

## 2. ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сущность литейного производства состоит в получении *отливок* – литых металлических изделий – путем заливки расплавленного металла или сплава в литейную форму.

Первые литые изделия получали еще в III–II тысячелетиях до н. э., сначала из бронзы, позже – из чугуна. Значительное развитие литьё из чугуна получило примерно с XIII–XIV вв. Стальные отливки начали получать в XIX в., а литые детали из алюминиевых и магниевых сплавов – всего несколько десятилетий назад.

Значение литейного производства исключительно велико. Нет ни одной отрасли машиностроения и приборостроения, где не применяли бы литые детали. В машиностроении масса литых деталей составляет около 50 % массы машин и механизмов, в станкостроении – около 80 %. Это объясняется рядом преимуществ литейного производства по сравнению с другими способами получения заготовок или готовых изделий. Литьём получают детали как простой, так и очень сложной формы, с фасонными внутренними полостями, которые нельзя или очень трудно получить другими способами. Во многих случаях это наиболее простой и дешёвый способ получения изделий. Масса отливок колеблется от нескольких граммов до нескольких сот тонн.

Некоторые специальные способы литья позволяют получать отливки с высокой точностью размеров и чистотой поверхности, что сокращает или исключает совсем их последующую механическую обработку. Кроме «традиционных» литейных сплавов – чугуна, стали, бронзы, – литьём все чаще изготавливают изделия из нержавеющей и жаропрочных сталей, магнитных и других сплавов с особыми физическими свойствами.

### 2.1. Плавильные агрегаты

В литейном производстве для каждого металла требуется своя плавильная печь и технология плавки.

**Плавка чугуна** в литейных цехах производится в основном в вагранках (до 90 % чугунных отливок), а также в индукционных печах.

*Вагранка* – это шахтная печь высотой 3–10 м с внутренним диаметром 700–2500 мм (рис. 2.1). Шахта вагранки опирается на колонны 2, расположенные на фундаменте 1. В нижней части имеется откидная крышка 3. Печь выложена из шамотного кирпича 7, снаружи покрытого металлическим кожухом 8.

Шихтовые материалы (литейный и пердедельный чугун, флюс – известняк, топливо – кокс) загружаются сверху с помощью бадьи 13 через загрузочное окно 10. Чугунные плиты 9 в верхней части шахты предотвращают разрушение футеровки металлическими компонентами шихты. Воздушное дутьё для горения кокса подают через фурмы 5 с помощью вентилятора 6. Расплавленный чугун стекает в горн, на под 4 и далее, через лётку вагранки

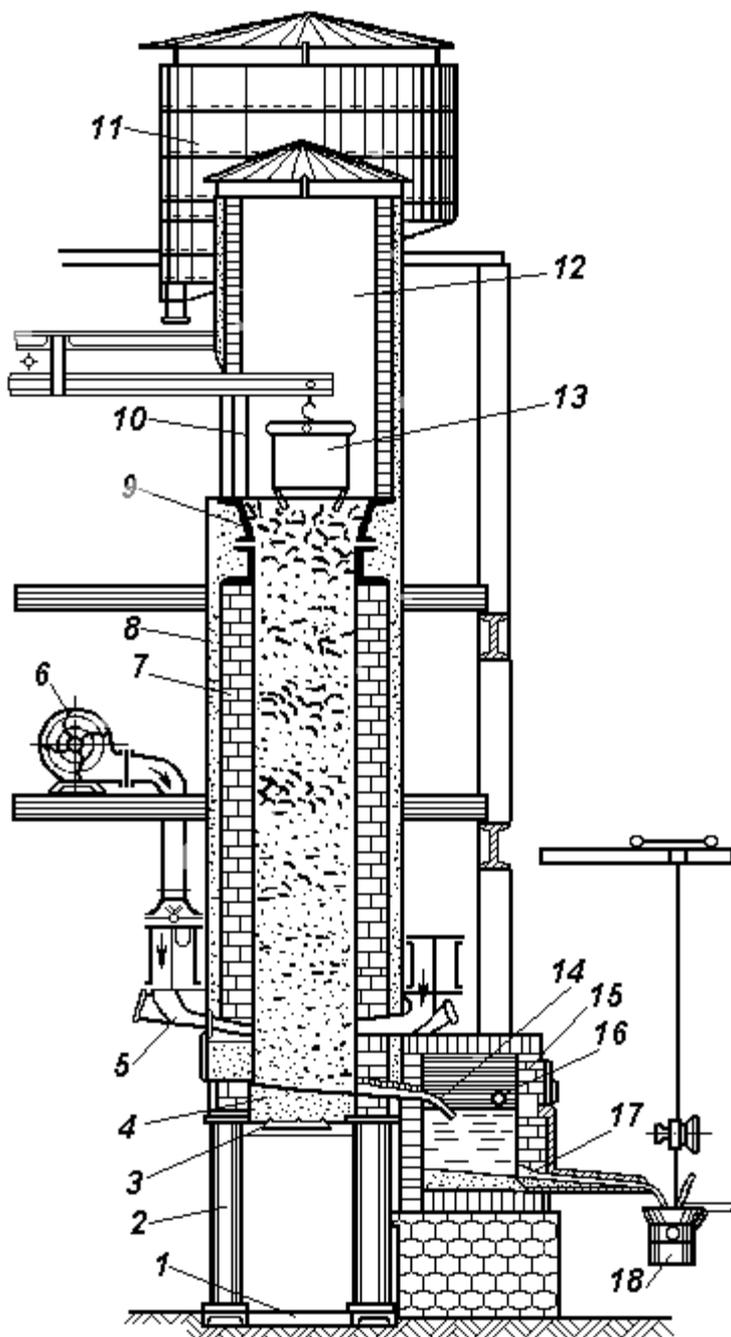


Рис. 2.1. Схема устройства вагранки

в электрических печах с косвенной дугой и в индукционных печах с железным сердечником.

В электрических печах с косвенной дугой дуга горит между двумя электродами из графитизированной массы, а шихта нагревается за счет излучаемой дугой теплоты.

Индукционная печь с железным сердечником показана на рис. 2.2.

14, – в копильник 15. Жидкий чугун через лётку 17 сливается в ковш 18. Шлак по мере необходимости выпускают через шлаковую лётку 16. Печные газы удаляются в трубу 12 с искрогасителем 11.

Иногда для выплавки чугуна применяется *дуплекс-процесс*: плавят чугун в вагранке, а доводку и рафинирование состава производят в дуговой или индукционной печи. При этом получается чугун высокого качества, а расход электроэнергии снижается.

**Плавка стали** в литейных цехах производится, в основном, в электродуговых и индукционных печах – таких же, какие применяются для выплавки стали в металлургическом производстве. Эти печи отличаются высокой производительностью, в них можно выплавлять любые стали высокого качества. Индукционные печи диапазона ёмкостей.

**Плавка меди** и её сплавов производится в

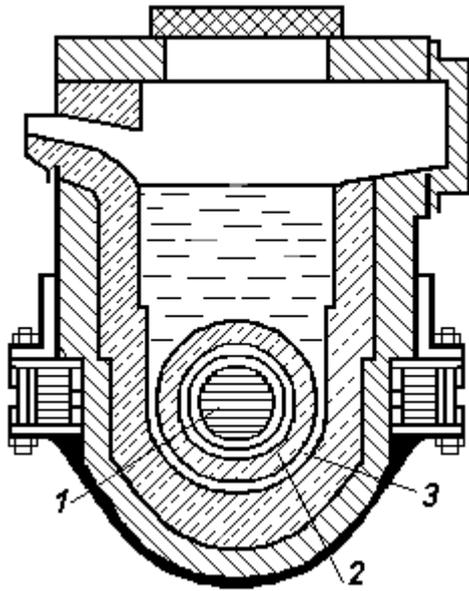


Рис. 2.2. Индукционная печь с железным сердечником

Сердечник 1 с первичной обмоткой защищён огнеупорной футеровкой 2. Жидкий металл, предварительно залитый в канал (кольцевой зазор) 3, создаёт короткозамкнутый вторичный виток, в нем индуцируется ток большой силы, нагревающий металл до высокой температуры. Происходит быстрый нагрев и плавление загружаемой сверху шихты.

В качестве шихты для выплавки бронз и латуней используют чистую медь, лом бронзы и латуни, отходы литейного производства. В качестве флюсов для защиты металла от окисления при плавке применяют: для бронз – соду, криолит, для латуней – песок  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и др.

**Плавка алюминия** и его сплавов производится в электрических печах сопротивления с нагревателями из нихрома. В качестве шихты используют чушковый первичный алюминий, металлолом, отходы литейного производства. Для легирования используют алюминиево-кремниевую лигатуру. Плавку ведут под слоем флюсов, состоящих из  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaF}_2$  и других компонентов.

## 2.2. Литейные свойства сплавов

Основными литейными свойствами сплавов являются жидкотекучесть, усадка, склонность к ликвации и поглощению газов.

**Жидкотекучесть** – способность расплава свободно течь в литейной форме, заполняя все её полости и точно воспроизводя все её контуры. Жидкотекучесть зависит от химического состава сплава, его температуры при заливке, а также от материала формы и других факторов. Жидкотекучесть выше у сплавов, затвердевающих с образованием эвтектики.

**Усадка** – свойство металлов и сплавов уменьшать свой объём при затвердевании и охлаждении; при этом происходит и соответствующее уменьшение линейных размеров отливки.

