывает теплопроводность материала формы, в которую его заливают. Увеличение теплопроводности материала формы снижает жидкотекучесть. Так, песчаная форма отводит теплоту медленнее и расплавленный металл заполняет её лучше, чем металлическую форму, которая интенсивно охлаждает расплав. Заполняемость жидким металлом нагретых форм лучше, чем холодных, так как холодная форма понижает температуру заливаемого металла, а, следовательно, и ухудшает его жидкотекучесть.

Состояние формы (сырая форма или сухая) также оказывает влияние на ее заполняемость. При изготовлении крупных, сложной конфигурации отливок формы и стержни окрашивают и высушивают, так как при заливке сырых форм жидким металлом происходит быстрое испарение влаги. Образовавшийся водяной пар накапливается в еще незаполненных, особенно тонких полостях, и противодействует дальнейшему заполнению формы металлом. Величина противодействия пара и других газов может достигнуть такой величины, что будут наблюдаться выбросы жидкого металла из формы. Следовательно, лучшей заполняемостью обладают сухие окрашенные формы.

Шероховатость каналов литниковой системы, полости формы и поверхности стержня ухудшают заполняемость формы. Поэтому лучшей заполняемостью обладают формы из мелкозернистых песков.

**2.1.3. Влияние жидкотекучести на качество отливок.** Хорошая жидкотекучесть литейного сплава позволяет получить плотные и качественные отливки. Недостаточная жидкотекучесть расплава вызывает незаполнение отдельных тонких частей литейной формы – недоливы, а, следовательно, и искажение конфигурации и размеров отливки. Могут образоваться также такие дефекты отливок как спай, газовые и шлаковые раковины. Спай – углубление с закругленными краями на поверхности отливки, образовавшееся в результате смыкания потоков металла с недостаточной жидкотекучестью. При плохой жидкотекучести случайно попавшие в литниковую систему шлаковые включения не успевают всплыть в шлакоуловителе и при затвердевании металла остаются в стенках отливки. Шлаковая раковина – полость, частично или полностью заполненная шлаком.

**2.1.4. Способы определения жидкотекучести сплавов<sup>4</sup>.** Жидкотекучесть определяется путем заливки расплавленным сплавом специальных технологических проб при некоторой постоянной температуре. За ее меру принимают длину заполненной расплавом части полости пробы, измеряемую в миллиметрах. Жидкотекучесть чугуна, бронзы и алюминиевых сплавов принято определять с помощью спиральной пробы трапециадального сечения, модель которой представлена на рис. 2.1, а. На модели спирали и соответственно в форме имеются отметки через каждые 50 мм, облегчающие измерение длины спирали. Длина спирали, выраженная в миллиметрах, и является характеристикой жидкотекучести сплава в данных условиях. Для определения жидкотекучести стали пользуются пробами U-образного вида (рис. 2.1, б). Она имеет вертикальное расположение канала в металлической разъемной форме. Количественной характеристикой жидкотекучести является длина заполнившейся части вертикального канала диаметром 10 мм. Жидкотекучесть стали, магниевых и других сплавов определяется по стержневой пробе, полученной в песчаной форме (рис. 2.1, в), где 1 – сама форма; 2 – канал, заполняемый жидким сплавом; 3 – литниковая

<sup>4</sup> ГОСТ 16438 – 70. Формы песчаные и металлические для получения проб жидкотекучести металлов



воронка. В *клиновой пробе* (рис. 2.1, *г*) металл заполняет полость металлической формы переменного сечения. При этом мерой жидкотеку-

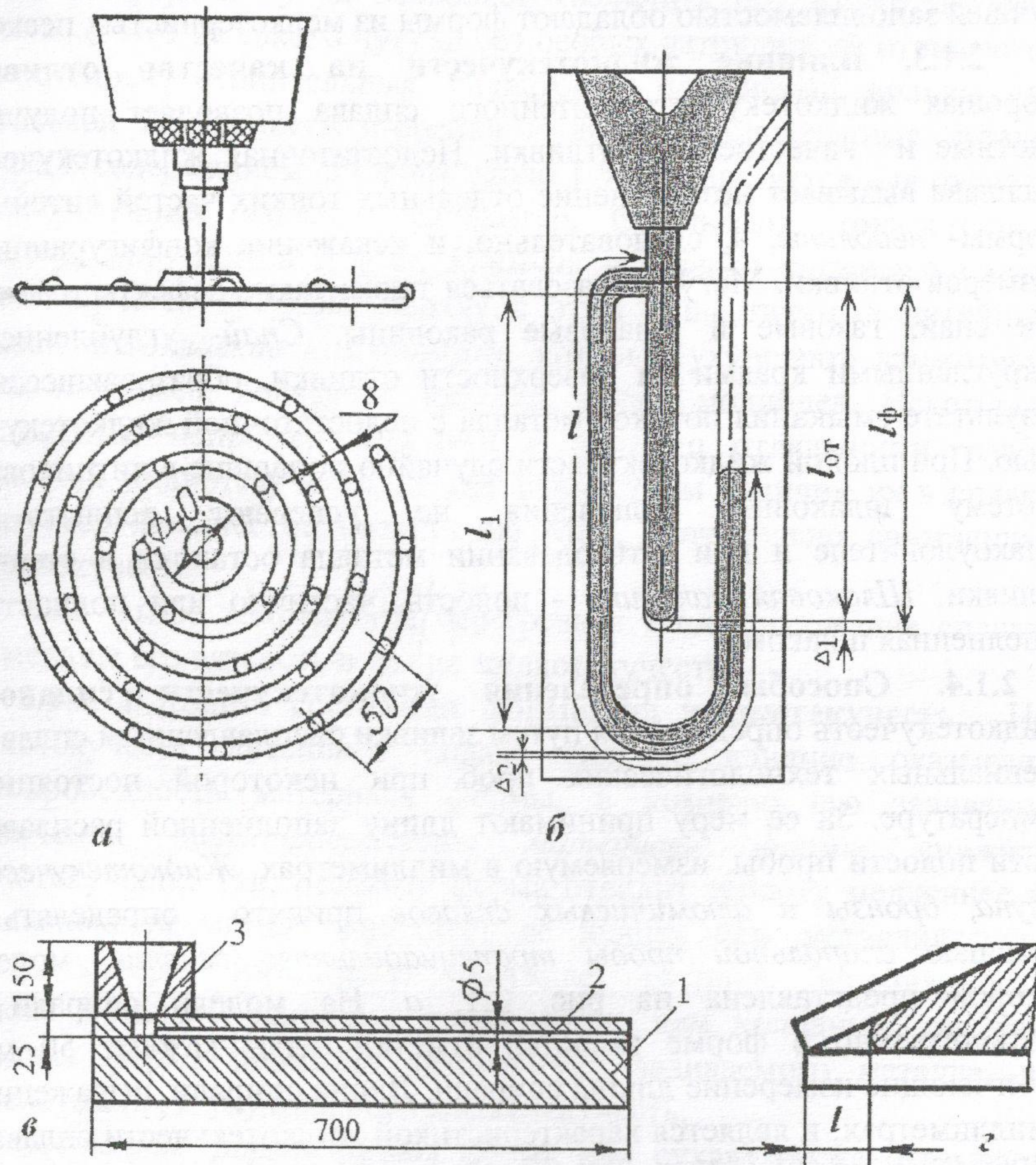


Рис. 2.1. Пробы на жидкотекучесть:  
*а* - спиральная; *б* - U-образная; *в* - стержневая; *г* - клиновья

текучести служит величина зазора  $l$  между затвердевшим металлом и вершиной угла клина (чем меньше  $l$ , тем больше жидкотекучесть).

## 2.2. Усадка литейных сплавов

Другим важным свойством, определяющим качество отливок является усадка. Усадкой металла или сплава называется свойство его

уменьшаться в объеме и линейных размерах в процессе затвердевания и при дальнейшем охлаждении отливки<sup>5</sup>. В отливках различают объемную и линейную усадку. Относительное изменение объемов отливки  $V_{от}$  по сравнению с объемом формы  $V_{ф}$ , выраженное в процентах, определяет объемную усадку  $\epsilon_{об}$ , которая наблюдается при кристаллизации и охлаждении отливки:

$$\epsilon_{об} = \frac{V_{ф} - V_{от}}{V_{от}} 100 \%,$$

где  $V_{ф}$  и  $V_{от}$  — объемы полости формы и отливки соответственно при комнатной температуре.

Относительное изменение линейных размеров отливки  $l_{от}$  по сравнению с размерами полостей формы  $l_{ф}$ , выраженное в процентах, определяет линейную усадку  $\epsilon_{лин}$ , которая наблюдается при кристаллизации и охлаждении отливки:

$$\epsilon_{лин} = \frac{l_{ф} - l_{от}}{l_{от}} 100 \% \quad (2.1)$$

где  $l_{ф}$  и  $l_{от}$  — размеры полости формы и отливки соответственно при комнатной температуре.

