

ГЛАВА 1. ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

1.1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ. ОБЛАСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.

Сущность литья по выплавляемым моделям заключается в том, что для получения отливок применяются разовые, точные неразъемные, керамические оболочковые формы, получаемые по разовым моделям с использованием жидких формовочных смесей. Перед заливкой расплава модель удаляется из формы выплавлением, выжиганием, растворением или испарением. Для удаления остатков модели и упрочнения форма нагревается до высоких температур. Прокалка формы перед заливкой практически исключает ее газотворность и улучшает заполняемость расплавом.

Основные операции технологического процесса. Модель или звено моделей 2 изготавливают в разъемной пресс-форме 1, рабочая полость которой имеет конфигурацию и размеры отливки с припусками на усадку (модельного состава и материала отливки) и обработку резанием (рис. 1.1, а). Модель изготавливают из материалов, имеющих невысокую температуру плавления (воск, стеарин, парафин), способных растворяться (карбамид) или сгорать без образования твердых остатков (полистирол). Готовые модели или звенья моделей собирают в блоки 3 (рис. 1.1, б) имеющие модели элементов литниковой системы из того же материала, что и модель. Блок моделей состоит из звеньев, центральная часть которых образует модели питателей и стояка. Модели чаши и нижней части стояка изготавливают отдельно и устанавливают в блок при его сборке. Блок моделей погружают в емкость с жидкой формовочной смесью — суспензией для оболочковых форм, состоящей из пылевидного огнеупорного материала, например пылевидного кварца или электрокорунда, и связующего (рис. 1.1, б). В результате на поверхности модели образуется тонкий (менее 1 мм) слой 4 суспензии. Для упрочнения этого слоя, увеличения его толщины на него наносят слои огнеупорного зернистого материала 5 (мелкий кварцевый песок, электрокорунд, зернистый шамот) (рис. 1.1, г). Операции нанесения суспензии и обсыпки повторяют до получения на модели оболочки требуемой толщины (3...10 слоев).

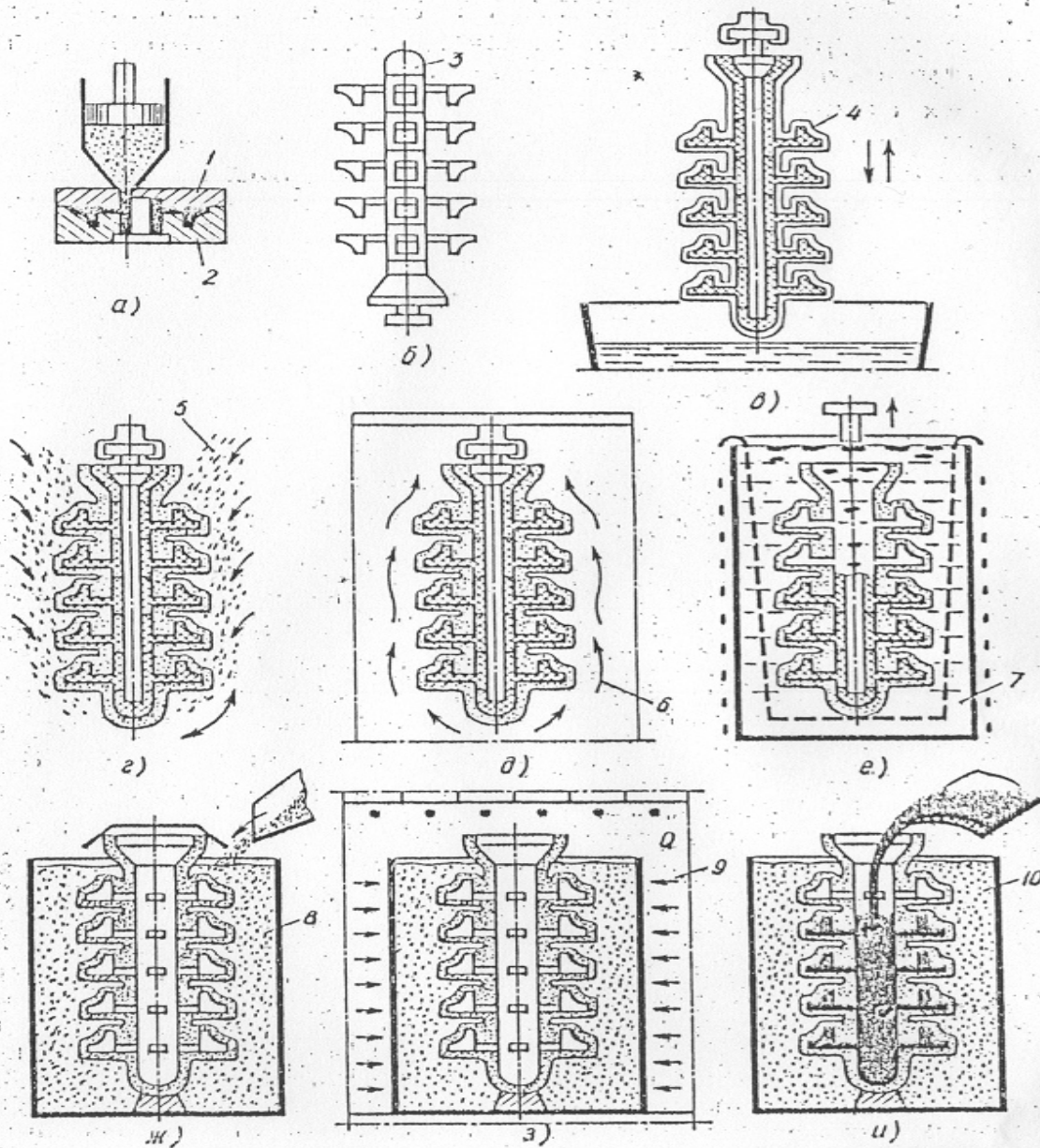


Рис. 1.1. Последовательность изготовления многослойной оболочковой формы по выплавляемым моделям: а - запрессовка модельного состава в пресс-форму; б - сборка блока; в - нанесение суспензии; г - обсыпка; д - сушка; е - удаление модели; ж - засыпка опорным материалом; з - прокатка; и - заливка формы расплавом.

1 - пресс-форма; 2 – модель; 3 – блок моделей отливок и литниковой системы; 4 – слой суспензии; 5 – огнеупорный зернистый материал; 6 – пары аммиака; 7 – горячая вода; 8 – опорный материал; 9 – печь; 10 – прокатенная форма.

Каждый слой покрытия высушивают на воздухе или в парах аммиака б, что зависит от связующего (рис. 1.1, д). После сушки оболочковой формы модель удаляют из нее выплавленным, растворением, выжиганием или испарением. На рис. 1.1, е. показан процесс удале-

ния выплавляемой модели в горячей воде 7 ($T_{\text{воды}} = 100^{\circ}\text{C}$). Так получают многослойную оболочковую форму по выплавляемой модели. Для упрочнения перед заливкой оболочковую форму помещают в металлический контейнер и засыпают огнеупорным материалом 8 (кварцевым песком, мелким боем использованных оболочковых форм) (рис. 1.1, ж). Для удаления остатков моделей из формы и упрочнения связующего контейнер с оболочковой формой помещают в печь 9 для прокаливания (рис. 1.1, з). Форму прокаливают при температуре $900 \dots 1100^{\circ}\text{C}$. Прокаленную форму 10 извлекают из печи и заливают расплавом (рис. 1.1, м). После затвердевания и охлаждения отливки до заданной температуры форму выбивают, отливки очищают от остатков керамики и отрезают от них литники.