Объёмная усадка вычисляется по формуле  $\varepsilon_{об} = \frac{v_{\phi} - v_o}{v_o} \cdot 100\%$ , линей-

ная усадка составляет  $\varepsilon_{об} = \frac{l_{\phi} - l_o}{l_o} \cdot 100\%$ , где  $v_{\phi}$  и  $v_{отл}$ ,  $l_{\phi}$  и  $l_{отл}$  – объём и размеры формы и отливки соответственно.

В результате объёмной усадки в теле отливки могут образоваться усадочные раковины и пористость. Для предупреждения этих дефектов необходимо предусмотреть рациональную литниковую систему и прибыли. Усадку необходимо учитывать при расчете размеров модели и стержня. При наличии препятствий для усадки, а также в результате неодновременной и неравномерной усадки массивных и тонких сечений в отливках возникают напряжения, возможно коробление и образование трещин.

Величина усадки зависит от химического состава сплава, температуры его заливки и других факторов. Небольшую линейную усадку имеет серый чугун (0,8–1,2 %), некоторые литейные алюминиевые сплавы (0,9–1,3 %). У стали линейная усадка достигает 1,8–2,2 %. Объёмная усадка примерно в три раза больше линейной.

**Ликвация** – химическая неоднородность затвердевшего сплава. На процесс развития ликвации оказывают влияние химический состав сплава, скорость охлаждения.

**Склонность к поглощению газов.** В расплавленном сплаве всегда находятся в растворённом состоянии газы – водород, азот и др. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается, и в результате их выделения в теле отливки могут образоваться газовые раковины и поры.

Растворимость газов зависит от химического состава сплава, его температуры и других факторов. Для уменьшения газонасыщенности сплавов применяют плавку в вакууме или в среде инертных газов, а также дегазацию вакуумированием в специальных камерах и другие меры.

### 2.3. Литьё в песчаные формы

Все существующие способы литья разделяются на две группы: литьё в песчаные формы и специальные способы литья.

Наибольшая доля отливок получается литьём в **песчаные (песчано-глинистые, земляные) формы** – более 60 %.

Литьё в песчаные формы называется еще литьём в разовые формы, так как литейная форма служит для отливки только одной детали, после чего разрушается.

На рис. 2.3 приведена литейная форма для получения втулки 1. Форма состоит из двух полуформ, полученных набивкой (уплотнением) формовочной смеси в металлические рамки – опоки 5 и 6. Для изготовления верхней и нижней полуформ используют разъёмную модель 2. Отверстие в отливке получают с помощью стержня 4, отдельно изготовленного из стержневой смеси. При сборке формы стержень устанавливают в углубления (гнезда), образованные в форме стержневыми знаками 3 модели.

Наиболее совершенным способом изготовления литейных моделей считается технология «быстрого прототипирования». Суть способа: на осно-

ве созданной конструктором трёхмерной математической модели или чертежа выполняется послойный синтез (выращивание) литейной модели.

На специальных установках создаются газифицируемые модели из пенополистирола или выплавляемые из парафино-стеариновых модельных смесей. Для этого используется металлорежущий инструмент – фрезы или боры, – а также квантовые генераторы – лазеры.

Металл заливают через литниковую систему 7. Воздух и выделяющиеся газы удаляются через выпор 8. Готовую отливку 9 извлекают из формы, отрезают литники, очищают поверхность от остатков формовочных материалов и направляют на механическую обработку.

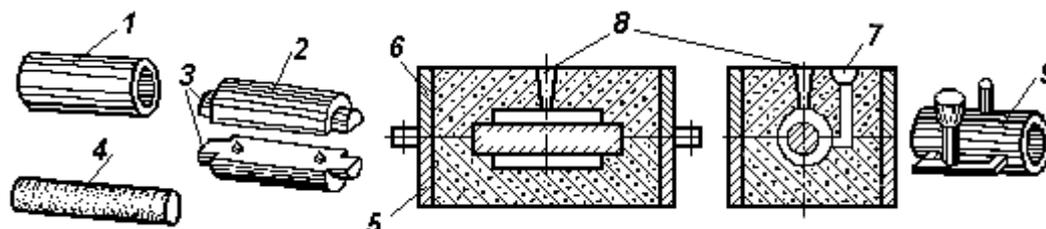


Рис. 2.3. Схема технологического процесса литья в песчано-глинистые формы

**Литниковые системы** служат для заливки металла в форму. Основными элементами литниковой системы являются литниковая чаша, стояк, шлакоуловитель, питатели, выпоры (рис. 2.4).

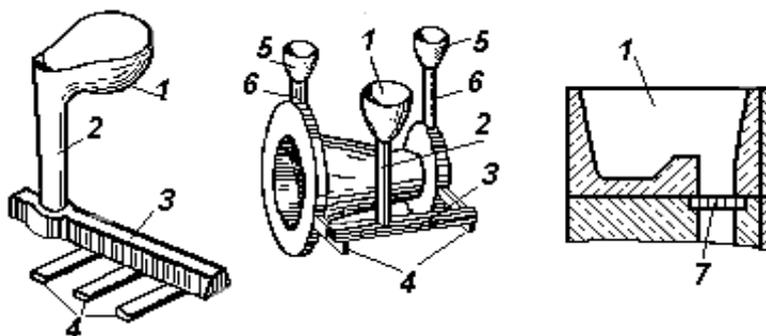


Рис. 2.4. Элементы литниковой системы:

- 1 – литниковая чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатели;  
5, 6 – чаша и стояк выпоров; 7 – фильтр из стеклоткани

Литниковые системы, в зависимости от формы, размеров отливки и свойств литейного сплава, имеют различное устройство (рис. 2.5).

*Верхняя литниковая система* – самая простая, применяется для мелких деталей небольшой высоты.

*Сифонная (нижняя) литниковая система* обеспечивает спокойное заполнение формы расплавом, применяется для средних и толстостенных отливок значительной высоты.

*Ярусная литниковая система* обеспечивает последовательное питание отливки снизу вверх, применяется для крупных отливок.

*Вертикально-щелевая литниковая система* – разновидность ярусной, предназначена, главным образом, для цветных сплавов.

### 2.3.1. Свойства формовочных смесей

Для получения отливок высокого качества формовочные и стержневые смеси, из которых делают разовые литейные формы, должны обладать определёнными технологическими свойствами.

**Прочность** – способность смеси обеспечивать сохранность формы, без разрушения выдерживать давление заливаемого металла.

**Пластичность** – способность формовочной смеси воспринимать очертания модели.

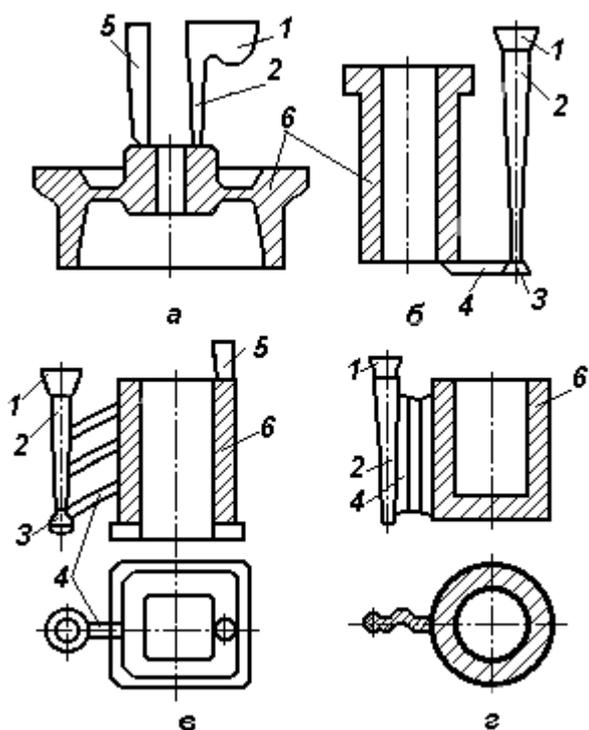


Рис. 2.5. Типы литниковых систем:  
*а* – верхняя; *б* – сифонная; *в* – ярусная; *г* – вертикально-щелевая; 1 – чаша; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатель; 5 – выпор; 6 – отливка

Термическая устойчивость, или **непригораемость** – способность смеси выдерживать высокую температуру заливаемого сплава без химического с ним взаимодействия или оплавления смеси.

**Газопроницаемость** – способность пропускать газы через стенки формы вследствие пористости. Это одно из важнейших свойств формовочных смесей. В расплавленном металле всегда содержатся растворённые газы, выделяющиеся при его охлаждении. Большое количество газов выделяется также из самих формовочных материалов при их нагреве. При недостаточной газопроницаемости в теле отливки могут образовываться газовые раковины, поры.

*Песчано-глинистые смеси* состоят из наполнителя, связующего и различных добавок.

Наполнителем является песок и бывшие в употреблении смеси. Связующее – глина (до 10–15 %). Для улучшения свойств формовочной смеси вводят специальные добавки. Так, для чугунного литья в качестве противопригарного компонента вводится каменноугольная пыль. В смесях для стального литья в качестве противопригарной добавки используют пылевидный кварц.

При заливке металла стержни находятся в более тяжёлых условиях, испытывая значительное термическое и механическое воздействие расплавлен-

ного металла. Поэтому к стержневым смесям предъявляют более высокие требования по прочности. С этой целью в стержневые смеси добавляют в качестве связующих растворы растительных масел и канифоли в уайт-спирите, силикатные клеи и другие материалы.

Приготовление песчано-глинистых смесей включает несколько операций: сушка песка и глины (при температуре 200–250 °С), получение угольного и кварцевого порошка, перемешивание компонентов и увлажнение. Для выполнения этих операций требуются специальные сушильные печи и смесители.