Величина *линейной усадки* зависит от химического состава сплава, температуры и скорости заливки его в форму, скорости охлаждения сплава в форме и сложности конфигурации самой отливки, а также от степени сопротивления усадке со стороны формы и стержня. Линейная усадка отливок из серого чугуна в среднем составляет 1 %, из стали — 2 %, из большинства сплавов цветных металлов — 1,5 %. Размеры моделей, по сравнению с предусмотренными чертежом, увеличивают на величину линейной усадки литейного сплава. Линейная усадка может вызвать в отливках возникновение напряжений, что приводит к короблению или образованию трещин в отливке. Такие трещины чаще возникают в тонкостенных отливках со сложной конфигурацией и с неравномерным сечением, изготовленных из сплавов с большой линейной усадкой.

**Дефекты усадочного характера в отливках.** С явлением усадки связаны основные технологические трудности производства фасонных отливок из-за образования в них усадочных раковин, пористости и трещин. *Усадочная раковина* — сравнительно крупная полость, располо-

<sup>5</sup> ГОСТ 16817 — 71. Форма песчаная и металлическая для определения линейной усадки цветных металлов и сплавов. Конструкция и размеры. Технические требования.



женная в местах отливки, затвердевающих в последнюю очередь (рис. 2.2, а). При затвердевании отливки сначала образуется около стенок формы корка 1, затем нарастает второй слой 2 и т. д., а уровень жидкого сплава в результате уменьшения его объема постепенно снижается. В результате в отливке образуется усадочная раковина (рис. 2.2, а, б).

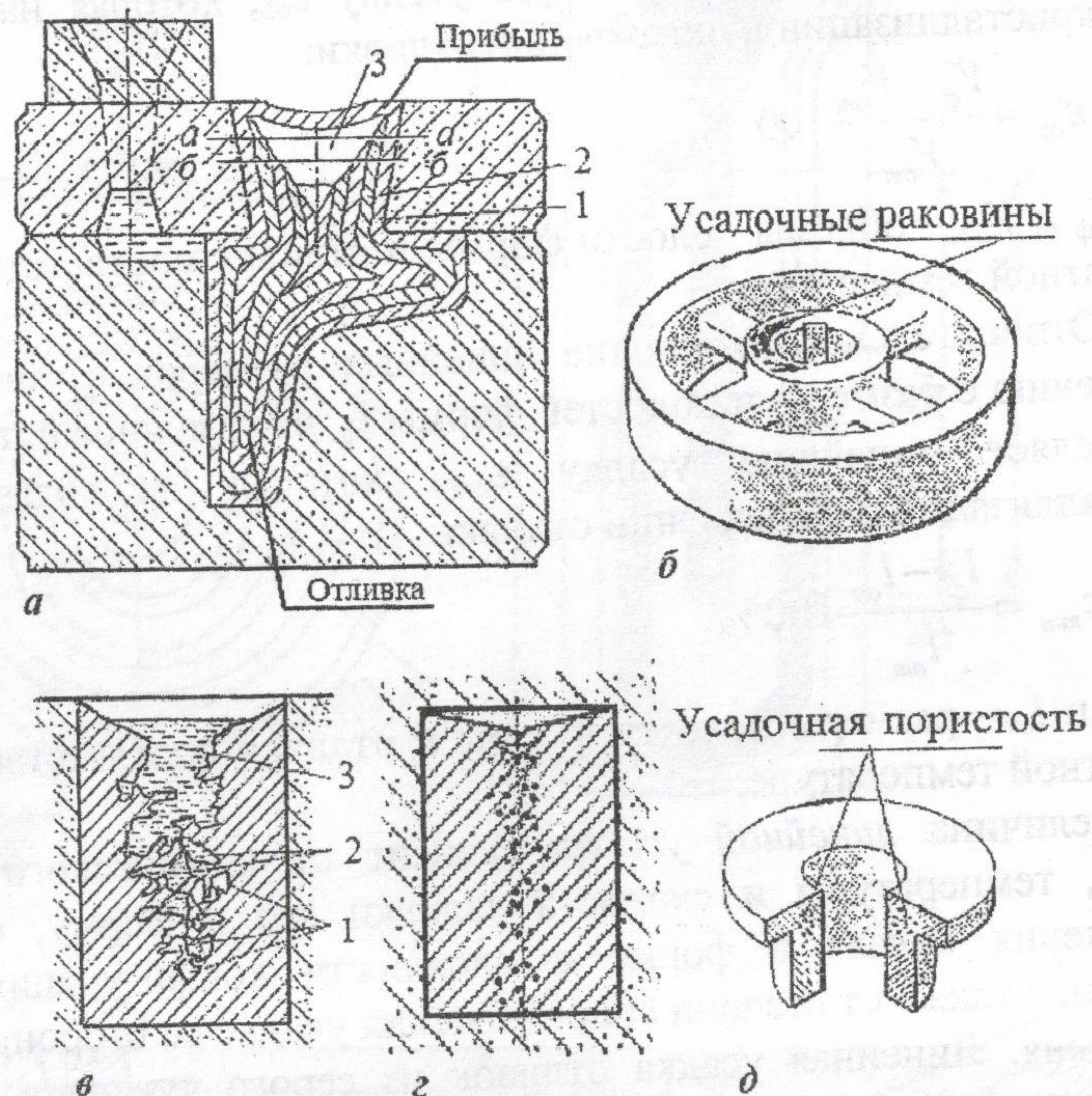


Рис. 2.2. Дефекты отливок усадочного характера: а – вынесение усадочных раковин в прибыльную часть отливок; б – усадочная раковина выявленная при механической обработке ступицы шкива; в, г, д – усадочная пористость

*Усадочная пористость* – скопление мелких пустот неправильной формы в обширной зоне отливки. Она в отливках появляется главным образом при затвердевании сплавов в интервале кристаллизации (рис. 2.2, в, г, д). Кристаллы, образующиеся одновременно во всем объеме отливки, срастаются друг с другом (рис. 2.2, в). Это приводит на этом этапе к образованию ячеек 2 с остатками жидкой фазы 3. Усадка кристаллов еще продолжается, а жидкий металл не может поступать в зону затвердевания, в результате образуются усадочные поры 1. Главным условием предупреждения в отливках усадочных раковин и

пористости является непрерывный подвод жидкого металла к кристаллизующемуся сплаву. Для этого в форме образуют дополнительную полость, которая служит прибылью (рис. 2.2, а).

Жидкий металл из прибыли питает отливку, а усадочная раковина образуется в прибыли, которую затем отделяют от отливки. Размеры прибылей выбираются по техническим условиям в зависимости от вида и массы отливки.

### 2.3. Ликвация в отливках, склонность к образованию трещин и к газопоглощению

*Ликвация*, или химическая неоднородность, возникает при переходе из жидкого расплава в твердое состояние вследствие уменьшения растворимости примесей. Неоднородность химического состава в пределах одного кристалла называется *дендритной ликвацией*, а в различных частях отливки (слитка) – *зональной ликвацией*. На процесс развития ликвации оказывают влияние конфигурация отливки, скорость охлаждения и другие технологические факторы. Чем крупнее отливка, тем медленнее, она охлаждается и тем больше развивается ликвация.

*Склонностью к образованию трещин* называется совокупность свойств, определяющих прочность отливки в процессе кристаллизации и охлаждения расплава. Различают горячие трещины, образующиеся в отливках при высоких температурах (см. стр. 10), и холодные, образующиеся при низких температурах. Холодные трещины образуются после полного затвердевания отливки в области упругих деформаций. Причиной образования холодных трещин является наличие внутренних напряжений в отливке, которые возникают за счёт неравномерного её затвердевания: тонкие части отливки охлаждаются и сокращаются быстрее, чем массивные. Для предотвращения образования холодных трещин в отливках необходимо обеспечить равномерное их охлаждение установлением холодильников в массивные места отливки или необходимо использовать сплавы с высокой пластичностью.

*Склонностью к газопоглощению* называется способность расплавов поглощать газы при нагреве и выделять их в период охлаждения. Газы в расплав попадают при протекании химических реакций (например,  $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \uparrow \text{CO}$ ), с поверхности раздела расплав-форма, при заполнении формы расплавом, из шихтовых



материалов. С этим свойством связан весьма распространенный дефект отливок – газовая пористость. Растворимость газов в расплавах уменьшается с понижением температуры. В связи с этим понижение температуры заливаемого расплава является одной из мер предупреждения образования газовой пористости, к числу которых относятся также дегазация (прокалка или технологическая обработка в вакууме или инертной среде с целью удаления газов) шихтовых материалов, расплава перед его заливкой в форму и др.