Во многих случаях оболочки прокаливают в печи до засыпки огнеупорным материалом, а затем для упрочнения их засыпают предварительно нагретым огнеупорным материалом. Это позволит сократить продолжительность прокаливания формы перед заливкой и сократить энергозатраты. Так, например, организуется технологический процесс на автоматических линиях для массового производства отливок (см. раздел 1.7).

Малая шероховатость поверхности формы при достаточно высокой огнеупорности и химической инертности материала позволяет получать отливки с поверхностью высокого качества. После очистки от остатков оболочковой формы шероховатость поверхности отливок может быть от $R_z = 20$ мкм до $R_a = 1,25$ мкм.

Отсутствие разъема формы, использование для изготовления моделей материалов, позволяющих не разбирать форму для их удаления, высокая огнеупорность материалов формы, нагрев ее до высоких температур перед заливкой и др. улучшает заполняемость, дает возможность получать отливки сложнейшей конфигурации, максимально приближенной или соответствующей конфигурации готовой детали, практически из всех известных сплавов. Коэффициент точности отливок по массе (КТМ) может достигать $0,85 \dots 0,95$, что резко сокращает объемы обработки резанием и отходы металла в стружку. Точность отливок может соответствовать 2...5 классам точности по ГОСТ 26645-85, а припуски на обработку резанием для отливок размером до 50 мм обычно не превышают 1,0 мм, а размером до 500 мм составляют около 3,0 мм. Поэтому литье по выплавляемым относится к прогрессивным материало- и трудосберегающим технологическим процессам обработки металлов.

Краткие исторические сведения. Пробразом современного процесса литья по выплавляемым моделям является литье в формы, полученным по восковым моделям. Уже в древнем Эламе и Вавилоне около 4 тыс. лет назад использовали восковые модели для изготовления литых украшений и других предметов быта. Этот способ был известен в древнем Китае и Индии. Позже он получает распространение в Европе. Находки отливок, показывают поразительный расцвет художественной обработки металлов у древних племен Кавказа 2,5...3 тыс. лет назад.

В эпоху Возрождения великие художники и скульпторы использовали восковые модели для отливок художественных изделий — скульптур, украшений.

Восковые модели использовались и мастерами России в статуарном литье, при литье колоколов, пушек, церковной и домашней утвари. Примерами высокого мастерства литейщиков прошлого являются статуи Персея и отрубленной головы Медузы скульптора Бенвенуто Челлини, скульптурная группа «Укротители коней», модели и отливки выполнил скульптор П.К. Клодт, который впервые в истории нашего искусства стал литейщиком (литейное дело изучал у известного мастера В.П. Екимова) и многие другие работы в разных странах мира.

Позже этот процесс был освоен в зубопротезном и ювелирном производствах.

Его использованию в промышленности препятствовала низкая огнеупорность, использовавшихся тогда формовочных материалов (скульптурной глины, которая наносилась слоями на модель и служила материалом формы).

Лишь в 1929 году К. Прангль и Р. Ердл впервые применили огнеупорную суспензию, в которой в качестве связующего они использовали спиртовой коллоидный раствор кремниевых ангидрида. Сначала этот процесс нашел применение в стоматологии США, а позже для массового производства мелких отливок из стали и тугоплавких сплавов.

Начало широкого освоения этого способа в промышленности России связано с необходимостью получения лопаток авиационных двигателей. Первая промышленная партия таких отливок из сплавов на кобальтовой и никелевой основе была получена в 1944 году. В конце 40-х годов осваивается производство стальных деталей стрелкового оружия, швейных машин, бурового и металлорежущего инструмента.

Дальнейшее развитие этого процесса позволило его использование и в других отраслях машиностроения и в приборостроении. Таким способом стали получать отливки из различных сплавов, толщина стенки которых была менее 1 мм, а шероховатость поверхности и точность размеров, позволяющая отказаться или значительно сократить объем обработки резанием. С этой целью стали производиться средства механизации и автоматизации процесса, на базе которых созданы автоматизированные литейные цехи по производству точных отливок.

Однако литье по выплавляемым моделям - процесс многооперационный. Манипуляторные операции при изготовлении и сборке моделей, нанесении суспензии на модель и другие достаточно сложны и трудоемки, что осложняет автоматизацию процесса. Процесс состоит из ряда длительных операций, определяющих производительность - послойное формирование и сушка слоев оболочковой формы на модели, прокаливание формы.

Вследствие большого числа операций, технологических факторов, влияющих на размеры полости формы и соответственно отливки, может снижаться точность отливок.

Качество отливок, получаемых данным способом, существенно зависит от стабильности свойств исходных материалов для изготовления моделей, суспензии, формы, а также от стабильности режимов технологического процесса. Это осложняет автоматизацию управления технологическим процессом.

Указанные выше особенности технологического процесса изготовления отливок в керамических оболочковых формах определяют три важнейшие проблемы его развития: сокращение числа операций технологического процесса и их длительности, упрощение манипуляторных операций с целью их автоматизации; реализация резервов повышения точности моделей, форм и отливок, которыми обладает данный процесс; создание систем автоматизированного управления технологическим процессом.

Особенности формирования и качество отливок. Особенности формирования отливок в оболочковой форме обусловлены тем, что, как правило, перед заливкой форму нагревают до сравнительно высоких температур. Эти особенности заключаются в следующем.

1. Небольшие теплопроводность, теплоемкость и плотность материалов оболочковой формы и повышенная температура формы снижают скорость отвода теплоты от расплава, что способствует улучшению заполняемости формы. Благодаря этому возможно получение

сложных отливок из стали с толщиной стенки 0,8...2,0 мм, со значительной площадью поверхности. Улучшению заполняемости формы способствует также и малая шероховатость ее стенок, возможность использования внешних воздействий на расплав таких, как поле центробежных или электромагнитных сил, заливка с использованием вакуума и др.

2. Невысокая интенсивность охлаждения расплава в нагретой оболочковой форме приводит к снижению скорости затвердевания отливок, укрупнению кристаллического строения, возможности появления в центральной части массивных узлов и толстых (6...8 мм) стенок усадочных дефектов — раковин и рыхлот. Тонкие же стенки (1,5...3,0 мм) затвердевают достаточно быстро, и осевая пористость в них не образуется. Для уменьшения усадочных дефектов необходимо создавать условия для направленного затвердевания и питания отливок. Для улучшения кристаллического строения отливок используют термическую обработку.

3. Повышенная температура формы при заливке способствует развитию на поверхности контакта отливка - форма физико-химических процессов, которые позволяют привести изменение структуры поверхностного слоя отливки в требуемом или нежелательном направлении, т.е. к появлению дефектов поверхности.

Например, на отливках из углеродистых сталей характерным дефектом является окисленный и обезуглерожженный поверхностный слой глубиной до 0,5 мм. Причина окисления и обезуглероживания отливок заключается во взаимодействии в основном кислорода воздуха с металлом отливки при ее затвердевании и охлаждении, Эти процессы достаточно подробно рассмотрены в работах [13, 16].