### 2.3.2. Ручная формовка

Ручная формовка – основной способ изготовления форм в литейном производстве, связана с тяжёлой и трудоёмкой работой. Наиболее распространённый способ ручной формовки в двух опоках показан на рис. 2.3. Применяется в производстве мелких и средних отливок в единичном и мелкосерийном производстве.

### 2.3.3. Машинная формовка

Машинная формовка применяется в массовом и крупносерийном производстве. Машинная формовка во много раз увеличивает производительность труда, облегчает условия работы.

По характеру уплотнения смеси различают несколько способов машинной формовки.

*Уплотнение прессованием* показано на рис. 2.6.

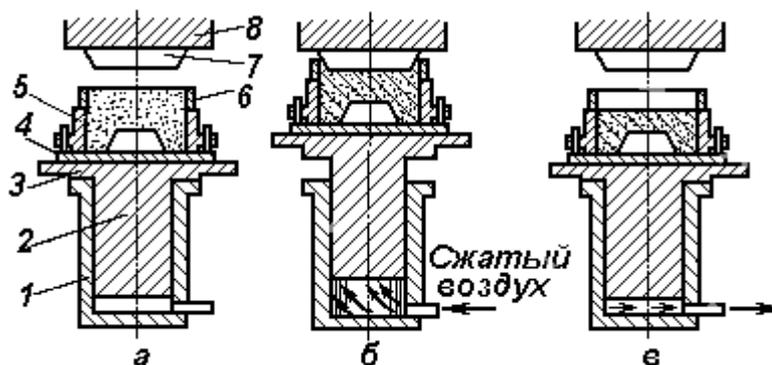


Рис. 2.6. Схема машинной формовки прессованием

Сжатый воздух подается в рабочую полость цилиндра 1, при этом прессовый поршень 2 и стол 3 с прикрепленной к нему модельной плитой 4 поднимаются (рис. 2.6, а). Колодка 7, закрепленная на траверсе 8, входит внутрь наполнительной рамки 6 (рис. 2.6, б) и уплотняет формовочную смесь в опоке 5 (рис. 2.6, в). Плотность формовочной смеси уменьшается по мере удаления от прессовой колодки из-за трения смеси о стенки опоки. Поэтому прессование используют для уплотнения смеси в опоках высотой не более 200–250 мм.

**Уплотнение встряхиванием** (рис. 2.7) производится на специальных встряхивающих машинах и позволяет уплотнять высокие, сложной конфигурации формы.

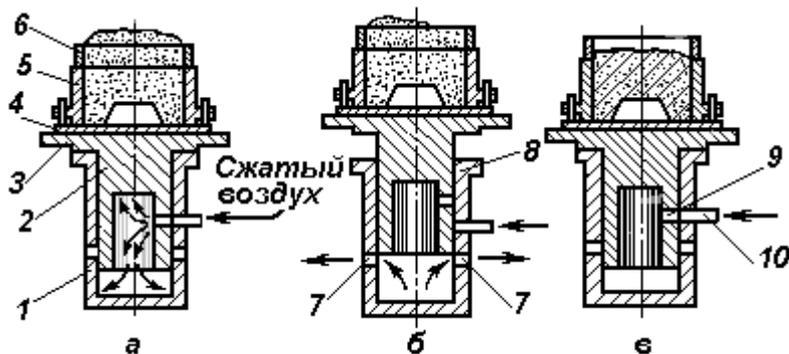


Рис. 2.7. Схема машинной формовки встряхиванием

Сжатый воздух подается в нижнюю часть цилиндра 1 (рис. 2.7, а), при этом встряхивающий поршень 2 поднимается и перекрывает впускное отверстие 10, а нижняя его кромка открывает выхлопные окна 7 (рис. 2.7, б). Воздух выходит в атмосферу, давление под поршнем снижается, и стол 3 с укрепленной на нем модельной плитой 4 падает, ударяясь о торец цилиндра 8 (рис. 2.7, в). Скорость стола и модельной плиты падает до нуля, а формовочная смесь в опоке 5 и наполнительной рамке 6 продолжает двигаться вниз по инерции и поэтому уплотняется. Когда канал 9 встряхивающего поршня окажется против отверстия 10, сжатый воздух снова войдет в полость цилиндра. Это повлечет новый подъем стола и новый удар его о торец и т. д.

Встряхивающий стол совершает 120–200 ударов в минуту. При этом способе слои формовочной смеси имеют наибольшую плотность у модельной плиты. Встряхиванием уплотняют формы высотой до 800 мм. Для уплотнения верхних слоёв формы встряхивание совмещают с прессованием.

Для уплотнения смеси при получении крупных отливок применяются **пескомёты** (рис. 2.8). Рабочий орган пескомёта – метательная головка – выбрасывает порции формовочной смеси на рабочую поверхность модельной плиты. В стальном кожухе 1 метательной головки вращается закреплённый на валу электродвигателя ротор 4 с

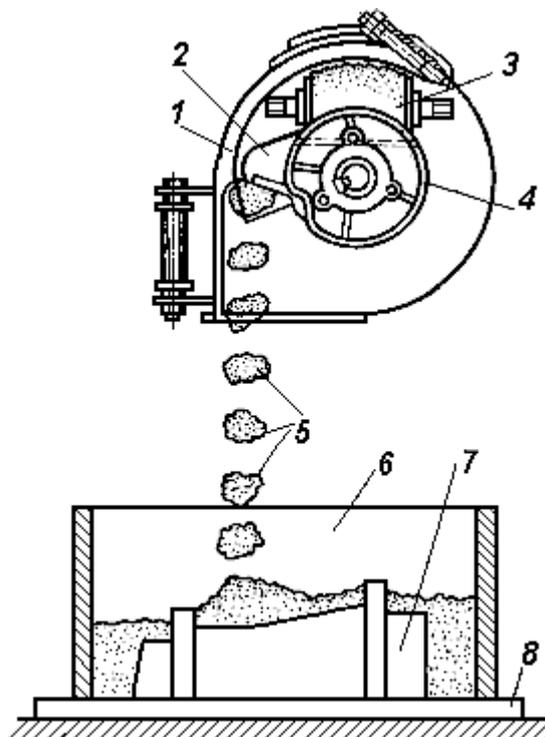


Рис. 2.8. Схема уплотнения форм пескомётом

ковшом 5. Формовочная смесь подаётся в головку непрерывно ленточным конвейером 3 через окно в задней стенке кожуха. При вращении ротора с частотой 1000–1200 об/мин формовочная смесь собирается в пакеты 5 и центробежной силой выбрасывается через выходное отверстие в опоку 6. Попадая на модель 7 и модельную плиту 8, смесь за счёт кинетической энергии равномерно уплотняется по высоте опоки. Метательная головка может перемещаться над опокой, управление работой пескомёта автоматизировано. Пескомёт – высокопроизводительная машина, его применяют для уплотнения крупных литейных форм.

**Преимуществом** литья в земляные формы является универсальность способа. Этим способом получают отливки любой конфигурации, из любых металлов и любой массы. Формовочные материалы недефицитны и дешёвы.

**Недостатки способа:** шероховатая поверхность отливки, большой припуск на механическую обработку, большой расход металла на литники, очень низкие санитарно-гигиенические условия труда.

**Применяется** способ от индивидуального до массового производства во всех отраслях промышленности.

## 2.4. Специальные способы литья

В современном литейном производстве все более широкое применение получают специальные способы литья. Эти способы позволяют получать отливки повышенной точности и с чистой поверхностью, часто не требующие механической обработки, чего нельзя добиться при литье в песчаные формы. Кроме того, некоторые из специальных способов литья обеспечивают значительно более высокую культуру труда, лучшие санитарно-гигиенические условия и более высокий уровень механизации и автоматизации, чем литьё в песчаные формы.

### 2.4.1. Литьё в оболочковые формы

Отливки получают в тонкостенных формах-оболочках толщиной 6–15 мм, изготовленных из высокопрочных песчано-смоляных смесей.

Смесь состоит из кварцевого песка и 6–7 % синтетической смолы в виде порошка. Фенолформальдегидная смола при 70 °С размягчается, а при температуре свыше 120 °С плавится, превращаясь в клейкую массу.

При температуре 200–300 °С смола становится твёрдой и при повторном нагреве не расплавляется. При 450 °С смола выгорает. На этих свойствах смолы основана технология изготовления оболочковой литейной формы (рис. 2.9).

Формовочную смесь 3 засыпают в бункер 2 (рис. 2.9, а) и накрывают нагретой металлической плитой 1 с укрепленными на ней моделями отливок. При повороте бункера на 180° (рис. 2.9, б) частицы смолы начинают плавиться под действием тепла нагретых моделей. Образуется оболочка 4. Тол-

щина этой оболочки зависит от температуры подмодельной плиты и времени её выдержки под засыпкой.