### 3. Практическая часть

#### 3.1. Оборудование, приборы и материалы

Для выполнения лабораторной работы необходимы: формовочная смесь, опоки, формовочный инструмент, модель спирали, кокиль U-образной пробы, литейный сплав силумин АК12, плавильная печь, термометр с милливольтметром, масштабная линейка, разливочный ковш.

#### 3.2. Последовательность выполнения работы

В качестве литейного сплава предлагается использовать эвтектический сплав на основе алюминия – силумин АК12.

Рекомендуется определить жидкотекучесть сплава в зависимости от:

- 1) температуры заливаемого металла;
- 2) материала литейной формы.

С этой целью подгруппа студентов делится на две бригады. Первая бригада под руководством учебного мастера изготавливает песчаную форму по модели спирали в двух опоках, а 2-я бригада собирает два кокиля. После приготовления литейной формы, сборки кокилей, плавления и перегрева металла до 750 °С осуществляют заливку 1 – го кокиля и одной из форм в опоках. Затем проверяют температуру расплава и при достижении 720 °С повторяют заливку 2 – го кокиля. После охлаждения отливок песчаную форму разрушают и извлекают отливку, а опоки разбирают. Измеряют длину полученных спиралей и U – образной части пробы в мм. Данные измерений заносят в табл. 2.1. По U – образным пробам, полученным

в кокилях определяют усадку силумина для температур заливки 720 и 750 °С.

Таблица 2.1

#### Полученные результаты

Силумин АК12	Полученные результаты	Температура заливки, °С		
		720	750	
	Длина полученной спирали, мм	-		
	Длина U- пробы, мм			
	Линейная усадка по U- пробе			
Усадка определяется по формуле (2.1). Длина вертикального канала пробы $l_{\phi}=300$ мм				

#### 4. Содержание отчета

- название работы и её цель;
- описание основных литейных свойств сплавов (жидкотекучести, усадки), способов их определения и факторов, влияющих на эти свойства;
- эскиз спиральной и U – образной проб на жидкотекучесть;
- описания дефектов в отливках усадочного характера;
- таблица 2.1 с результатами экспериментов, их обсуждение и выводы по работе.

#### 5. Контрольные вопросы

- 5.1. Какие свойства сплавов называют литейными?
- 5.2. Перечислите литейные свойства и дайте им определение.
- 5.3. Как влияют на жидкотекучесть температура заливки литейного сплава, теплопроводность материала формы, тип сплава?
- 5.4. Какие химические элементы (P, Si, C, Mn, S, W, V, Ti, Mo) увеличивают, а какие уменьшают жидкотекучесть сплавов?
- 5.5. Какие способы определения жидкотекучести Вы знаете?
- 5.6. К каким дефектам в отливках приводит недостаточная жидкотекучесть?
- 5.7. Дайте определение усадке. Чем характеризуется усадка?
- 5.8. Как определяется усадка?
- 5.9. Какие дефекты могут возникнуть в отливках при значительной усадке литейных сплавов?



5.10. Как предупредить образование в отливках усадочной раковины и пор?

5.11. Для чего служат прибыли и холодильники в отливках?

5.12. Что называется ликвацией?

5.13. Какие технологические факторы влияют на ликвацию?

5.14. Что называется склонностью к образованию трещин?

5.15. Что называется склонностью к газопоглощению?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК РУЧНОЙ ФОРМОВКОЙ В ДВУХ ОПОКАХ ПО РАЗЪЕМНОЙ МОДЕЛИ

#### 1. Цель работы

1. Изучить устройство и назначение модельно-стержневой оснастки, приспособлений и формовочных инструментов для ручной формовки.

2. Приобрести практические навыки изготовления песчаной литейной формы.

3. Произвести заливку литейного сплава в форму, осуществить выбивку отливки из формы после затвердевания.

4. Осуществить визуальный контроль отливки на предмет выявления дефектов и установить причину их возникновения.

#### 2. Теоретическая часть

В литейном производстве фасонные заготовки получают заливкой жидкого металла в литейную форму, полость которой по размерам и конфигурации соответствует изготавливаемым заготовкам. Заготовки, полученные таким способом, называют *отливками*. После затвердевания отливку удаляют из формы, подвергают очистке и контролю. Годные отливки передают для последующей механической или термической обработки или отправляют на склад готовой продукции.

##### 2.1. Основные элементы литейных форм

В зависимости от материала, из которого изготовлены формы, они бывают разовые, неоднократно – и многократно используемые.

*Разовые* формы служат для изготовления только одной отливки. При извлечении отливки форма разрушается. Разовые формы изготавливаются из песчано-глинистой, песчано-смоляной и других смесей.

*Неоднократно используемые формы (полупостоянные)* изготавливают из высокоогнеупорных материалов (шамота, магнезита и др.). Эти формы выдерживают несколько десятков заливок.



Многократно используемые формы (постоянные), к которым относятся металлические формы. Их изготавливают из сплавов различных металлов. В такой форме может быть получено от нескольких сотен до десятков и сотен тысяч отливок.

В настоящее время для получения большинства отливок (около 80 %) используют песчаные формы. На рис. 3.1 изображены эскизы отливки, модели, стержня и разовой литейной формы. Форма состоит из двух полуформ 5 и 6, которые своими внутренними поверхностями и стержнем 4 образуют полость 7. Газопроницаемость смеси в форме повышают накалыванием вентиляционных каналов 10.

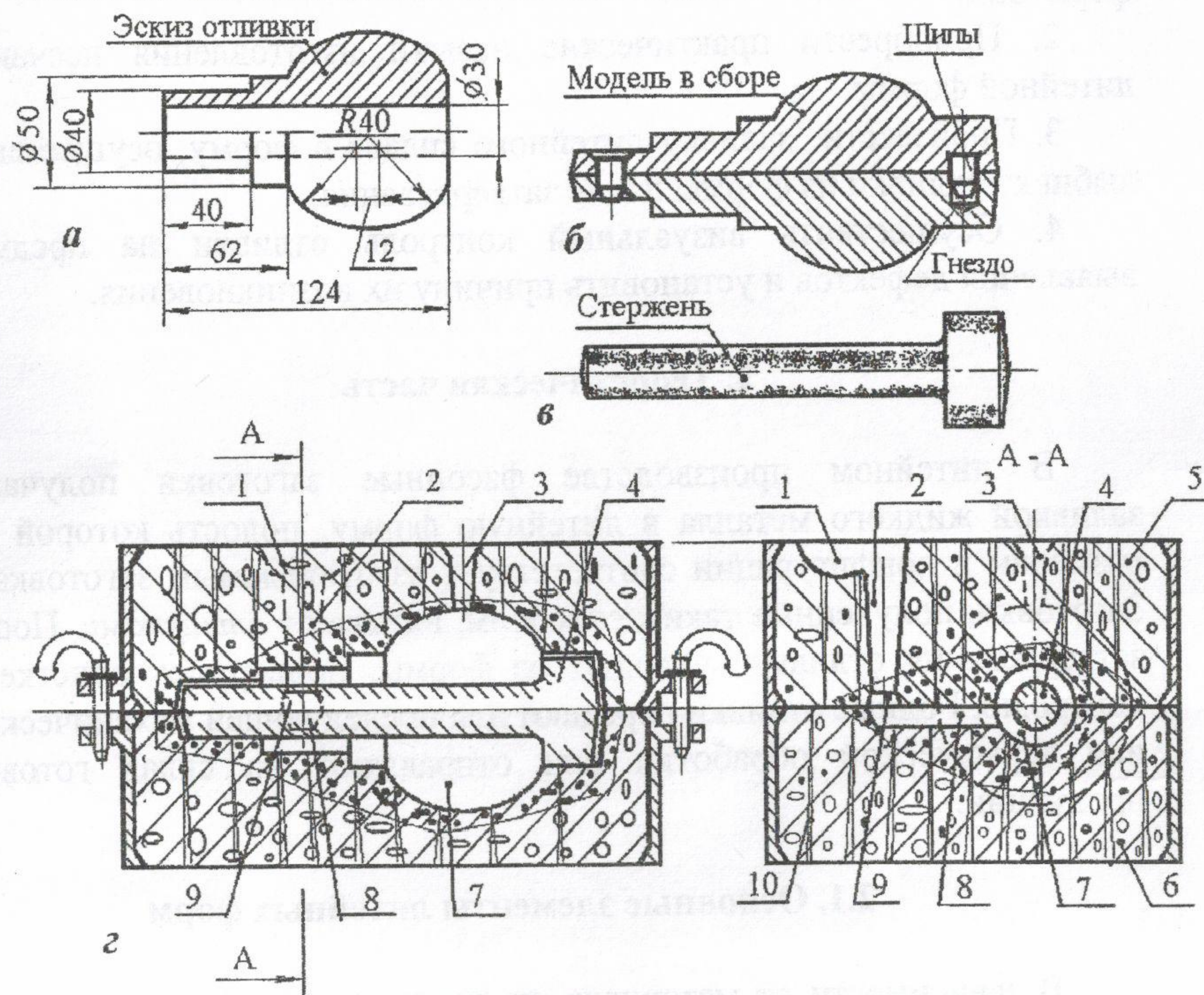


Рис. 3.1. Эскизы отливки (а), модели (б), стержня (в) и литейной формы (г) в сборе

Для вывода газов и воздуха из формы при ее заливке изготавливают выпор 3, по которому одновременно ведут контроль заполнения формы металлом.