Основные факторы, влияющие на процесс обезуглероживания - это состав газовой среды, окружающей отливку, температура отливки и формы, содержание углерода в отливке.

С увеличением содержания в среде, окружающей отливку, газов-окислителей O_2 , CO_2 и паров H_2O , при высоких температурах отливки и формы процессы обезуглероживания интенсифицируются. Поэтому небольшая скорость охлаждения отливки в нагретой оболочковой форме способствует увеличению глубины обезуглерожженного слоя отливки. Увеличение содержания углерода в стали повышает интенсивность обезуглероживания поверхностного слоя отливки. Для уменьшения глубины обезуглерожженного слоя используют специальные технологические приемы, основанные на предотвращении или уменьшении контакта кислорода воздуха с затвердевающей отливкой; на создании вокруг отливки восстановительной га-

зовой среды и на быстром охлаждении, т. е. сокращении длительности реакции.

На отливках из легированных сталей следствием физико-химического взаимодействия материалов формы и отливки при высоких температурах являются точечные дефекты (питтинг), приводящие к снижению коррозионной стойкости, жаростойкости и жаропрочности отливок и их браку.

Предупредить появление этого дефекта возможно созданием восстановительной газовой среды в форме, заливкой форм в вакууме, нейтральной или защитной среде; уменьшением или устранением взаимодействия окислов отливки и формы; заменой ее огнеупорного материала, например кремнезема, высокоинертными основными (магнезитовые, хромомагнезитовые).

4. Стремление получить отливки с чистой, гладкой поверхностью вызывает необходимость использования огнеупорных материалов с малыми размерами зерна основной фракции ($< 0,05$). Это снижает газопроницаемость оболочковой формы до нескольких единиц, создает опасность образования воздушных «мешков» в форме при ее заполнении, приводит к снижению заполняемости формы и образованию дефектов отливки из-за незаполнения формы.

Эффективность производства и область применения. На основе производственного опыта можно указать следующие преимущества способа литья в оболочковые формы по выплавляемым моделям:

1) возможность изготовления практически из любых сплавов отливок сложной конфигурации, тонкостенных, с малой шероховатостью поверхности, высоким коэффициентом точности по массе, минимальными припусками на обработку резанием, с резким сокращением отходов металла в стружку;

2) возможность создания сложных конструкций, объединяющих несколько деталей в один узел, что упрощает технологию изготовления машин и приборов; 3) возможность экономически выгодного осуществления процесса в единичном (опытном) и серийном производствах, что важно при создании новых машин и приборов; 4) уменьшение расхода формовочных материалов для изготовления отливок, снижение материалоемкости производства; 5) улучшение условий труда и уменьшение вредного воздействия литейного процесса на окружающую среду.

Наряду с преимуществами способ обладает и следующими недостатками:

- 1) процесс изготовления формы многооперационный, трудоемкий и длительный;
- 2) большое число технологических факторов, влияющих на качество формы и отливки, и соответственно сложность управления качеством;
- 3) большая номенклатура материалов, используемых для получения формы (материалы для моделей, суспензии, обсыпки блоков, опорные материалы);
- 4) сложность манипуляторных операций изготовления моделей и форм, автоматизации этих операций;
- 5) повышенный расход металла на литники и поэтому невысокий технологический выход годного (ТВГ).

Указанные преимущества и недостатки определяют эффективную область использования литья в оболочковые формы по выплавляемым моделям:

- 1) изготовление отливок, максимально приближающихся по конфигурации к готовой детали с целью снижения трудоемкости обработки труднообрабатываемых металлов и сплавов резанием, сократить использование обработки давлением труднодеформируемых металлов и сплавов, замены трудоемких операций сварки или пайки для повышения жесткости, герметичности, надежности конструкций деталей и узлов;
- 2) изготовление тонкостенных крупногабаритных отливок повышенной точности с целью снижения массы конструкции при повышении ее прочности, герметичности и других эксплуатационных свойств;
- 3) изготовление отливок повышенной точности из сплавов с особыми свойствами и структурой.

Производство отливок по выплавляемым моделям находит широкое применение в различных отраслях машиностроения и в приборостроении.

Использование литья в оболочковые формы для получения заготовок деталей машин взамен изготовления их из кованных заготовок или проката, позволяет в среднем уменьшить отход металла в стружку на 34...90%, снизить трудоемкость обработки резанием на 25...85%, себестоимость изготовления деталей на 20...80%. Однако, следует учитывать, что *экономическая эффективность существенно зависит от выбора номенклатуры отливок, изготавливаемых этим способом.*

Только при правильном выборе номенклатуры деталей можно достичь высокой экономической эффективности производства.

1.2. ПРЕСС-ФОРМЫ.

Требования к пресс-формам. Пресс-форма - это инструмент для изготовления модели. От требований к точности модели зависит необходимая точность размеров полости формы и соответственно размеров отливки. Поэтому главное требование к пресс-форме заключается в том, чтобы в ней можно было получить модели отливки с заданной точностью размеров и шероховатостью поверхности.

Точность размеров модели и качество воспроизведения ее конфигурации зависят от точности размеров полости пресс-формы и ее конструкции; чем меньше разъемов имеет пресс-форма, тем выше точность моделей. Поэтому всегда стремятся использовать минимальное число разъемов. Однако для получения сложных моделей приходится делать несколько разъемов, чтобы модель можно было извлечь из пресс-формы.

Для хорошего заполнения полости пресс-формы модельным составом она должна иметь соответствующую литниковую систему, а для удаления воздуха из полости пресс-формы при заполнении ее модельным составом - вентиляционную систему.

Конструкция пресс-формы должна быть такой, чтобы модель можно было легко и быстро, без деформаций и повреждений извлечь из рабочей полости пресс-формы.

Большинство модельных составов имеют низкую теплопроводность, а поэтому медленно охлаждаются в пресс-форме. Пресс-форма должна обеспечить достаточную скорость охлаждения. Это достигается устройством в ней системы охлаждения водой или другими теплоносителями. Такие пресс-формы часто используют в массовом производстве, где важно обеспечить высокую производительность оборудования. Для получения по одной пресс-форме достаточного количества качественных моделей она должна обладать необходимой долговечностью. Наконец, пресс-форма должна иметь такую конструкцию, чтобы ее можно было просто и быстро изготовить, а материалы для нее были не дефицитными.

По конструкции и методам изготовления обычно различают пресс-формы для единичного и мелкосерийного, серийного и массового производства.

Пресс-формы для единичного и мелкосерийного производства.

При отработке технологического процесса в единичном производстве опытных отливок, при изготовлении мелких серий подготовка производства отливок должна занимать минимальное время. Поэтому экономически целесообразно быстро изготавливать отливку упрощенной конфигурации с припусками на обработку резанием, используя простую по конструкции пресс-форму. Увеличение объема обработки резанием для небольшого числа отливок более выгодно, чем усложнение конструкции пресс-формы.

В единичном и мелкосерийном производстве применяют пресс-формы из цемента, гипса и дерева, пластмасс и эластичных материалов. Такие пресс-формы просты в изготовлении и позволяют получать от нескольких десятков до нескольких сотен точных моделей, так как долговечность их невелика. Это связано с изнашиванием центрирующих элементов, отъемных частей и стержней, с изменением геометрии рабочих поверхностей пресс-форм.