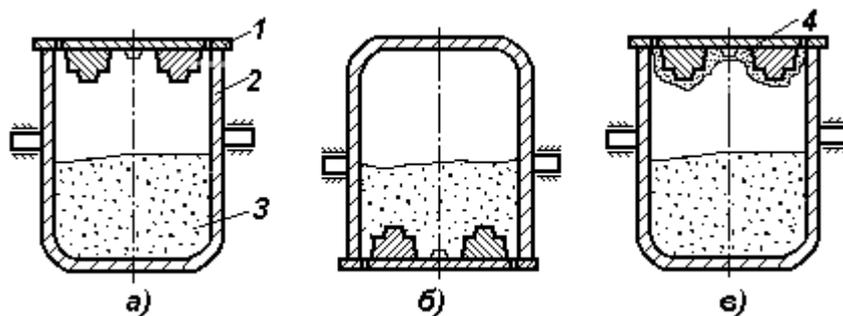


Рис. 2.9. Последовательность изготовления оболочковой формы

Через 25 с толщина оболочки достигает 6–8 мм, после чего бункер возвращают в исходное положение. Плита при этом оказывается сверху, избыток смеси, состоящей из песка и оставшейся неоплавленной смолы, осыпается на дно бункера (рис. 2.9, в). Модельную плиту вместе с оболочкой снимают с бункера и помещают в электропечь или газовую печь для полного затвердевания оболочки. Через 4 мин. плиту вынимают из печи, укладывают на стол специального съёмного механизма и с помощью толкателей, проходящих через отверстия в плите и упирающихся в оболочку, отделяют оболочку от плиты и поднимают её. С толкателей оболочка снимается и направляется на сборку. Две половины оболочки склеивают и соединяют скобой. Полученную оболочковую форму заливают сплавом в вертикальном или горизонтальном положении через литниковую систему. Оболочковая форма из песчано-смоляной смеси после заливки металлом легко разрушается, освобождая отливку.

Для крупных отливок, из-за опасности прорыва металла во время заливки, оболочковые формы помещают в опоку и засыпают чугунной дробью. В промышленности внедрены многопозиционные карусельные автоматы для изготовления оболочковых форм.

**Преимущества.** Литьё отличается высокой чистотой поверхности и точностью размеров. Хорошая газопроницаемость формы обеспечивает отсутствие газовых пор. Легко удаляются отливки из формы, так как при выгорании смолы создается тонкая газовая рубашка, которая защищает поверхность отливки от пригара смеси. Форма легко разрушается. Расход формовочной смеси в 5–10 раз меньше, чем при литье в земляные формы.

**Недостатком** способа является дороговизна и дефицит синтетической смолы, а также ограничение размера и массы отливок.

**Применяется** способ для отливки чугунных коленчатых валов автомобилей, чугунных ребристых цилиндров для тяжёлых мотоциклов, литого режущего инструмента и других отливок.

### 2.4.2. Литьё по выплавляемым моделям

Этим способом изготовляли литые скульптуры много столетий назад. В машиностроении его начали применять в 40-х годах XX века. На рис. 2.10 приведена схема технологического процесса изготовления литейной формы по методу выплавляемых моделей.

Пресс-форму (рис. 2.10, б) для получения выплавляемых моделей отливки (рис. 2.10, а) изготавливают металлической или пластмассовой. Легкоплавкую смесь (50 % парафина и 50 % стеарина) расплавляют в электрической печи (рис. 2.10, в) и заливают в пресс-форму (рис. 2.10, г).

Часто, во избежание образования усадочных раковин, смесь при перемешивании нагревают до пастообразного состояния и запрессовывают в пресс-форму.

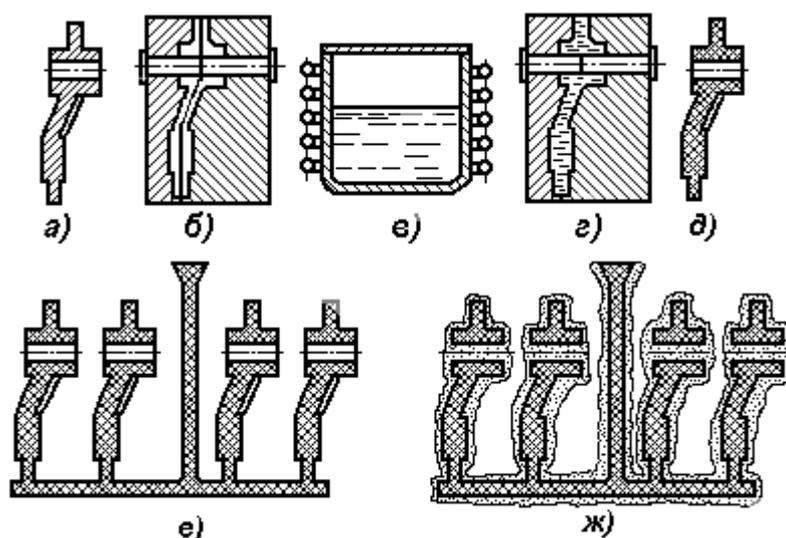


Рис. 2.10. Изготовление литейной формы методом выплавляемых моделей

После затвердевания легкоплавкую модель (рис. 2.10, д) вынимают из пресс-формы, собирают модели в блоки с общей литниковой системой (рис. 2.10, е) и погружают блок в огнеупорную суспензию, состоящую из 30 % гидролизованного раствора этилсиликата (обладает большой клейкостью) и 70 % кварцевой муки. Затем блок моделей посыпают сухим песком и сушат на воздухе. Повторяя эти операции несколько раз, получают форму толщиной 5–8 мм (рис. 2.10, ж).

Модель выплавляется из формы с помощью горячего воздуха, пара при 120–150 °С или горячей воды. Для крупных отливок облицованную и просушенную форму с литниковой системой помещают в металлическую опоку, засыпают песком и уплотняют или засыпают металлической дробью.

Готовую форму прокаливают при температуре 850–900 °С, при которой остатки легкоплавкого состава выгорают. Форма при этом превращается в прочную керамическую оболочку.

Форму заливают расплавом. При необходимости расплав подают в форму под действием центробежных сил.

После затвердевания металла блоки отливок выбивают из опок. Керамическую корку отбивают. Для удаления керамической корки из отверстий и внутренних каналов отливки выщелачивают при 120 °С в ванне с щелочным раствором, затем промывают их в горячей воде. После контроля отливок отрезают литники и зачищают их остатки. На многих заводах при литье по выплавляемым моделям все процессы изготовления отливок механизированы и автоматизированы.

В промышленности применяют следующие способы получения точных отливок: литьём по выжигаемым, растворяемым, размораживаемым и по газифицируемым моделям. Все это – разновидности способа литья по моделям, удаляемым из готовой литейной формы без её разборки (разъёма). Наиболее перспективным из них является способ с применением моделей из пенопласта (пенополистирола) или, как его называют, *литьё по газифицируемым моделям*.

Особенность литья по пенопластовым моделям – применение неразъёмных форм, из которых модель не извлекается, а газифицируется за счет теплоты расплавленного металла. Таким способом получают отливки массой от 0,2 кг до нескольких тонн из стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов в единичном и серийном производстве.

Пенополистирол, из которого изготавливают модели, имеет малую плотность, разлагается при 300–350 °С, выделяя пары стирола, легко обрабатывается даже простым ножом и разогретой проволокой.

В единичном производстве пенопластовые модели изготавливают механической обработкой вручную или на станках.

Экономическая эффективность способа особенно значительна в производстве крупных сложных отливок.

**Преимущества.** Отсутствие у формы разъёма обеспечивает повышенную точность. Важным преимуществом способа является возможность получения отливок самой сложной конфигурации практически из любых сплавов. Высокая точность и чистота отливки позволяет исключить механическую обработку.

**Недостатком** способа является длительный технологический процесс и высокая стоимость отливки.

**Применяется** способ в массовом и серийном производстве. Способ незаменим при изготовлении отливок из труднообрабатываемых сплавов (жаропрочных, магнитных, инструментальных), лопаток реактивных двигателей, челноков швейных машин и т. п.

### 2.4.3. Литьё в металлические формы

Металлические формы (*кокили*) изготавливают из чугуна, стали и других сплавов. В кокилях получают 45 % всех алюминиевых и магниевых отливок, 11 % чугунных отливок, 6 % стальных отливок.

Конструкции кокилей очень разнообразны, они могут быть неразъёмными и разъёмными, но чаще всего кокиль изготавливают из двух половин. Плоскость разъёма может быть вертикальной и горизонтальной. Внутренняя, рабочая часть кокиля соответствует внешней конфигурации отливки. После затвердевания металла кокиль раскрывают и из него вынимают отливку.

Чтобы уменьшить скорость охлаждения отливок, избежать образования закалённого слоя и повысить стойкость кокиля, на его внутреннюю поверхность наносят теплоизоляционные, противопригарные покрытия. Их готовят из огнеупорных материалов (кварцевой муки, молотого шамота, графита, мела, талька) и связующего материала (жидкого стекла, сульфитного щелока и др.). После нанесения покрытия кокиль подвергается подсушке и прокатке.