Для заполнения полости формы литейным сплавом используется литниковая система. Она должна иметь, по возможности, малую

массу и легко отделяться от отливки. Схема типовой литниковой системы для отливок из стали и цветных металлов приведена на рис. 3.2. Для отливок из серого чугуна шлакоуловитель не предусматривается. Литниковая система состоит из литниковой чаши 1, стояка (вертикального конического канала) 2, шлакоуловителя 3 и питателей 4).

Литниковая чаша служит для приема жидкого металла из ковша, частичного удержания шлака и передачи металла в стояк. В ней ослабляется динамический напор струи и частично отделяется от металла шлак. С целью экономии металла при производстве мелкого литья чашу заменяют конической воронкой.

Стояк 2 – вертикальный канал круглого, овального или иного сечения, который служит для передачи расплава из чаши к шлакоуловителю.

Шлакоуловитель 3 в сечении бывает коническим или трапециевидным. Его располагают в верхней половине формы. В шлакоуловителе металл тормозится, так как сечение его больше, чем у питателей. В результате этого шлаковые и земляные включения успевают всплыть на поверхность металла и задержаться в шлакоуловителе. Чаша, стояк и шлакоуловитель располагаются в верхней полуформе.

Рис. 3.2. Литниковая система

Питатель 4 служит для подвода жидкого металла непосредственно в полость формы. В зависимости от конфигурации отливки может быть несколько питателей. Питатель располагается в нижней полуформе.

Во избежание брака в отливках литниковая система должна быть заполнена жидким металлом на протяжении всего времени заливки формы. Разрыв струи приводит к засасыванию воздуха и шлака в полость формы и к образованию оксидных плен. Для обеспечения непрерывности заливаемого металла между элементами литниковой системы соблюдается определенное соотношение.

Для формирования внутренних полостей в отливках используют стержни (рис. 3.1, в). Стержни при заливке формы испытывают значительную тепловую и механическую нагрузку со стороны



заливаемого сплава. Поэтому они изготавливаются из смесей, содержащих специальные крепители. Для их изготовления применяются стержневые ящики.

## 2.2. Модельно – стержневая оснастка

Модельно – стержневую оснастку часто называют «модельный комплект». В его состав входят: модель отливки, один или несколько стержневых ящиков (если отливка имеет полости), модели литниковой системы, подмодельные плиты, а при машинной формовке — модельные плиты. Модельный комплект предназначен для изготовления разовой литейной формы, обеспечивающий формирование внешних и внутренних поверхностей отливок.

*Модель* отливки необходима для получения в литейной форме полости с конфигурацией, соответствующей наружной конфигурации и размерам отливки с учетом усадки металла и припусков на механическую обработку. В *стержневых ящиках* изготавливают стержни, с помощью которых воспроизводят внутреннюю поверхность отливок. *Подмодельные плиты* служат для установки и закрепления на них моделей перед формовкой.

Модельный комплект должен: 1) обладать достаточной прочностью, жесткостью и влагустойчивостью; 2) не изменять свои размеры при хранении и многократном использовании; 3) быть легким и недорогим. Конструкция модельного комплекта не должна препятствовать набивке формы и удалению их из формы (или стержня из стержневого ящика).

Охлаждение металла в форме сопровождается его усадкой, т. е. уменьшением объема и линейных размеров отливки. Следовательно, при изготовлении модели необходимо ее размеры увеличивать (по сравнению с размерами отливки) на величину усадки. Для этого модельщик при изготовлении модели пользуется так называемым *усадочным метром*, который превышает длину обычного метра на величину усадки соответствующего сплава. Самым дешевым материалом для изготовления модельного комплекта является древесина. При серийном производстве для комплектов используют твердые породы деревьев (клен, бук, березу), а для единичного — ель и сосну. Модели могут быть разъемными и неразъемными. Разъем модели для отливок сложной конфигурации облегчает ее удаление из литейной формы. С этой же целью вертикальные стенки модели

должны иметь формовочные уклоны в пределах  $0,5...3^\circ$ , уменьшающиеся с увеличением высоты модели.

На рис. 3.1 показаны эскизы отливки (а) и разъемной модели (б). В разъемной модели, в отличие от отливки, нет отверстия. Модели для отливок с отверстиями имеют две крайние, часто цилиндрические поверхности (выступы), называемые *модельными знаками*. Они служат для образования углублений (отпечатков) в форме (знаки формы), в которые устанавливают стержень при сборке. Чтобы полумодели в процессе формовки не сдвигались, в одной из них есть центрирующие шипы, а в другой, соответственно, гнезда (отверстия).

Недостатком деревянных модельных комплектов является относительно невысокая прочность и склонность к короблению в процессе эксплуатации и хранения. Поэтому их используют обычно в индивидуальном и мелкосерийном производстве.

Для изготовления литейной формы, кроме модельно – стержневой оснастки, используют также различный формовочный инструмент и приспособления (рис.3.3). Процесс изготовления формы (формовка) осуществляется в опоках. *Опоки* представляют собой металлические рамки, в которых удерживается уплотненная формовочная смесь. Основными требованиями, предъявляемыми к опокам, является высокая прочность, жесткость и минимальная масса. При формовке в парных опоках (рис. 3.3, т), верхняя 1 и нижняя 4 опоки соединяются при помощи пропущенных в отверстия проушин 3 штырей 2. Чтобы уплотненная смесь не выпадала, в опоках делают буртики 5. Опоки наполняют формовочной смесью лопатами (рис. 3.3, б, ж) и уплотняют трамбовками (рис. 3.3, а), имеющими по концам плоский или острый башмак.

Исправляют и отделяют поверхность готовой формы отделочным инструментом (гладилки, ланцеты, крючки). *Гладилки* плоские (рис. 3.3, л) применяют для выглаживания прямолинейной поверхности формы. Фасонные гладилки (рис.3.3, в, у) применяют для отделки углов, галтелей. Гладилки выполняют из стали.

*Ланцеты* (рис. 3.3, д) и *ложки* (рис. 3.3, з) используют для отделки формы в труднодоступных местах, криволинейных поверхностей, углублений. Они также служат для заглаживания углубленных узких частей формы и удаления остатков смеси из глубоких и узких каналов в форме. Искусственные вентиляционные каналы накалывают длинными стальными вентиляционными *иглами* -



душниками  $\varnothing 3 \dots 5$  мм (н). Подъемники с заостренным концом или резьбой применяют для вынимания модели из формы.