Пресс-формы изготавливают с одной рабочей полостью (гнездом), то есть для получения одной модели. Конструкцию пресс-формы упрощают уменьшением числа (или исключением) вспомогательных элементов и механизмов. Сборку, установку стержней, разборку пресс-формы и удаление моделей выполняют вручную.

Цементные и гипсовые пресс-формы (рис. 1.2, а) изготавливают по модели-эталону (мастер-модели). Эталон может состоять из двух частей, а иногда и более. Его часто выполняют из дерева и покрывают лаком, поверхность модели покрывают тонким разделительным слоем масла и помещают на модельную плиту 9. Затем на нее устанавливают рамку б, в которую заливают водную суспензию гипса с добавлением пылевидного кварца, кварцевого песка для повышения прочности гипсовую пресс-форму армируют металлической проволокой или в состав суспензии вводят поливинилацетатную эмульсию. После схватывания гипса модель извлекают, пресс-форму подсушивают, покрывают лаком. Аналогично изготавливают вторую половину пресс-формы (рис. 1.2, б). Пресс-форму собирают и, накрыв плитой 12, через канал 11 заполняют ее модельным составом 10 (рис. 1.2, в).

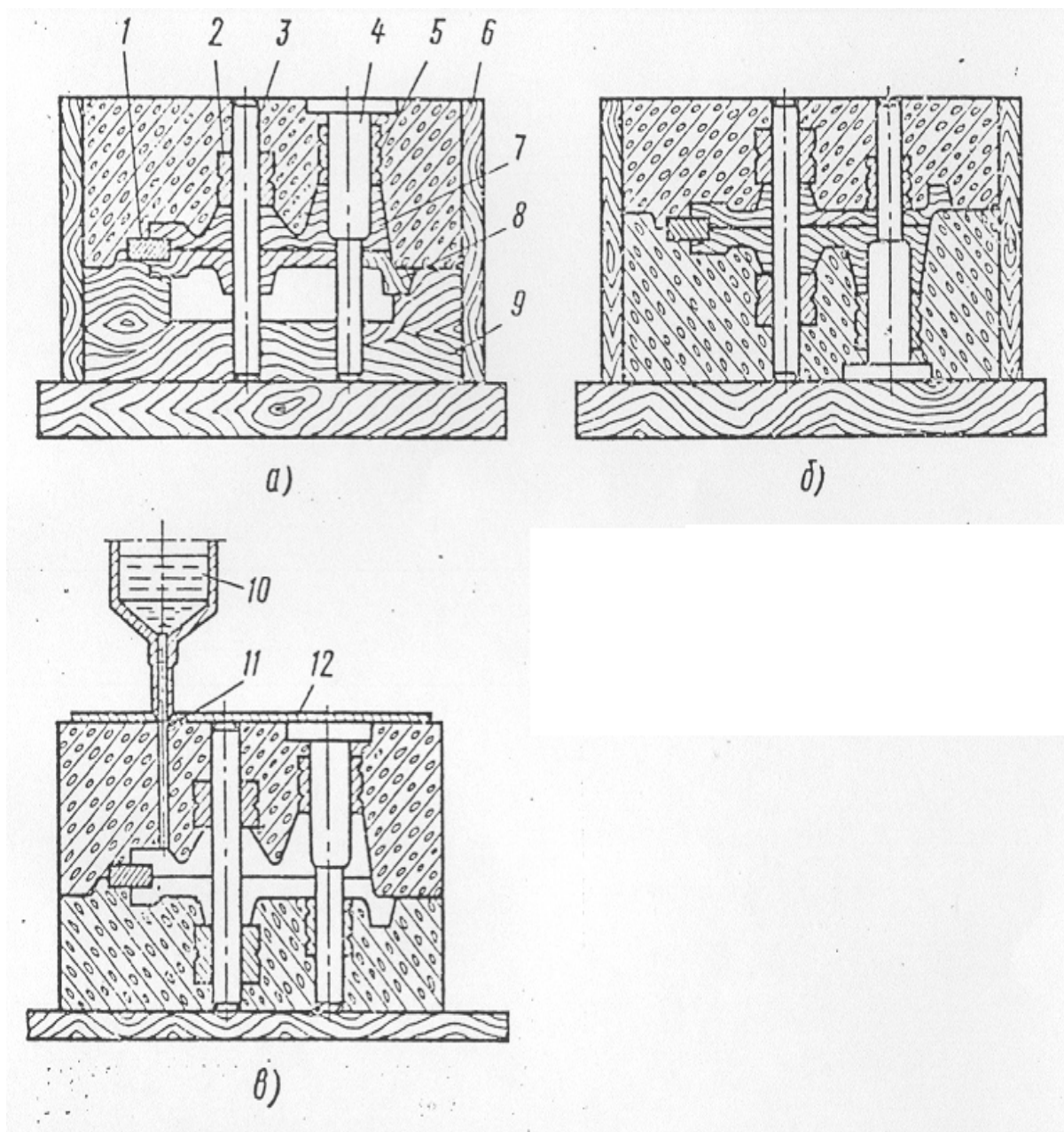


Рис. 1.2. Схема изготовления гипсовой пресс-формы: а, б – изготовление верхней (а) и нижней (б) полуформ; в – запрессовка модельного состава; 1 – вкладыш; 2,5 – втулки; 3,4 – стержни; 6 – рамка; 7,8 – половины моделей; 9 – модельная плита; 10 – модельный состав; 11 – литниковый канал; 12 – плита.

Если модель имеет на поверхности мелкий рельеф, а требования к точности размеров отливок невысокие, пресс-формы изготавливают из жидких холодно твердеющих компаундов на основе синтетических смол. Синтетическую смолу смешивают с катализатором твердения и заливают в рамку на модель-эталон. В результате полимеризации смола переходит в твердое состояние. Модель легко удаляется, даже если она имеет выступающие части, поднутрения и т. п. Аналогично изготавливают пресс-формы из эпоксидных и акриловых смол, которые

после полимеризации переходят в твердое состояние; в смесь смолы и катализатора твердения обычно вводят наполнитель (алюминиевый, железный порошок и др.). Такие пресс-формы имеют высокую прочность.

Пресс-формы по модели-эталону изготавливают также из сплавов на основе свинца, олова, цинка, алюминия. Пресс-формы для сложных моделей иногда изготавливают методами гальванопластики с последующей металлизацией. В этом случае применяют модели-эталон из алюминиевых или цинковых сплавов [16].

Пресс-формы из эластичных материалов чаще используют при производстве сложных художественных и отливок ювелирного назначения.

Пресс-формы для серийного и массового производства.

В серийном и массовом производстве применяют многогнездность пресс-формы. В серийном производстве пресс-формы изготавливают из стали и алюминиевых сплавов. Детали пресс-формы получают обработкой резанием. Как правило, пресс-формы имеют горизонтальную поверхность разъема, что обусловлено удобством лечения моделей, так как сборку, разборку, извлечение и съем моделей выполняют вручную.