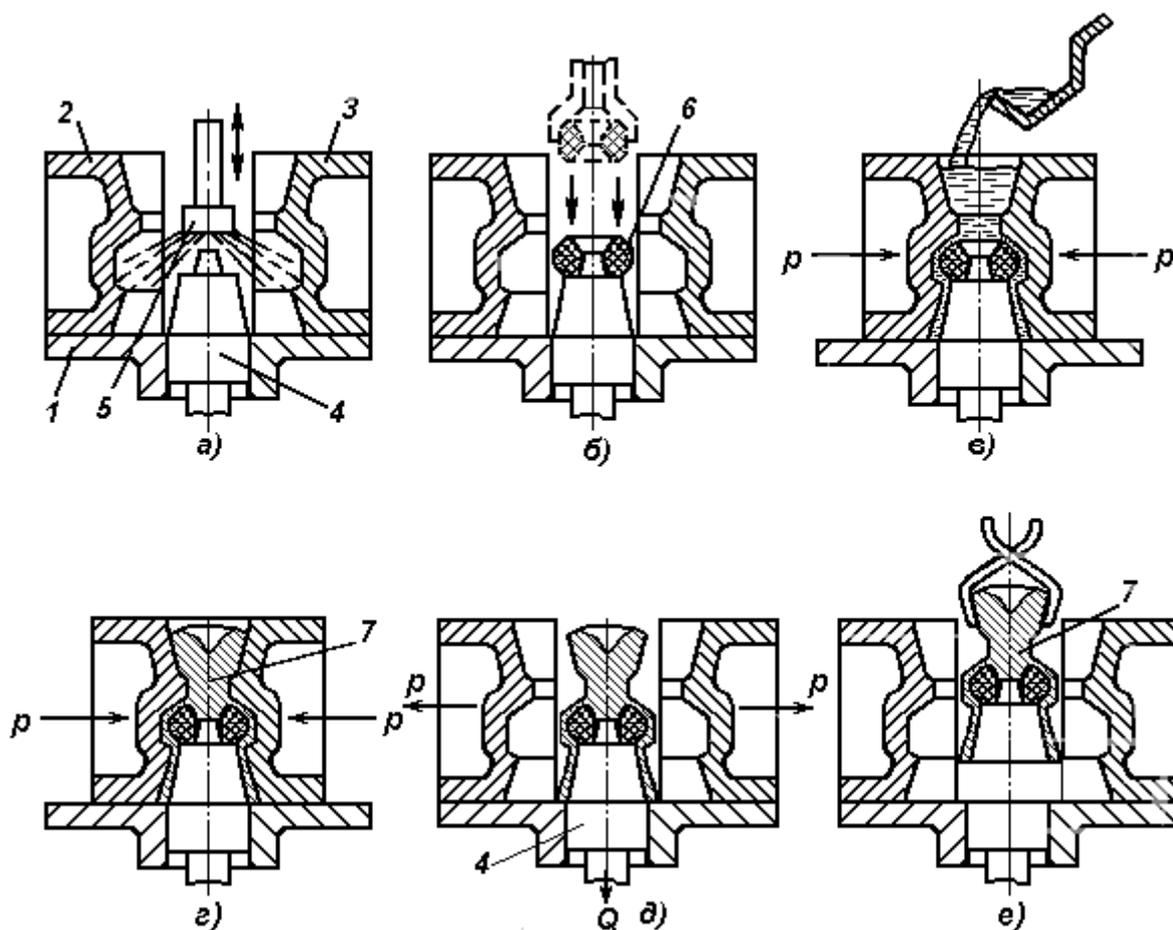


Рис. 2.11. Последовательность операций изготовления отливок в кокилях

В зависимости от толщины и свойств применяемых покрытий кокили подразделяются на кокили с *тонкослойным покрытием* толщиной до 0,5 мм (для цветных металлов) и кокили *футерованные* с толщиной покрытия до 10 мм (для крупных отливок из чугуна и стали).

Технологический процесс изготовления отливки в кокиле показан на рис. 2.11. Кокиль с вертикальным разъемом состоит из поддона 1, двух симметричных полуформ 2 и 3 и металлического стержня 4. Кокиль предвари-

тельно нагревают до температуры 150–180 °С, покрывают рабочую поверхность из пульверизатора 5 слоем защитного покрытия толщиной 0,3–0,8 мм (рис. 2.11, а). С помощью манипулятора устанавливают песчаный стержень 6 (рис. 2.11, б) для получения расширяющейся полости в отливке. Половины 2 и 3 кокиля соединяют, скрепляют и заливают расплав (рис. 2.11, в). После затвердевания отливки 7 (рис. 2.11, г) и охлаждения её до температуры выбивки кокиль раскрывают (рис. 2.11, д) и протягивают вниз металлический стержень 4. Отливка 7 удаляется из кокиля (рис. 2.11, е).

Полости в отливках оформляют песчаными, оболочковыми или металлическими стержнями. Песчаные стержни используют для получения отливок из чугуна, стали и цветных сплавов, а металлические – для получения отливок из алюминия и магния.

Для литья в кокиль применяют одно- и многопозиционные автоматические кокильные машины.

Кокиль – форма многократного использования. В нем можно получать до 300 стальных отливок, несколько тысяч отливок из алюминиевых сплавов.

**Преимущества.** Кокиль обеспечивает получение отливок с высоким качеством металла, повышенной точностью и чистотой поверхности. При этом способе улучшаются санитарно-гигиенические условия труда, есть возможность полной автоматизации процесса.

К **недостаткам** способа относятся высокая стоимость кокиля и трудоёмкость его изготовления. Можно отливать детали только относительно простой конфигурации. При литье в металлические формы из-за быстрого охлаждения уменьшается жидкотекучесть расплава. Возможно возникновение газовой пористости из-за отсутствия газопроницаемости формы.

Литьё в металлические формы **применяется** и как самостоятельный способ, и в других способах литья (литьё под давлением, центробежное литьё).

Кокили применяют, в основном, для получения отливок из цветных металлов и сплавов, реже – из стали и чугуна.

#### 2.4.4. Литьё под давлением

Литьё под давлением – наиболее производительный способ изготовления отливок из цветных металлов с высокой точностью и чистотой поверхности. Расплавленный металл заполняет стальную пресс-форму под давлением поршня до 300 МПа, быстро затвердевает и образует отливку.

Наибольшее распространение получили машины с холодной и горячей камерой прессования.

**Машина с холодной камерой прессования** показана на рис. 2.12. Дозу расплавленного металла заливают в горизонтальную камеру прессования 1 и подают поршнем 2 в пресс-форму, состоящую из двух полуформ: подвижной 3 и неподвижной 4. Для образования полости в отливке применяют металлический стержень 5. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается,

и отливка удаляется при помощи толкателей 6. Давление поршня на жидкий металл составляет от 40 до 200 МПа, масса отливок – до 45 кг.

Поршневые *машины с горячей камерой прессования* (рис. 2.13) развивают давление на металл 10–30 МПа. Особенность их устройства состоит в том, что камеру прессования 1 располагают в обогреваемом тигле с жидким металлом. При верхнем положении плунжера через отверстия 2 сплав заполняет камеру. При движении плунжера 3 вниз он перекрывает эти отверстия, сплав под давлением заполняет полость пресс-формы 4. После затвердевания отливки плунжер возвращается в исходное положение, остатки металла из канала сливаются в камеру прессования. Отливка удаляется из пресс-формы толкателями.

Такие машины применяют для литья из свинцово-сурьмянистых, цинковых, магниевых и алюминиевых сплавов с невысокой температурой плавления, не взаимодействующих с материалами тигля и камеры прессования.

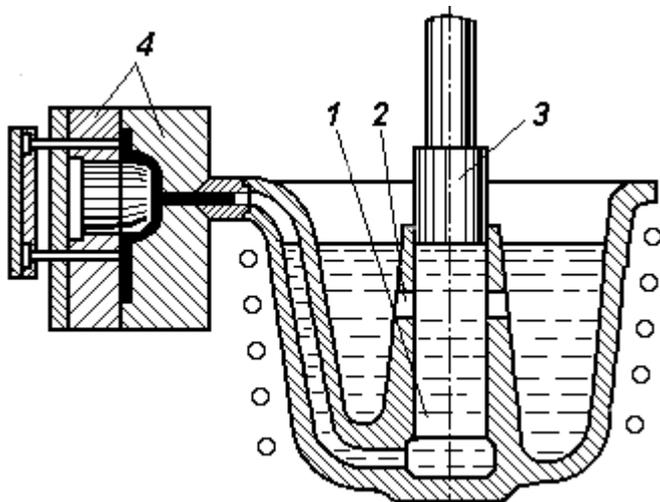


Рис. 2.13. Машина с горячей камерой прессования

скоростью (за доли секунды). При этом происходит быстрое закупоривание вентиляционных каналов пресс-формы, и из её полости не полностью удаляются воздух и газы, образующиеся при испарении и сгорании смазки. В затвердевшей отливке выявляется газовая пористость.

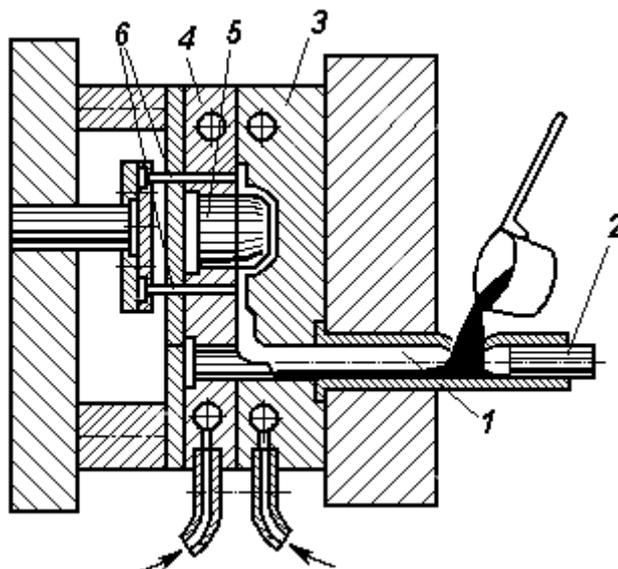


Рис. 2.12. Машина с холодной камерой прессования

Благодаря малому охлаждению сплава при заполнении пресс-формы на таких машинах можно производить очень мелкие детали – массой до нескольких граммов. Обычно масса отливок не превышает 25–30 кг. Машины имеют очень высокую производительность – до 3000 и более отливок в час при работе в автоматическом режиме.