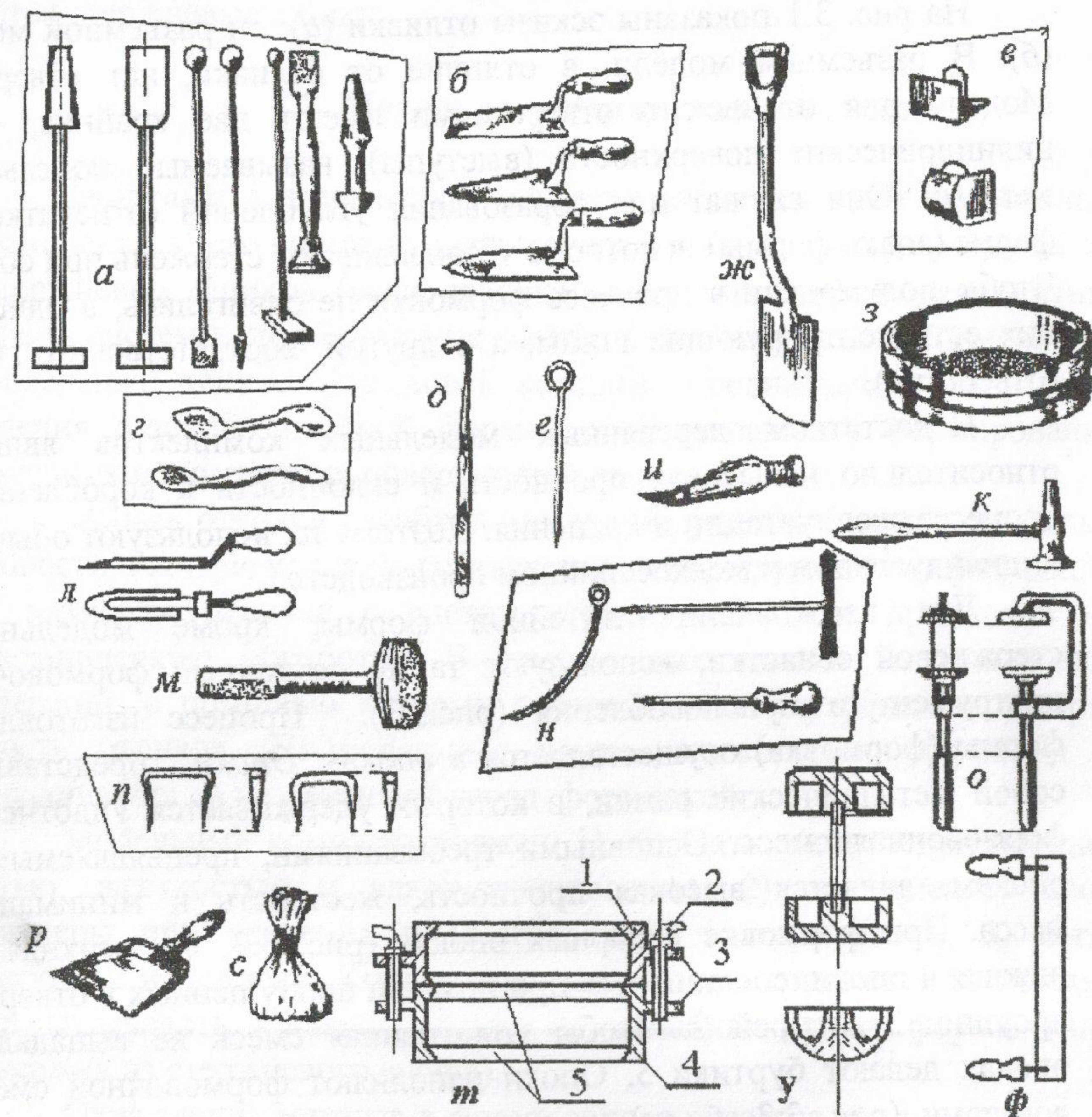


Рис. 3.3. Формовочный инструмент и приспособления:  
 а – трамбовки; б, ж – лопаты; в – гладилки для ремонта формы;  
 г – ложки; д – формовочные крючки (ланцеты); е – подъемники;  
 з – сито; и – кисточки; к – молоток металлический; л – гладилка плоская;  
 м – молоток деревянный; н – вентиляционные иглы; о – струбины;  
 п – солдатики; р – совок; с – припыл; т – опока; у – фасонная гладилка;  
 ф – сгребалка

Металлические линейка или сгребалка (рис. 3.3, ф) применяется для придания плоской поверхности полуформы срезанием после формовки со стороны обратной разъему.

### 3. Практическая часть

#### 3.1. Оборудование, инструменты и материалы, используемые в работе

- Для изготовления разовой литейной формы необходимы:
- модель отливки; модели литниковой системы;
  - подмодельная плита;
  - спаренные опоки;
  - формовочная смесь;
  - готовые сухие стержни (изготавливаются при выполнении работы № 2);
  - сухой разделительный песок;
  - формовочный инвентарь (посуда для воды и красок, сито для просеивания облицовочной смеси, ручной велосипедный насос для выдувания мусора из формы, мешочек с припылом);
  - формовочный инструмент (лопата или совок, ручная трамбовка, вентиляционная игла, кисть для смачивания формовочной смеси вокруг модели, деревянный молоток, линейка - сгребалка, подъемы для удаления модели из формы);
  - отделочный инструмент (гладилки, ложки, ланцеты, крючки и т. д.);
  - шахтная электрическая печь сопротивления с температурой нагрева до 1000 °С;
  - жидкий металл — алюминиевый сплав АК12 (силумин).

#### 3.2. Последовательность выполнения работы

1. Студентов знакомят с модельно - стержневой оснасткой, формовочным инструментом.
2. Рассматривается с использованием плакатов последовательность изготовления литейной формы из песчано-глинистой смеси в двух опоках.
3. Под руководством учебного мастера или преподавателя студенты изготавливают литейную форму в двух опоках по разъемной модели и переносят ее на площадку для заливки. Последовательность изготовления формы приведена в приложении 2.
4. Необходимо изготовить стержень в последовательности, указанной в приложении 3.



5. Заливку формы осуществляет учебный мастер. Перед заливкой следует замерить температуру расплава и убрать с её поверхности окисную плёнку при помощи специальной лопаточки. При заливке необходимо комментировать студентам процессы происходящие при заливке: выделение газов из полости выпора, степень заполнения формы и т. д.

6. После охлаждения формы ее разрушают, удаляют отливку и подвергают очистке.

7. Выявить дефекты в полученной отливке, проанализировать причины их появления или констатировать их отсутствие.

8. Составить отчет о проделанной работе.

#### 4. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- название и цели работы;
- описание модельно - стержневого комплекта, опоки и основного формовочного инструмента;
- последовательность формовки;
- эскизы отливки, модели, стержня и собранной формы в разрезе с литниковой системой;
- выводы с оценкой качества полученной отливки.

#### 5. Контрольные вопросы

5.1. В чем заключается сущность литья?

5.2. Каково значение литья для промышленности.

5.3. Какие литейные формы относятся к разовым, полупостоянным и постоянным?

5.4. Дайте определение литниковой системе. Из каких элементов состоит литниковая система, и в какой части литейной формы они располагаются?

5.5. Какие формовочные инструменты вы знаете? Их назначение.

5.6. Какие приспособления относятся к модельному комплекту, вспомогательной оснастке и для чего они предназначены?

5.7. Какие виды брака отливок Вы знаете? Какими причинами они могут быть вызваны?

5.8. Расскажите последовательность изготовления литейной формы и стержня.

5.9. Какие меры безопасности следует соблюдать при выполнении работы?

5.10. Для чего применяют выпор и где он устанавливается?

#### Список литературы

1. Технология литейного производства: Литьё в песчаные формы: Учебник для вузов /А. П. Трухов, Ю. А. Сорокин, М. Ю. Ершов и др.; Под ред. А. П. Трухова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 528 с.

2. Чернышов, Е.А., Евстигнеев, А. И., Евлампиев, А. А. Литейные дефекты. Причины образования. Способы предупреждения и исправления. –М.: Машиностроение, 2008.–282 с.

3. Технология конструкционных материалов: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов /А. М. Дальский, Т. М. Барсукова, А. Ф. Вязов и др.; Под ред. А. М. Дальского. – 6-е изд., исправленное. – М.: Машиностроение, 2005. – 592 с.



### Виды и причины литейного брака

Брак при отливке деталей значительно удорожает себестоимость продукции, вызывает нерациональный расход металла. Литейный брак возникает при нарушении технологии изготовления формы, в результате неправильной конструкции литой детали или при несоблюдении технологии плавки металла.

По классификации ГОСТ 19200 – 80 все литейные дефекты разделены на пять групп: 1) несоответствие по геометрии – 14 дефектов; 2) дефекты поверхности – 13 дефектов; 3) несплошности в теле отливки – 16 дефектов; 4) включения – 3 дефекта; 5) несоответствие по структуре – 4 дефекта.

**1. Несоответствие по геометрии, т. е. несоответствие размеров и конфигурации отливки чертежу** вызывается рядом причин: слабым креплением или недостаточным нагружением формы (залиты); заливкой формы холодным металлом (недоливы); неправильной сборкой форм и установкой стержней (перекос); возникновением напряжений при резкой разностенности отливки (коробление).

**2. Дефекты поверхности** возникают из-за недостаточной огнеупорности формовочных или стержневых смесей (пригар) и заливки формы холодным металлом с разрывом струи (спай).

**3. Несплошности** в теле отливок определяются просвечиванием рентгеновскими лучами, ультразвуковым контролем, специальными испытаниями (давлением, керосиновой пробой и др.).

**Внешние пороки** обнаруживаются визуальным осмотром. К внешним порокам относятся: 1) раковины (газовые, усадочные, концентрированные и рассредоточенные, земляные, шлаковые); 2) трещины (горячие, холодные); 3) дефекты поверхности отливки (спай, пригар, оксидные пленки).

**Газовые пузыри и поры** образуются при кристаллизации в связи с резким уменьшением растворимости газов в твердом металле по сравнению с жидким, чаще всего из-за его большой газонасыщенности. Для снижения пузырчатости сталь подвергают раскислению перед разливкой введением Mn или Si, или разливают в вакууме. **Усадочные пустоты** (раковины, рыхлости, пористости, образу-

ющиеся в результате усадки металла (уменьшение объема) при его затвердевании (рис. П 1.1, г...ж).