Пресс-форма (рис. 1.3, а) для двух моделей состоит из нижней матрицы 1 и верхней, съемной матрицы 2. Нижняя матрица имеет вставки 3, которые оформляют сложную часть модели. Вставки крепят к нижней матрице винтами. Цилиндрическое отверстие в модели (рис. 1.3, б) оформляется подвижным стержнем 4 (см. рис. 1.3, а). Точность соединений матриц обеспечивается направляющими штырями 10. Скрепляют матрицы откидными болтами с барашками.

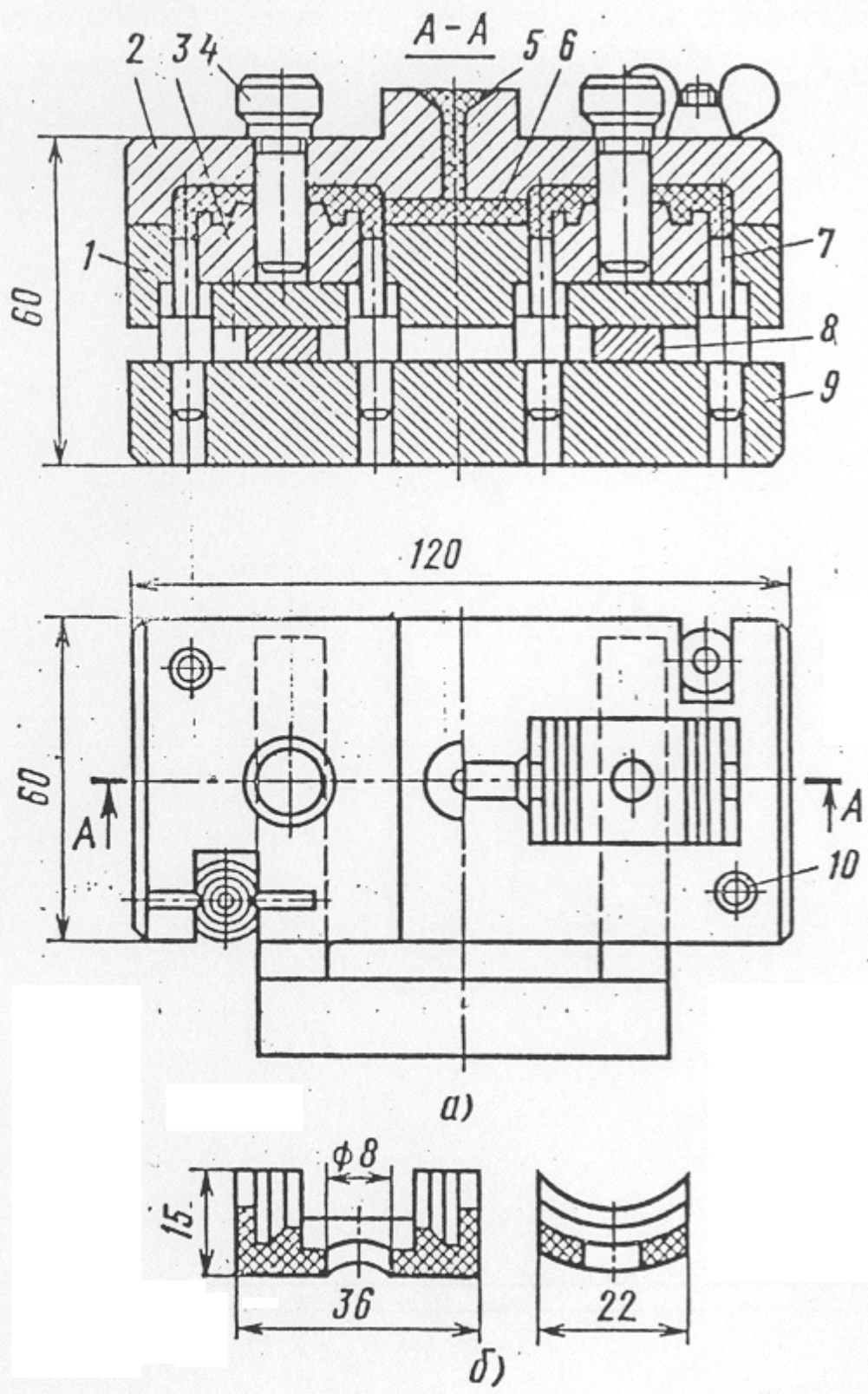


Рис. 1.3. Пресс-форма для изготовления моделей в серийном производстве (а) и модель (б): 1 – нижняя матрица; 2 – верхняя, съемная матрица; 3 – вставки; 4 – подвижный стержень; 5 – литниковый канал; 6 – питатели; 7 – толкатели; 8 – фиксатор; 9 – плита основания; 10 – направляющие штыри.

Модельный состав запрессовывают и заливают через литниковый канал 5 и питатели 6. После затвердевания моделей удаляют стержни и снимают верхнюю матрицу. Чтобы освободить модели, которые удерживаются толкателями 7, надо извлечь фиксатор 8 и опустить нижнюю матрицу до плиты основания 9.

В массовом производстве для моделей сложной конфигурации применяются стальные пресс-формы. Простые детали пресс-формы изготавливают обработкой резанием, сложные — литьем с последующей доводкой обработкой резанием, шлифованием. Перемещение, стержней, матриц и запирающие пресс-форм осуществляют реечными, винтовыми, пневматическими механизмами. Пресс-формы, как правило, выполняют с вертикальным разъемом.

В матрицах монтируют сменные вкладыши с формообразующими полостями, что удлинит продолжительность эксплуатации пресс-формы. Для сокращения длительности цикла изготовления модели в стенках пресс-форм выполняют каналы водяного охлаждения. Полости сложной конфигурации, глухие карманы пресс-форм вентилируют с помощью узких каналов по разьему или по стержням.

Пресс-форма (рис. 1.4) состоит из подвижной и неподвижной 3 матриц, неподвижных стержней 8, выполняющих отверстия и полости в моделях, плиты выталкивателей 4 моделей, плиты стержней 5, стоек 6, трубчатых толкателей 7, каналов 2 для заполнения полости пресс-формы модельным составом, каналов 9 системы термостатирования пресс-формы. При раскрытии пресс-формы звено моделей остается в неподвижной матрице и удаляется из нее толкателями после того, как подвижная матрица отойдет на расстояние, большее высоты моделей. Такие пресс-формы устанавливают на карусельных автоматах изготовления моделей.

Матрицы и вставки, оформляющие рабочие полости изготавливают из сталей 35, 45, 40Х; стержни, выталкиватели, литниковые втулки - из стали У8А; плиты выталкивателей, стойки, основания - из стали 35.