**Особенности формирования отливок.** При литье под давлением расплав заполняет пресс-форму с очень большой

**Преимущества.** Это самый высокопроизводительный способ литья (до 3000 и более отливок в час). Дает высокую точность и чистоту поверхности отливки. Высокая степень автоматизации процесса позволяет встраивать участок для литья под давлением в автоматические линии.

**Недостатками** способа являются высокая стоимость оборудования и пресс-форм, ограниченная масса отливок, газоусадочная пористость отливок.

**Применяется** способ в массовом производстве для отливки корпусов электродвигателей из силумина, блоков цилиндров двигателей внутреннего сгорания, а также для литья из других цветных сплавов.

#### 2.4.5. Центробежное литьё

При этом способе отливки получают свободной заливкой во вращающиеся формы. Отливки формируются под действием центробежных сил. Центробежные силы отбрасывают заливаемый металл к стенкам формы, где он затвердевает, образуя пустотелую отливку.

Центробежным литьём в промышленности получают чугунные и стальные трубы, кольца и другие отливки типа тел вращения.

При этом способе литья исключается применение стержней для образования полостей в цилиндрических отливках. Отливки отличаются большой плотностью и высокими механическими свойствами. Центробежным литьём можно получать тонкостенные отливки из сплавов с низкой жидкотекучестью.

К недостаткам центробежного литья относится трудность получения качественных отливок из сплавов, склонных к ликвации, и невозможность выполнения отверстий точных размеров. Размеры отверстий отливок, изготавливаемых этим способом, зависят от количества металла, залитого в форму.

Формы приводят во вращение специальными центробежными машинами. В зависимости от положения в пространстве оси вращения формы, различают машины с горизонтальной и вертикальной осью вращения.

На машинах с горизонтальной осью вращения отливки получают со стенками равномерной толщины по длине и в поперечном сечении. На них отливают короткие и длинные трубообразные отливки.

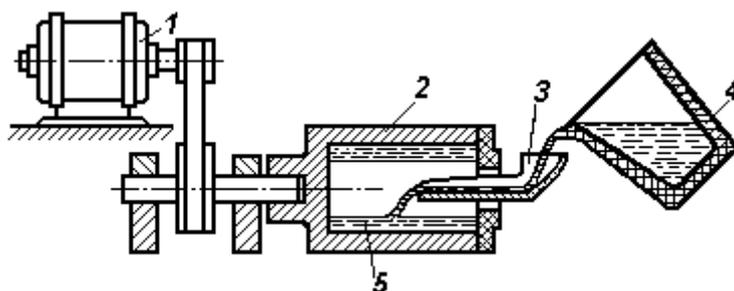


Рис. 2.14. Центробежная машина с горизонтальной осью вращения

На рис. 2.14 изображена схема *машины с горизонтальной осью вращения* форм для изготовления труб. Металл из ковша 4 заливают в форму 2 через жёлоб 3. Попадая на внутреннюю стенку вращающейся формы 2, жид-

кий металл образует вокруг нее полу цилиндрическую отливку 5, которую после затвердевания извлекают из формы.

В *машинах с вертикальной осью вращения* (рис. 2.15) металл из ковша 1 заливают в форму 2, укрепленную на шпинделе 3, который вращается от электродвигателя.

Металл центробежной силой прижимается к боковой цилиндрической стенке, образуя возле неё жидкий кольцевой слой 4. Форма вращается до полного затвердевания металла, после чего её останавливают и извлекают отливку.

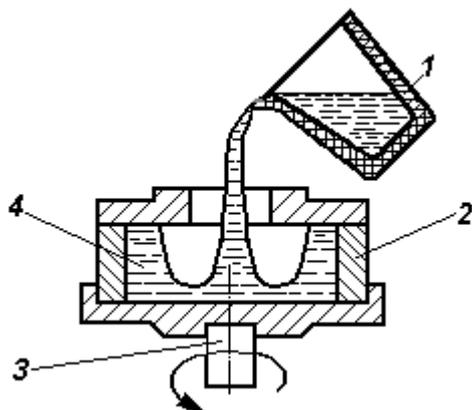


Рис.2.15. Центробежная машина с вертикальной осью вращения

При вертикальной оси вращения формы отливки имеют параболическую внутреннюю поверхность. Толщина верхней части отливки меньше, чем нижней части, так как при вращении формы часть металла стекает вниз под действием гравитационных сил. Этим методом литья получают отливки небольшой высоты.

*Преимуществом* способа является возможность получения пустотелых отливок без применения стержней, получение плотной и мелкозернистой структуры.

*Недостаток* способа – высокая стоимость оборудования.

*Применяется* способ для отливки труб, колец, гильз из стали, чугуна и других сплавов.

#### 2.4.6. Другие способы литья

*Непрерывное литьё* показано на рис. 2.16. Жидкий металл, поступающий из тигля 1, быстро затвердевает в водоохлаждаемом кристаллизаторе 2 и образует непрерывную заготовку 3, которую вытягивают с определенной скоростью тянущими роликами 4 и разрезают дисковой пилой 5 на куски.

Этим способом получают отливки с параллельными образующими из чугуна, медных, алюминиевых и других сплавов (рис. 2.17).

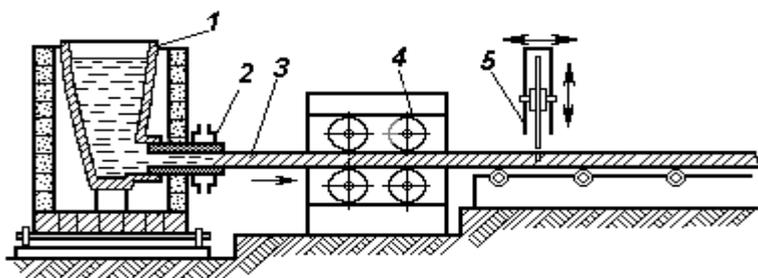


Рис. 2.16. Схема установки непрерывного литья

*Преимущество:* благодаря направленному затвердеванию сплава, отливки не имеют неметаллических включений, усадочных раковин и пористости.

*Литьё выжиманием* (рис. 2.18) применяют для получения тонкостенных крупногабаритных отливок

типа панелей размерами до 1000–2500 мм с толщиной стенки 2–5 мм из алюминиевых и магниевых сплавов. При повороте подвижной полуформы 1 залитый между полуформами жидкий металл (рис. 2.18, а) заполняет полость 2 формы, его излишек выжимается в приёмный ковш 3 (рис. 2.18, б). Приведённая на схеме установка имеет угловое перемещение подвижной полуформы. Существуют также установки с плоскопараллельным перемещением подвижной полуформы; те и другие автоматизированы.

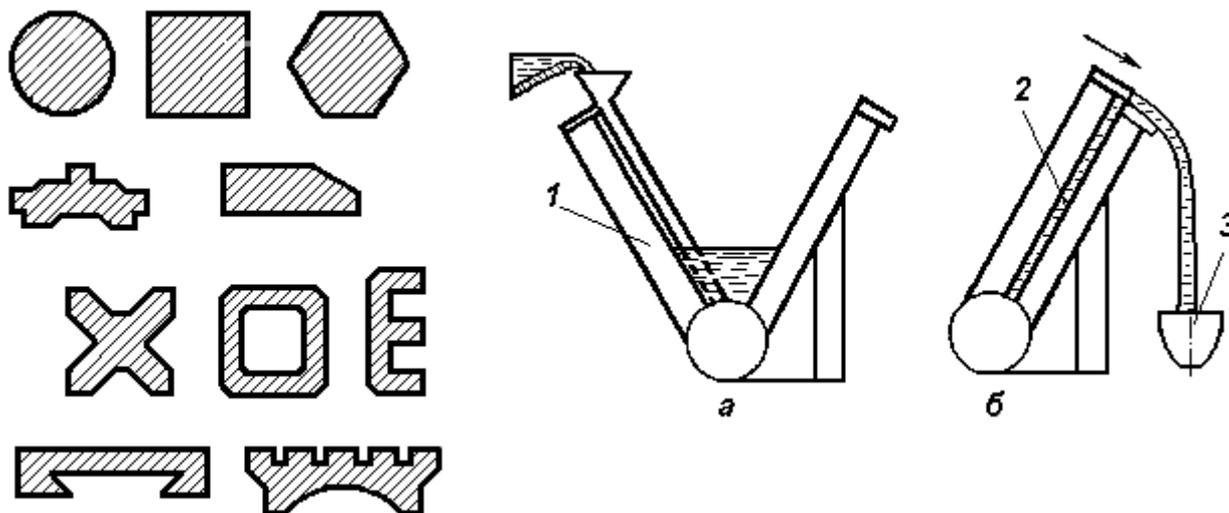


Рис. 2.17. Образцы отливок, полученных непрерывным литьём

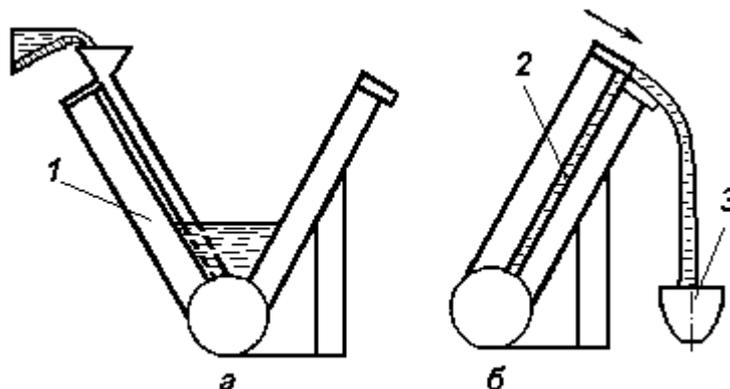


Рис. 2.18. Схема литья выжиманием

**Литьё вакуумным всасыванием** (рис. 2.19). Водоохлаждаемая литейная форма 3, опирающаяся на керамический поплавок 2, заполняется расплавленным металлом из раздаточной печи 1 за счёт разрежения, создаваемого в форме вакуумным насосом. Во время непродолжительной выдержки формируется отливка 4. Затем полость формы соединяется с атмосферой, и незатвердевший металл сливается обратно в печь.