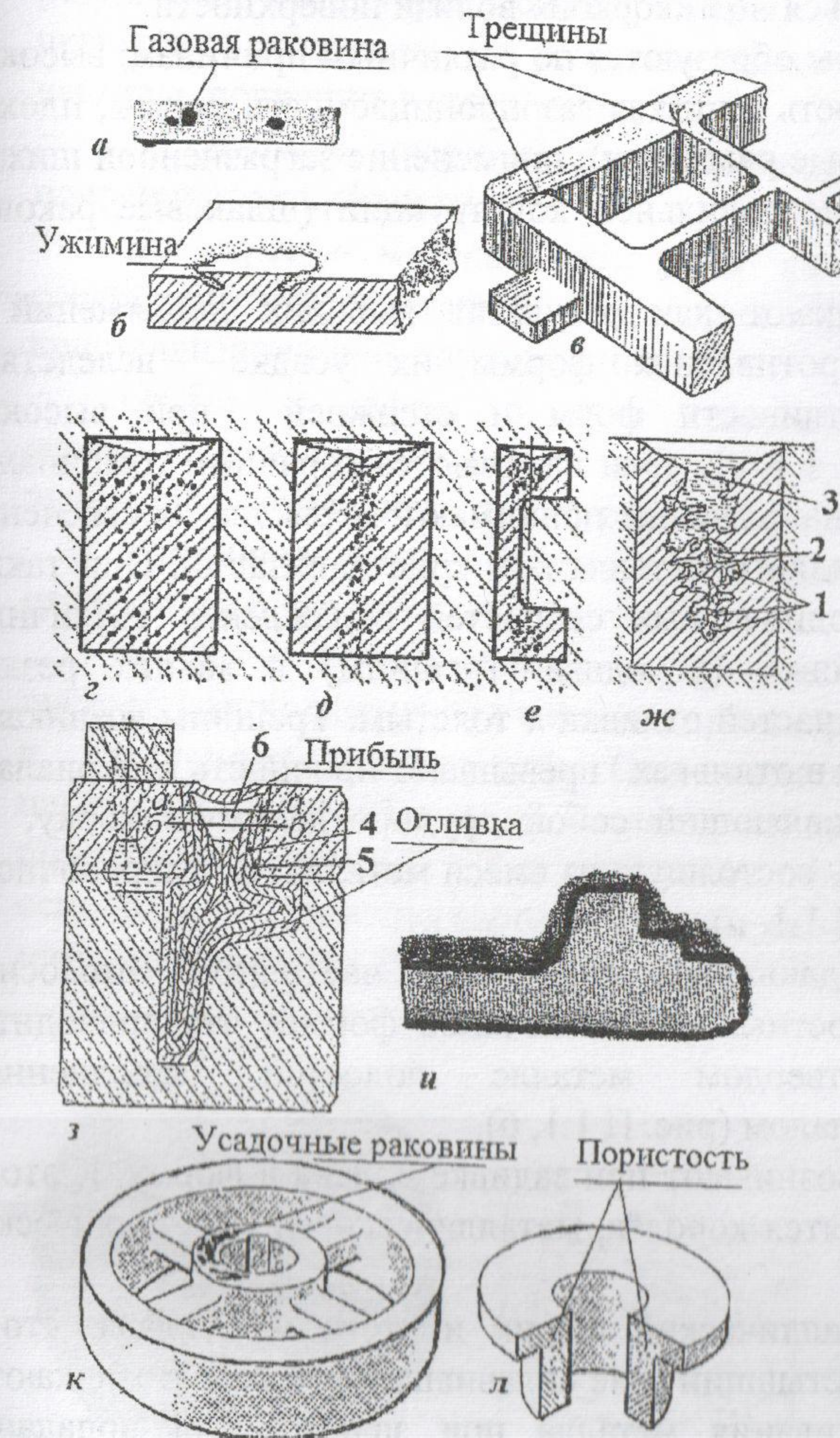


Рис. П 1.1. Некоторые характерные дефекты в отливках: а – газовая раковина; б – ужимины; в – трещины; г, д, е, ж – усадочная пористость; з – газовая раковина; и – пригар; к – усадочная раковина; л – пористость

**Газовые раковины** – открытые или закрытые пустоты с чистой и гладкой поверхностью, которые возникают из-за недостаточной газопроницаемости формы и стержней, повышенной влажности формовочных смесей и стержней, насыщенности расплавленного



металла газами. Газовая раковина имеет размеры до десятков миллиметров, может располагаться в теле отливки, выходить на поверхность, скрываться под «коркой» вблизи поверхности.

*Газовые раковины* образуются по различным причинам: высокая газотворная способность и низкая газопроницаемость формы; плохая набивка опок (земляные раковины); применение загрязненной шихты и шлакоуловителей неправильной конструкции (шлаковые раковины).

*Трещины* возникают как результат высоких напряжений в отливках из-за сопротивления формы их усадке вследствие недостаточной податливости форм и стержней при высоких температурах (рис. П 1.1, в). Они называются горячими трещинами. Для снижения этих напряжений принимают меры для обеспечения свободной усадки жидкого металла при кристаллизации. Они также возникают из-за неодинаковых скоростей охлаждения различных частей литой заготовки (холодные трещины) в местах резких переходов от тонких частей отливки к толстым. Трещины возникают там, где напряжения в отливках превышают прочность материала.

*Пригар*, представляющий собой трудноотделимую корку, на поверхности отливок, состоящую из смеси металла, формовочного песка и шлака (рис. П 1.1, и).

*Ужмины*, создающиеся вследствие частичного отслоения внутренних поверхностных слоев песчаной формы, что приводит к образованию в твердом металле полостей, заполненных формовочным материалом (рис. П 1.1, б).

**4. Включения** возникают при заливке сплава в форму. К этому виду дефектов относятся королёк, металлические и неметаллические включения.

*Королёк* – металлический шарик из того же сплава, что и отливка, отдельно застывший и не сплавившийся с ней. Возникают в результате разбрызгивания металла при заливке или попадания застывших капель сплава в полость формы.

*Металлические включения* – инородные металлические включения, имеющие поверхность раздела с отливкой.

*Неметаллические включения* – неметаллические частицы, попавшие в металл механическим путём или образовавшихся в результате химического взаимодействия компонентов при расплавлении и заливке металла. Они по происхождению разделяются на эндогенные и экзогенные. Эндогенные образуются в результате

взаимодействия компонентов сплава, например, железа с растворенными в нем кислородом, серой, азотом. Они образуются в результате металлургических реакций. Экзогенные – шлаковые включения и засоры от разрушающихся стенок формы, то есть частицы, попавшие в сталь извне.