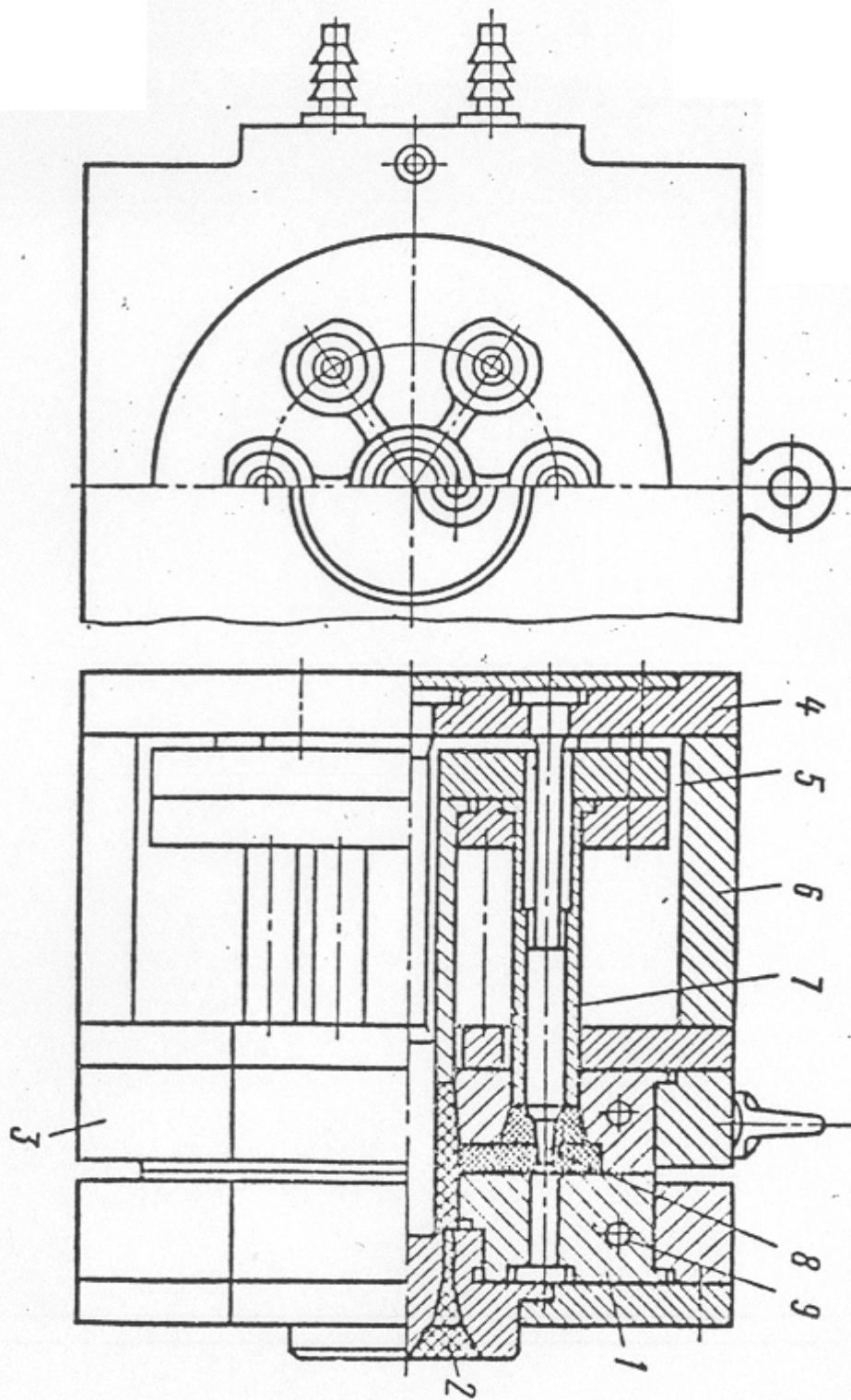


Рис. 1.4. Пресс-форма для изготовления моделей в массовом производстве: 1 – подвижная матрица; 2 – канал для подачи модельного состава; 3 – неподвижная матрица; 4 – плита выталкивателей; 5 – плита стержней; 6 – стойки; 7 – трубчатые толкатели; 8 – стержни; 9 – каналы системы термостатирования пресс-формы.

Механизмы перемещения стержней. Стержни, оформляющие отверстия, оси которых перпендикулярны к плоскости разъема пресс-формы, чаще всего делают неподвижными. Отверстия, оси которых расположены параллельно плоскости разъема, выполняют подвижными стержнями. Нежелательно располагать подвижные стержни под углом к плоскости разъема, так как механизмы для их удаления усложняют конструкцию пресс-формы.

Для перемещения подвижных стержней применяют копирные механизмы, механизмы с зубчатыми передачами, наклонным пальцем, с винтовыми канавками. Такие механизмы позволяют перемещать стержни на любую длину хода и развивать значительные усилия при удалении стержней. Однако эти механизмы увеличивают габаритные размеры пресс-формы.

Размеры рабочей полости пресс-формы рассчитывают с учетом усадки модельного состава, расширения керамической формы при прокаливании и заливке, и усадки металла отливки.

Шероховатость поверхности рабочей полости пресс-формы должна быть в пределах $R_a = 0,16 \dots 0,04$ мкм. Меньшая шероховатость поверхности удорожает стоимость изготовления пресс-формы, но практически не улучшает качества поверхности отливки.

1.3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОДЕЛЕЙ.

Технологический процесс получения моделей и блоков моделей состоит из приготовления модельных составов, изготовления моделей отливок и литниково-питающих систем, отделки и контроля моделей, сборки моделей в блоки.

Требования к модельным составам.

Качество моделей зависит от свойств и технологии приготовления модельного состава.

Для получения моделей используют различные модельные составы: выплавляемые, растворимые, выжигаемые. Любой модельный состав должен удовлетворять определенным требованиям.

В расплавленном состоянии модельный состав должен обладать хорошей жидкотекучестью для четкого воспроизведения конфигурации модели при заполнении полости пресс-формы и легкого и полного удаления из оболочковой формы. Температура плавления его должна быть невысокой ($60 \dots 140$ °C), что облегчает изготовление моделей и их удаление из

оболочковой формы. Температура размягчения модельного состава должна быть $35...45^{\circ}\text{C}$, то есть превышать температуру помещений, где изготавливают, хранят, собирают модели в блоки. Усадка состава при охлаждении и его расширение при нагреве должны быть минимальными и стабильными, чтобы точность моделей и соответственно отливок была высокой. Модельный состав не должен прилипать к поверхности пресс-формы; химическое взаимодействие его с материалом пресс-формы недопустимо. После затвердевания в пресс-форме модельный состав должен обладать прочностью и твердостью, достаточными для того, чтобы модели не деформировались и не ломались на последующих операциях технологического процесса.

Модельный состав должен обеспечивать соединение частей моделей либо сборку в блоки пайкой или склеиванием. Модельный состав должен смачиваться суспензией, но не растворяться в составляющих суспензии для оболочковых форм, не вступать с ними в химическое взаимодействие, иначе будет ухудшаться качество поверхности отливок. Зольность (твердый остаток) состава при нагреве оболочковых форм при прокаливании должна быть минимальной. Плотность состава также должна быть минимальной, что облегчит работу с моделями, блоками моделей, особенно при их больших размерах. Чтобы состав мог быть выплавлен в воде и без лишних затрат возвращен в производство моделей, его плотность должна быть $<1000 \text{ кг/м}^3$. Свойства модельного состава не должны изменяться перед повторным использованием, он должен быть пригодным для многократного использования.

Модельный состав должен быть безвредным для работающих и окружающей среды на всех этапах технологического процесса. Он не должен содержать дефицитных компонентов, а технология его приготовления и изготовления из него моделей должны быть просты.