Способ применяется для получения втулок, вкладышей подшипников скольжения и других отливок простой формы из дорогих и дефицитных бронз и латуней. **Преимущество** – получение качественных отливок без расхода металла на литники и прибыли.

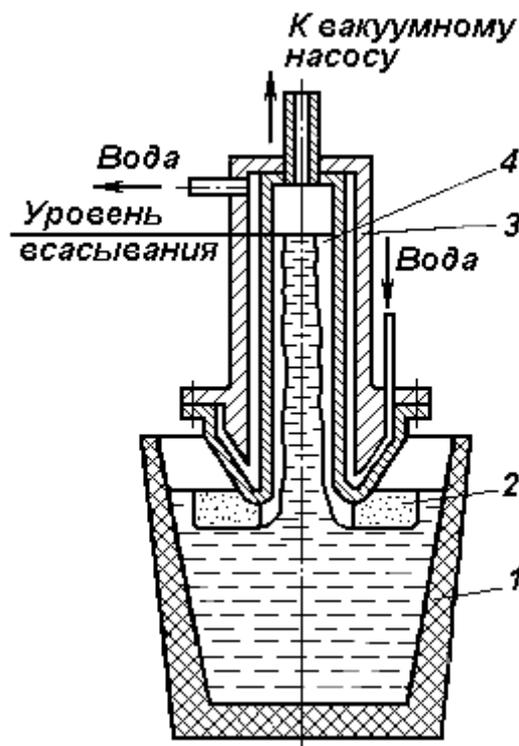


Рис. 2.19. Схема литья вакуумным всасыванием

**Литьё намораживанием** (рис. 2.20, а). Суть способа в том, что образование отливки происходит в результате последовательного затвердевания металла – его «намораживания» на затравку.

На поверхность жидкого металла 1 помещают керамический поплавок 2 с отверстием, соответствующим сечению отливки. В мениск выступающего из отверстия металла вводят затравку 4. При её подъёме из отверстия поплавок за счёт сил поверхностного натяжения постепенно вытягивается жидкий металл, затвердевающий («намораживающийся») и образующий отливку 3. Скорость вытягивания изделия должна быть точно согласована со скоростью охлаждения и затвердевания металла.

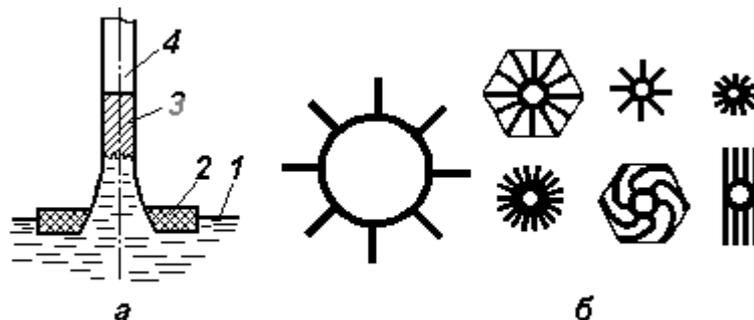


Рис. 2.20. Схема литья намораживанием (а) и примеры сечений отливок, полученных намораживанием из расплава (б)

Способ применяется для получения лент шириной 100 мм и более, труб с внутренними и наружными рёбрами и других изделий сложного профиля из алюминиевых сплавов (рис. 2.20, б).

**Жидкая прокатка** (рис. 2.21) – это совмещённый способ литья и прокатки.

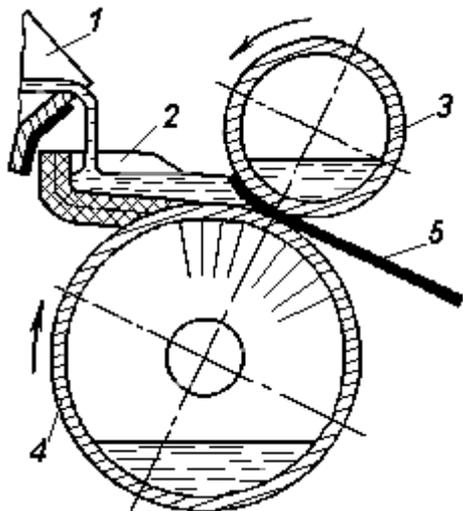


Рис. 2.21. Схема жидкой прокатки

Жидкий металл наливают из ковша 1 в приемник 2, из которого он поступает на поверхность охлаждаемых валков 3 и 4, вращающихся навстречу друг другу. В зазоре между валками происходит кристаллизация металла. Затвердевший металл 5 в пластичном состоянии выжимается из зазора в виде ленты.

Так получают ленты и листы шириной до 750 мм и толщиной 0,7–2,5 мм из алюминия, чугуна и других сплавов.

**Жидкая штамповка** (рис. 2.22) занимает промежуточное положение между литьём и горячей объёмной штамповкой. Порцию жидкого металла 1 заливают в металлическую форму (матрицу) 2, в которую затем опускается металлический пуансон 3, выдав-

ливающий металл и заставляющий его заполнить все полости формы. В результате между формой 2 и пуансоном 3 образуется отливка 4.

Способ пригоден для сплавов на медной, алюминиевой, магниевой и цинковой основе. Отливки приобретают высокую плотность и механические свойства благодаря интенсивному теплоотводу и горячему деформированию литой структуры в процессе кристаллизации.

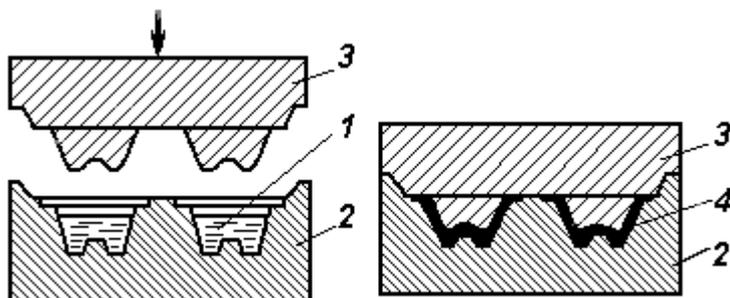


Рис. 2.22. Схема жидкой штамповки

Существуют также другие, реже применяемые специальные способы литья. Каждый из этих способов имеет свои особенности, определяющие области применения и экономическую эффективность.

## 2.5. Дефекты отливок

Причин возникновения брака в литейном производстве очень много: некачественные формовочные материалы, плохое качество шихты, неудачная конструкция самой детали или литниковой системы, нарушения технологии при формовке, заливке форм и охлаждении отливок.

Дефекты отливок приведены на рис. 2.23.

I группа – **несоответствия по геометрии**: недолив 1, вылом 2, перекос 3, разностенность 4;

II группа – **дефекты поверхности**: пригар 1, нарост 2, ужимина 3, залив 4;

III группа – **несплошности в теле отливки**: усадочные раковины 1, газовые раковины 2, пористость 3;

IV группа – **включения**: металлические 1, неметаллические (песчаные раковины) 2, королек 3.

Рассмотрим, что представляют собой некоторые виды дефектов.

**Газовые раковины** (рис. 2.23, III, 2) – полости в теле отливок, созданные воздухом или газами, выделяющимися из жидкого металла при его затвердевании. Причинами их образования являются низкая газопроницаемость и повышенная влажность формовочной смеси, недостаточная дегазация металла перед заливкой.