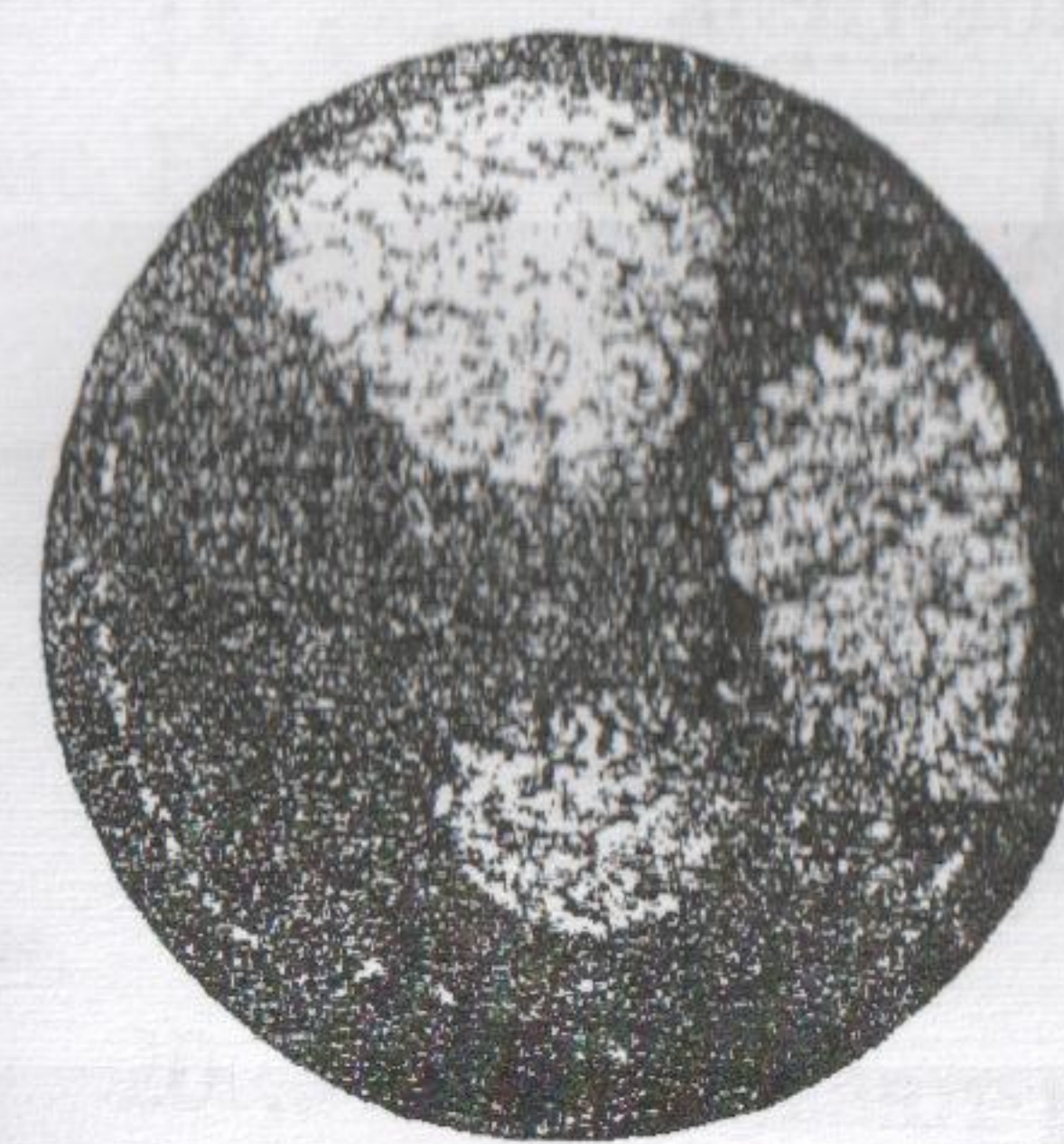
**5. Несоответствие по структуре** – ликвация, отбел, половинчатость, флокен.

*Ликвация* – местные скопления химических элементов или соединений в теле отливки, возникших в результате избирательной кристаллизации при затвердевании.

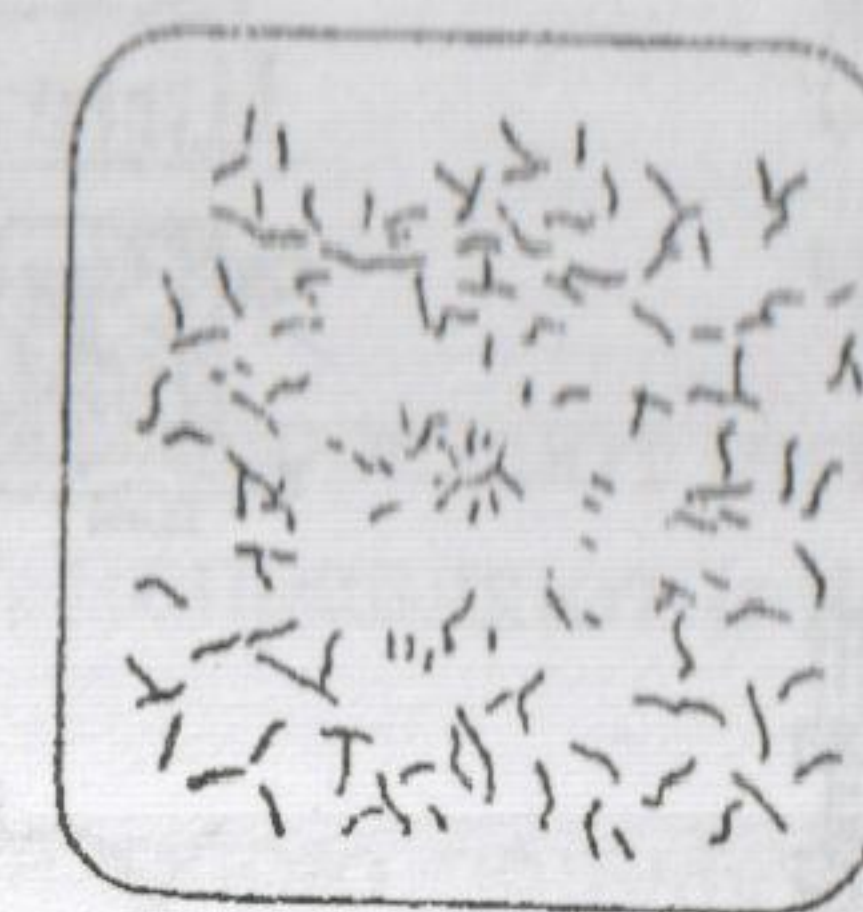
*Отбел* – дефект в виде твёрдых, трудно поддающихся механической обработке мест в различных частях отливки из СЧ, вызванных скоплением структурно свободного цементита.

*Половинчатость* – дефект в виде проявления структуры СЧ в отливках из белого чугуна.

*Флокен* – дефект в виде внутренних надрывов тела отливки дискообразной формы под влиянием растворенного в стали водорода и внутренних напряжений. Они являются опасным пороком некоторых сталей в виде тонких разнонаправленных трещин на поверхности деталей. Эти дефекты обнаруживаются внешним осмотром, но особенно хорошо заметны на изломах и протравленных макрошлифах (рис. П 1.2).



а



б

Рис. П 1.2. Флокены в хромоникелевой стали:  
а – на изломе (светлые участки А);  
б – на макроструктуре

Флокены различаются в виде светлых округлых пятен (рис. П 1.2, а), несколько напоминающие хлопья снега (немецкое слово *floken* означает хлопья). Макроструктура такого излома приведена на рис. П 1.2, б. Происхождение флокенов связано с поглощением водорода жидкой сталью.



**Последовательность изготовления литейной формы**

Формовка по разъемной модели в парных опоках начинается с изготовления нижней полуформы и производится в такой последовательности.

1. Нижнюю половину модели (без центрирующих шипов) устанавливают плоскостью разреза вниз на подмодельную доску, припыливают модельной пудрой и накрывают нижней опокой (рис. П 2, а).

2. Через сито просеивают облицовочную смесь, покрывая модель слоем толщиной 15 ... 20 мм, а остальную часть опоки засыпают с избытком наполнительной смесью.