В зависимости от требований к качеству отливок, характера производства (единичное, серийное, массовое) те или иные свойства модельного состава становятся наиболее важными, определяющими. Поэтому в соответствии с конкретными условиями производства применяют различные модельные составы.

Исходные материалы для модельных составов.

Для приготовления модельных составов наибольшее применение в производстве находят рассмотренные ниже исходные материалы.

Парафин - смесь углеводородов предельного ряда с общей формулой химического состава $C_nH_{(2n+2)}$, получают его при возгонке нефти, бурого угля, сланцев. Это белая масса с кристаллической структурой. Он пластичен, недорог, недефицитен Температура размягчения $\sim 30^\circ C$.

Стеарин - смесь жирных кислот; продукт переработки растительных и животных жиров. Это дорогой и дефицитный материал. Стеарин склонен к взаимодействию с формовочным материалом,

Церезин - смесь углеводородов метанового ряда; получают его переработкой озокерита из нефтяных церезиновых отложений на стыках нефтепроводов, а также путем реакции соединения CO и H_2 с последующей поликонденсацией. Это аморфный материал светложелтого цвета. Церезин маркируется в соответствии с температурой каплепадения в $^\circ C$: натуральный - марок 65 (температура каплепадения $65 \dots 70^\circ C$), 70, 75, 80; синтетический - 90, 93, 100. Он обладает повышенной пластичностью и теплостойкостью, но имеет высокую линейную усадку (до 1,1%), невысокую прочность и твердость. Для изготовления модельных составов чаще применяют более тугоплавкий синтетический церезин.

Буроугольный воск - продукт переработки бурого угля, смесь воска, смолы, асфальтоподобных веществ. Это однородный материал темнобурого цвета. Температура каплепадения $\sim 90^\circ C$. Он обладает высокой прочностью и твердостью, но хрупкий, высоковязкий в жидком состоянии.

Канифоль - твердая составная часть смолы хвойных деревьев, смесь смоляных кислот. Это хрупкое стекловидное вещество желтого или коричневого цвета. Плотность канифоли $1000 \dots 1200 \text{ кг/м}^3$, размягчается в интервале температур $52 \dots 70^\circ C$.

Полистирол блочный - термопластичный материал, получаемый полимеризацией стирола ($C_2H_5 - CH - CH_2$). Для изготовления модельных составов применяют блочный полистирол с низкой зольностью ($\sim 0,04\%$). Плотность полистирола 1050 кг/м^3 , теплостойкость $70 \dots 80^\circ C$, а усадка $0,2 \dots 0,8\%$. Полистирол - водостойкий материал, не растворяется в кислотах и щелочах, спиртах и бензине, растворим в эфирах и ароматических углеводородах. Он обладает высокой прочностью.

Полистирол вспенивающийся представляет собой бесцветные гранулы, содержащие основу — полистирол и порообразователь - изопентановую фракцию с температурой кипения

ния 30...40 °С. При нагреве до температур 80...100 °С полистирольная основа гранул размягчается, а порообразователь испаряется и пары его оказывают изнутри давление на стенки гранул, в результате чего гранулы увеличиваются в объеме, а их плотность уменьшается до 30 кг/м³. Этот материал используют для изготовления выжигаемых моделей.

Полиэтилен - термопластичный материал, получаемый полимеризацией этилена (H₂C=CH₂). Высокомолекулярный полиэтилен (молекулярная масса M=35000) имеет температуру размягчения 108...115 °С, он твердый, прочный, эластичный; теплостойкость его составляет 90 °С; не взаимодействует с гидролизованным раствором этилсиликата.

Полиэтиленовый воск - низкомолекулярный полиэтилен (M=200...3000); это гранулированный материал белого цвета с температурой плавления 95...105 °С. Он хорошо растворяется в парафине, придает модельным составам прочность.

Кубовый остаток термического крекинга парафина — смесь предельных и непредельных углеводородов с температурой размягчения 35 °С. Он обладает высокой пластичностью и низкой прочностью.

Карбамид CO (NH₂)₂ - полный амид угольной кислоты (техническая мочеви́на) - кристаллический, хорошо растворимый в воде материал. Он плавится при 129...134 °С и обладает в расплавленном состоянии высокой жидкотекучестью; хорошо заполняет пресс-формы. После затвердевания образует прочную и точную модель. Усадка его <0,1%. При нагреве карбамид не имеет стадии размягчения, а поэтому модели не деформируются вплоть до 100 °С. Используют его для изготовления растворяемых моделей.

Этилцеллюлоза — продукт переработки древесины, белый порошок с температурой плавления 160...180 °С, хорошо растворяется в стеарине и церезине. Прочность его до 0,140 МПа, линейная усадка до 1,2%.

Модельные составы и их свойства

Модельные составы классифицируют: по составу в зависимости от содержания основных компонентов; по свойствам в зависимости от прочности, температуры плавления и размягчения; по состоянию при введении в пресс-форму — жидкие, пастообразные, твердые; по способу удаления из оболочковых форм — выплавляемые, растворяемые, выжигаемые, испаряемые.

В зависимости от требований к качеству отливок, серийности производства используют различные модельные составы (табл. 1.1).

Парафино-стеариновые модельные составы (ПС) готовят на основе парафина и стеарина. Эти модельные составы относятся к легкоплавким. Составы ПС хорошо смачиваются суспензией на связующих растворах этилсиликата. Они имеют невысокую температуру плавления 50...60 °С, низкую зольность, достаточную жидкотекучесть, однако имеют низкую температуру размягчения, невысокую прочность (1,6...2,0 МПа) и твердость, нестабильную и высокую усадку, пригодны для многократного использования (возврат после выплавки до 98%). Применяют состав ПС 50-50, реже ПС 70-30. Присутствие в модельном составе стеарина, омыляющегося при выплавке в горячей воде, приводит к взаимодействию модели с гидролизированным раствором этилсиликата (связующего в суспензии), ухудшению качества форм.

Таблица 1.1. Некоторые употребляемые модельные составы.

Обозначение	Содержание компонентов (мас., %)									Свойства состава					Область применения
	Парафин	Церицин	Стирол	Броуговый воск	Канифоль	Карбамид	Полистирол	Полиэтиленовый воск	Улучшающих добавок	Температура каплепадения, °С	Теплоустойчивость (не менее), °С	$\sigma_{изг}$ при 20 °С, не менее МПа	Зольность, % не более	$y', \%$ ($y'', \%$)	
ПС 50-50	50		50							47,5...53	30	2,4	0,03...0,1	1,3...1,5 (0,8...1,0)	Мелкие отливки, средней сложности
ПЦБКо 70-12-13-5 (Р-3)	68...70	12...14		11...13					4...6 кубового остатка	77...80	31	3,0	0,02	1,2...1,4 (0,6...0,9)	Та же
ПБТТэ 25-35-35-5 (ВИАМ 102)	25			35					Торф. воск - 35, триэтанолами на - 5	75...85	40	4,8	0,15	1,3...1,5 (0,8...0,9)	Та же
ПЦБПэВ 40-45-10-5 (К-1)	40	45		10				5		75...85	35	5,0	0,15	1,1...1,3 (0,7...0,8)	Та же

)	
ПЦБПЭВ Тэ 25- 35-30-5- 5 (М-1)	25	35		30				5	Три- этанол- ами- н –5	80...90	43	5,0	0,1	1,3... 1,9 (0,7 ...0,9)	Та же
ПЦПЭВ 67-25-8 (МВС- 3А)	67	25,5						7,5		75...80	40	5,0	0,02	1,3... 1,5 (0,9 ...1,1)	Мел- кие, сред- ние, круп- ные отлив- ки
К50Пс3 0Ц20		20			50		30			140	40	7,5..8	0,03	1,4 (0,9)	Слож- ные, особо точные отлив- ки
КбПвсМ с 95,5-2- 2,5 (МПВС- 2)						94 ...9 6,5			По- ли- вин. спирт - 1,5... 3, MgS O ₄ – 2...3	110	68...73	12..1 7	0,1... 0,15	0,2	Круп- ные, точные отлив- ки

y' , % - усадка расплава; y'' , % - усадка пасты.