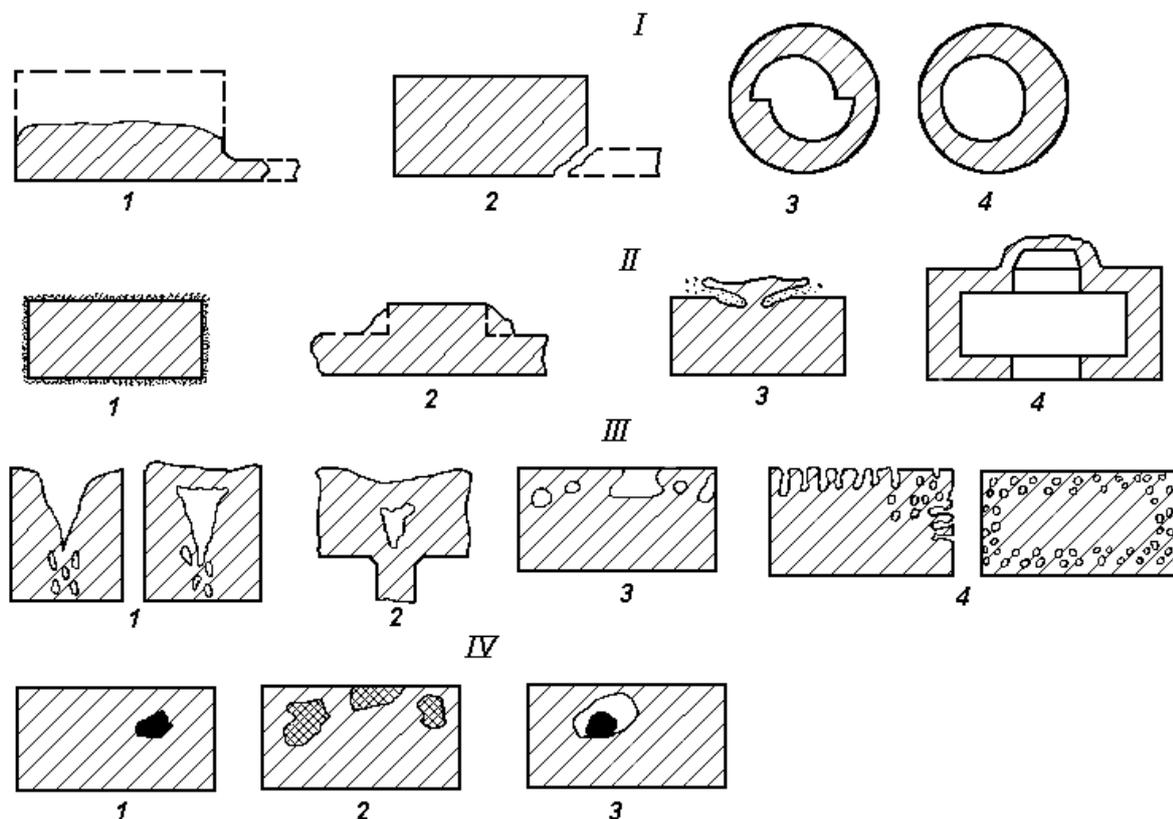


Рис. 2.23. Схема основных видов литейных дефектов

**Усадочные раковины** (рис. 2.23, III, 1) – открытые или закрытые полости, которые обычно образуются в утолщённых местах отливки. Причинами образования усадочных раковин являются неправильный подвод металла в форму, а также заливка форм излишне перегретым металлом, неправильная конструкция отливки, допускающая скопление больших объёмов металла в отдельных её частях.

Схема образования усадочной раковины показана на рис. 2.24. Сначала около стенок литейной формы образуется корка 1 твёрдого металла. Так как усадка расплава при переходе из жидкого состояния в твёрдое превышает усадку корки, то уровень металла в незатвердевшей части отливки понижается до линии *a–a*. В следующий момент времени на корке 1 нарастает новый твёрдый слой 2, а уровень жидкости понижается далее – до линии *б–б*. Так продолжается до тех пор, пока не закончится процесс затвердевания. Снижение уровня расплава при затвердевании приводит к образованию сосредоточенной усадочной раковины 3.

Этот дефект характерен для отливок из чистых металлов, сплавов эвтектического состава и сплавов с узким интервалом кристаллизации.

**Усадочная пористость** (рис. 2.23, III, 3) – скопление мелких пустот в обширной зоне отливки, образовавшихся в результате усадки при срастании кристаллов. Схема образования усадочной пористости показана на рис. 2.25.

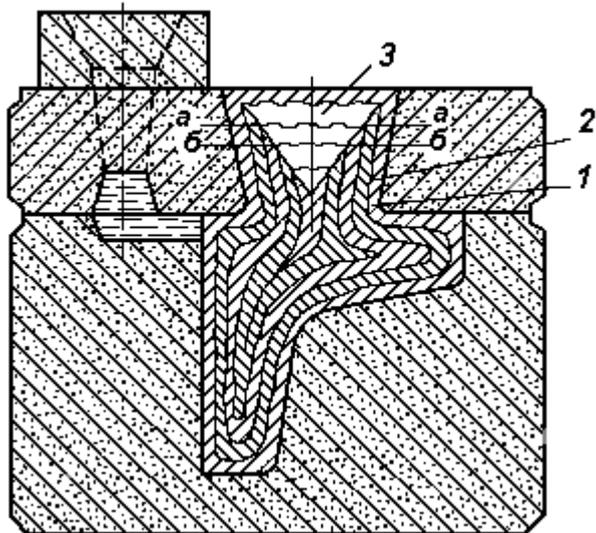


Рис. 2.24. Схема образования усадочной раковины

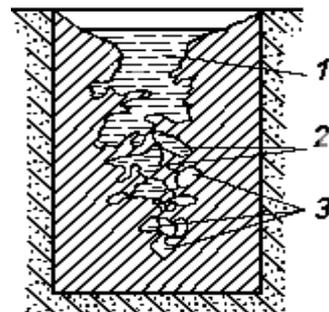


Рис. 2.25. Схема образования усадочной пористости

В разобшённых ячейках 2 между сросшимися кристаллами остатки жидкой фазы 1 кристаллизуются без доступа к ним питающего расплава, поэтому в каждой такой ячейке образуется маленькая усадочная раковина 3. Множество таких межзёренных раковин образует пористость.

Этот дефект характерен для отливок из сплавов с широким интервалом кристаллизации.

**Песчаные раковины** (рис. 2.23, IV, 2) – чаще всего открытые, различной формы пустоты в теле отливки, частично или целиком заполненные формовочной смесью. Причинами образования песчаных раковин являются разрушение отдельных частей формы, смыв формовочной смеси расплавом при неправильном его подводе.

**Холодные трещины** – сквозные и несквозные разрывы в стенках отливки, небольшой ширины и значительной длины. Они образуются при низких температурах и имеют неокисленную поверхность. Причиной появления холодных трещин является усадка сплава, приводящая к большим внутренним напряжениям. Для предупреждения их образования необходимо обеспечивать равномерное охлаждение отливок во всех сечениях, проводить отжиг отливок.

**Горячие трещины** – разрывы в стенках отливки, имеющие значительную ширину и небольшую протяженность. Они образуются при высокой температуре и имеют тёмную окисленную поверхность. Трещины могут возникать в случае недостаточной податливости стержней и отдельных частей формы, ранней выбивки отливки из формы.

**Заливы** (рис. 2.23, II, 4) – тонкие, различные по величине и форме, не предусмотренные чертежом выступы на отливке, образующиеся по плоскости разъёма формы из-за наличия излишнего зазора между полуформами.

**Пригар** (рис. 2.23, II, 1) – трудно отделимый от поверхности отливки слой из металла, его оксидов и частичек формовочной смеси. Это результат взаимодействия прогретого материала формы с расплавом. Для устранения пригара снижают температуру заливки металла, на рабочую поверхность формы наносят противопригарные покрытия.

**Недолив** (рис. 2.23, I, 1) – неполное заполнение формы расплавом, что наблюдается при недостаточной его жидкотекучести, при скоплении газов, препятствующих заполнению формы, при недостаточных размерах питателей литниковой системы.

**Перекося** (рис. 2.23, I, 3) – несоответствие конфигурации отливки чертежу из-за смещения одной части отливки относительно другой. Перекося, как правило, является следствием неправильного центрирования опок при чрезмерном износе штырей.

**Разностенность** (рис. 2.23, I, 4) – разная толщина стенок отливки, причиной которой является неправильная установка или смещение стержней при заливке формы из-за непрочного их крепления в форме.

**Коробление** – искажение размеров и конфигурации отливки под влиянием внутренних напряжений, возникающих при неравномерном охлаждении отдельных её частей. Для предупреждения короблений в отливках необходимо увеличивать податливость формы и создавать рациональную конструкцию отливки.

## 2.6. Отходы литейного производства

*Литейное производство характеризуется наличием токсичных воздушных выбросов, сточных вод и твёрдых отходов.*

Острой проблемой в литейном производстве считается неудовлетворительное состояние воздушной среды. Наибольшее количество пыли выделяется оборудованием для выбивки форм и стержней. Для очистки выбросов от пыли применяют циклоны разных типов и скрубберы. Эффективность очистки в этих аппаратах находится в пределах 20–95 %.

Применение в литейном производстве синтетических связующих особенно остро ставит проблему очистки воздушных выбросов от токсичных веществ: фенола, формальдегида, оксидов углерода, бензола и др. Для обезвреживания органических паров литейного производства применяют различные способы: термическое сжигание, каталитическое дожигание, адсорбцию активированным углём, окисление озоном, биоочистку и другие способы.

Источником сточных вод в литейных цехах служат, главным образом, установки очистки литья, мокрой очистки воздуха, регенерации отработанных формовочных смесей. Огромное экономическое значение для народного хозяйства имеет утилизация сточных вод и шлама. Количество сточных вод можно значительно снизить путем применения оборотного водоснабжения.

Твердые отходы литейного производства, поступающего в отвалы, представляют собой, в основном, отработанные литейные пески. Незначи-

тельную часть (менее 10 %) составляют металлические отходы, керамика, бракованные стержни и формы, огнеупоры, бумажный и древесный мусор.

Основным направлением уменьшения количества твёрдых отходов в отвалы следует считать регенерацию отработанных литейных песков, что обеспечивает снижение расхода свежих песков, а также связующих и катализаторов. Разработанные технологические процессы регенерации позволяют получать песок с хорошим качеством и высоким выходом целевого продукта.

При отсутствии регенерации отработанные формовочные смеси, а также шлаки используются в других отраслях промышленности: отработанные пески – в дорожном строительстве в качестве балластного материала для выравнивания рельефа и устройства насыпей; отработанные песчано-смоляные смеси – для изготовления асфальтобетона; мелкая фракция отработанных формовочных смесей – для производства стройматериалов: цемента, кирпича, облицовочных плиток; отработанные жидкостекольные смеси – для строительных цементных растворов и бетона; шлак литейного производства – для дорожного строительства в качестве щебня; мелкая фракция шлака – в качестве удобрения.

Захоронение твёрдых отходов литейного производства целесообразно проводить в овраги, отработанные карьеры и шахты.