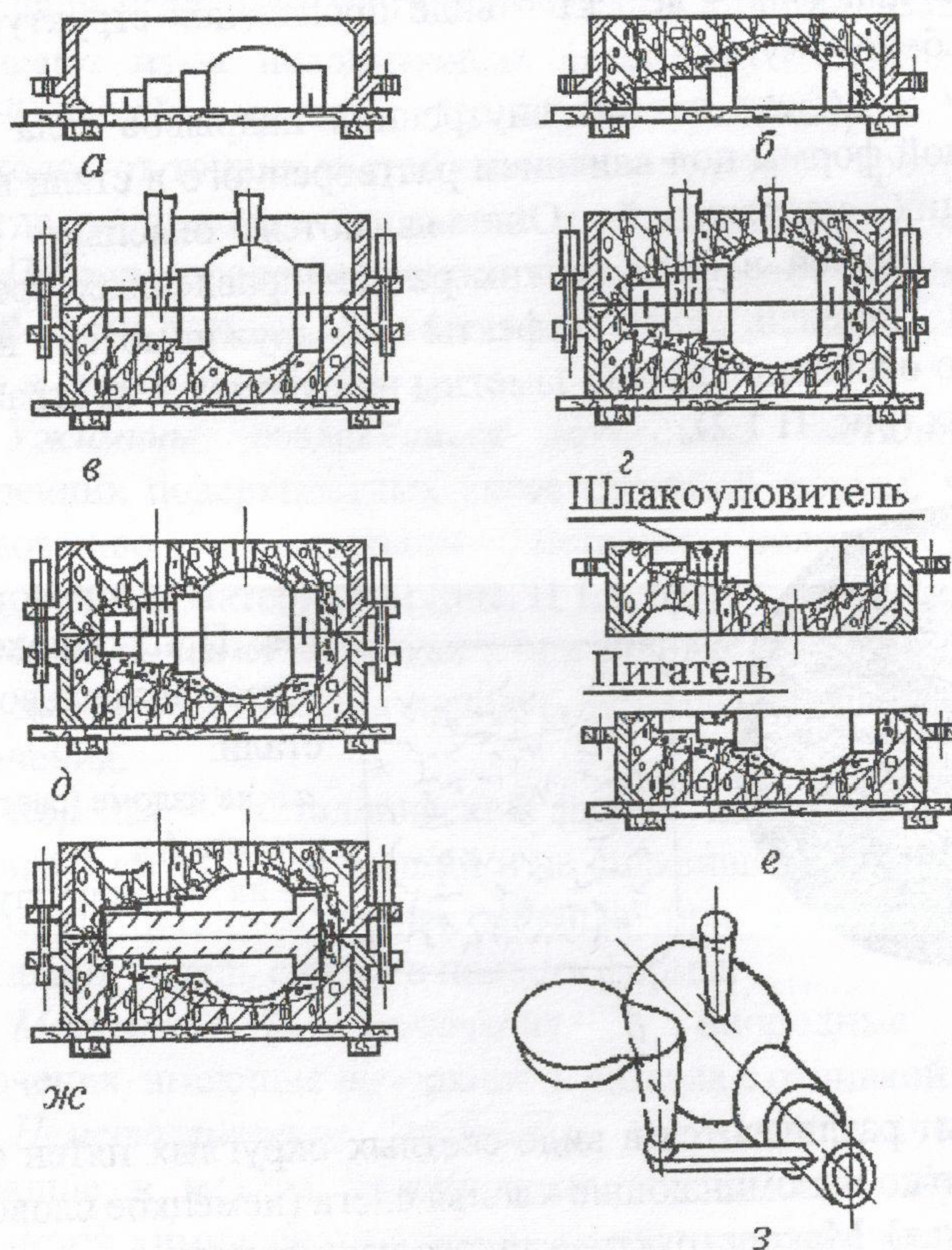


Рис. П 2. Последовательность операций при формовке вручную

3. Уплотняют смесь ручной трамбовкой (сначала острым, а затем плоским ее концом).

4. Линейкой срезают излишки формовочной смеси заподлицо с опокой.

5. Иглой накалывают вентиляционные каналы (рис. П 2, б).

6. Набитую нижнюю опоку переворачивают на 180°.

7. На нижнюю полумоделю устанавливают верхнюю полумоделю и припыливают ее.

8. Плоскость разреза формы посыпают разделительным сухим песком.

9. На нижнюю опоку по штырям накладывают верхнюю опоку.

10. Устанавливают модели шлакоуловителя, стояка и выпора (рис. П.1, в).

11. Просеивают облицовочную смесь, уплотняя ее руками вокруг модели литниковой системы.

12. Засыпают верхнюю опоку с избытком наполнительной смесью.

13. Уплотняют формовочную смесь трамбовкой и линейкой срезают излишки смеси заподлицо с верхней опокой.

14. Иглой накалывают вентиляционные каналы в верхней полуформе и ложкой вырезают возле стояка литниковую чашу и гладилкой сглаживают ее поверхность (рис. П 2, д).

15. Снимают верхнюю опоку и переворачивают на 180° (рис. П 2, е).

16. Кистью смачивают формовочную смесь вокруг полумоделей.

17. Подъемником полумоделей расталкивают в стороны и осторожно удаляют из форм.

18. В нижней полуформе прорезают питатели.

19. Форму отделяют, поправляют и выглаживают инструментом.

20. Устанавливают в нижнюю полуформу готовые стержни так, чтобы знаковые части стержня опирались на знаковые части формы. Накрывают верхней полуформой (рис. П 2, жс). Общий вид отливки с литниковой системой показан на рис. П 2, з.



**Последовательность изготовления стержней в разъемном стержневом ящике**

При изготовлении стержня необходимо:

1. Очистить рабочую поверхность стержневого ящика от остатков стержневой смеси и протереть влажной тряпкой.

2. Спарить половинки 1 и 3 ящика по штифтам 2 и скрепить их кольцом 4 и установить ящик на верстаке в вертикальном положении (рис. П 3, а).

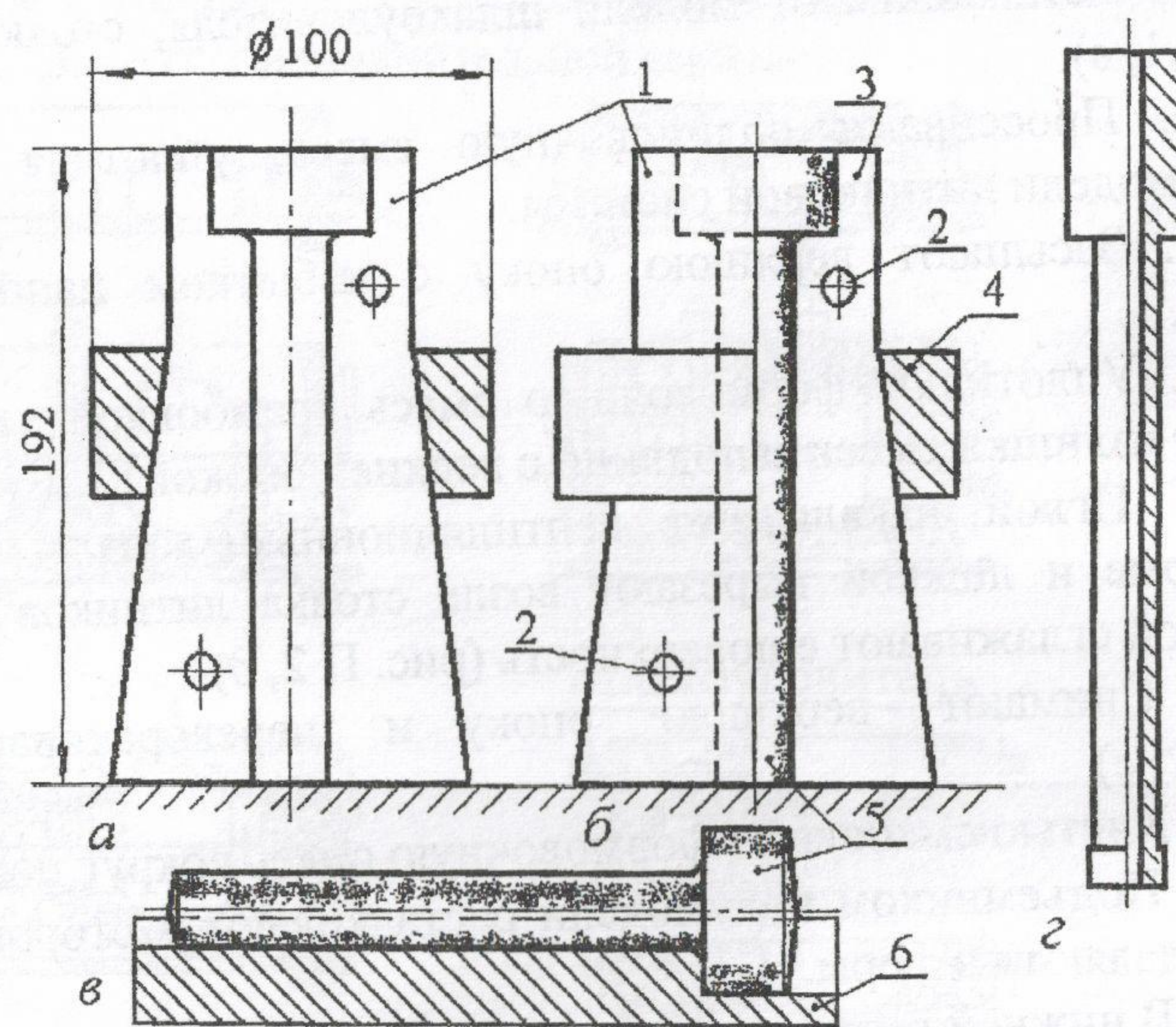


Рис. П 3. Разъемный стержневой ящик: а – стержневой ящик с одной левой половиной; б – ящик в сборе; в – стержень с сушильной плитой; z – трамбовка

3. Насыпать порцию стержневой смеси до половины высоты ящика и уплотнить трамбовкой.

4. Установить (забить) в стержень проволоку диаметром 3 мм, который в данном случае будет служить каркасом.

5. Далее необходимо последовательно засыпая в ящик порцию смеси и уплотнять ее до верхнего уровня ящика, используя спе-

циальную трамбовку 7 с отверстием по середине под металлический каркас (рис. П 3, б).

6. Срезать излишки стержневой смеси и загладить торец стержня гладилкой.

7. Снять кольцо 4 с ящика.

9. Поставить ящик горизонтально и обстучать его деревянным молотком.

10. Снять верхнюю половину ящика.

11. Накрыть стержень 5 фасонной сушильной плитой 6 и вместе с ней перевернуть нижнюю половину ящика на 180° (рис. П 3, в).

12. Снять нижнюю половину ящика со стержня.

13. Сушильную плиту со стержнем направить на сушку.

Сушильную плиту можно заменить песчаной постелью, для чего на нижнюю половину стержневого ящика устанавливают рамку. Засыпают ее сырым кварцевым песком, накрывают плитой и переворачивают ее вместе с ящиком; в сушку стержень отправляют вместе с постелью.