Модельные составы ПС используют в жидком и пастообразном состояниях. В жидком состоянии модельный состав заливают в пресс-форму. Шероховатость поверхности моделей при таком способе их изготовления получается хорошая, но модели имеют усадочные дефекты.

Для устранения усадочных дефектов в модельный состав при его приготовлении замешивают 7..10% (по объему) и более воздуха. Такой состав используют в пастообразном состоянии. Пасту под давлением запрессовывают в пресс-форму. После снятия давления воздух, содержащийся в пасте, стремится расшириться и компенсирует усадку модельного состава. Парафино-стеариновые пастообразные модельные составы с добавлением воздуха обладают хорошими технологическими свойствами, поэтому их широко используют в условиях массового автоматизированного производства, а также в серийном производстве.

Модельные составы на основе парафина и стеарина с добавками. Для повышения прочности и температуры размягчения в парафино-стеариновые составы вводят 2...3% этилцеллюлозы или до 20 мас. % буроугольного воска. Упрочняющие добавки - буро-

угольный и торфяной воски повышают хрупкость моделей. Поэтому для повышения пластичности в составы ПС вводят пластифицирующие добавки: 3...8 мас. % кубового остатка термического крекинга парафина или церезин. Последним можно заменить стеарин, что улучшает свойства модельных составов.

Модельные составы с добавками до 1,5 мас. % этилцеллюлозы (ПСЭ, ПЦЭ) имеют повышенную температуру размягчения, в 1,5...2 раза более высокую прочность по сравнению с составами ПС. Составы с этилцеллюлозой склонны к утяжинам в массивных местах моделей. При изготовлении моделей их используют в жидком и пастообразном состоянии.

Парафино-церезиновые модельные составы (ПЦ) с добавками бурогоугольного или торфяного восков обладают высокой прочностью и теплостойкостью. Эти модельные составы используют обычно в пастообразном состоянии. Наиболее широко применяют составы Р-3, Р-3А, (ПЦБКу 60-22-12-6), имеющие прочность при изгибе 3...4 МПа, температуру каплепадения 81...84 °С, запрессовки 54...55 °С, усадку 0,8...1,1%. При изготовлении из них моделей вследствие увеличенной вязкости требуется повышенное давление прессования (0,2...0,4 МПа).

Модельные составы Р-3 и Р-3А также широко используют в массовом автоматизированном и серийном производстве отливок общего машиностроения.

Модельные составы на основе канифоли и полистирола также относятся к тугоплавким и высокопрочным. Их используют для изготовления особо точных сложных моделей лопаток газовых турбин. Эти составы обладают усадкой до 1%, прочностью, в 2...4 раза превышающей прочность составов парафино-стеаринвой группы ($\sigma_{изг} = 7...8$ МПа), имеют достаточно высокую температуру плавления. Составы КПсЦ (с церезином) и КПсП (с парафином) имеют низкую жидкотекучесть, поэтому возврат модельного состава при выплавлении составляет не более 60%, высокая вязкость их требует повышенного давления прессования (0,6...1,0 МПа). Иногда их используют как выжигаемые составы, особенно часто при изготовлении тонкостенных отливок сложной пространственной конфигурации. Для устранения хрупкости в модельные составы вводят пластификатор – 2 мас.% дибутилфталата.

Составы на основе карбамида имеют малую и стабильную усадку, поэтому их применяют для изготовления моделей тонкостенных точных крупногабаритных отливок, а

также растворимых в воде стержней, по которым выполняют полости сложной конфигурации в легкоплавких и тугоплавких моделях небольших размеров. Основным компонентом служит карбамид $CO(NH_2)_2$ - техническая мочеви́на. Карбамид плавится при температуре $129\text{ }^{\circ}\text{C}$, хорошо растворяется в воде, имеет высокую жидкотекучесть, затвердевает и охлаждается практически без усадки. Плотность карбамида $1,3\text{ г/см}^3$. В качестве пластификатора в карбамид вводят борную кислоту в количестве $0,3\dots 3\text{ мас. \%}$.

Распространенным растворимым модельным составом является КББк 98-2 (см. табл. 1.1).

Выжигаемые модельные составы. Наибольшее распространение получили полистирол ПСВ-ЛД и блочный полистирол с добавками. Полистирол ПСВ-ЛД - вспенивающаяся композиция, из которой изготавливают модели с использованием термопластавтоматов. Плотность моделей $0,24\dots 0,3\text{ г/см}^3$, $\sigma_{\text{изг}} = 10\dots 14\text{ МПа}$, усадка этих составов $0,2\dots 0,3\%$. Такие модельные составы используют для изготовления моделей мелких и средних отливок в массовом и крупносерийном производстве.

Приготовление модельных составов

Легкоплавкие модельные составы готовят расплавлением составляющих в водяных или масляных банях с электрическим обогревом.

Исходные материалы перед загрузкой измельчают до кусков размером $30\dots 50\text{ мм}$ для ускорения плавления. Материалы загружают в порядке возрастания их температур плавления или растворимости. Расплавленный модельный состав перемешивают и фильтруют через металлическую сетку №02. Готовый модельный состав используют для изготовления моделей или разливают в изложницы для последующего употребления.

Парафино-стеариновые составы с добавками, составы с буроугольным воском (Р-3) перемешивают особенно тщательно. Если составы содержат этилцеллюлозу, то сначала расплавляют материалы в которых этилцеллюлоза хорошо растворяется (церезин, стеарин и др. доводят температуру состава до $120\dots 140\text{ }^{\circ}\text{C}$, при непрерывном перемешивании вводят этилцеллюлозу, просеянную через сито № 02. После растворения этилцеллюлозы вводят остальные материалы. Модельный состав тщательно перемешивают и фильтруют.

Пастообразные модельные составы готовят охлаждением жидкого состава при

непрерывном перемешивании в специальных смесителях. Воздух замешивается в модельный состав в количестве 8...12% по объему. Для этого используют лопастные, поршневые, шестеренные смесители. Наибольшее применение нашли шестеренные и поршневые смесители.

Поршневые смесители менее производительны, так как они периодического действия и процесс замешивания воздуха протекает в них ~20 мин. Поэтому их используют в основном в серийном и мелкосерийном производстве.

Шестеренные смесители непрерывного действия (рис. 1.5): имеют два вала 1, на которых смонтированы шестерни 2. Каждая пара шестерен отделена от соседней перегородкой 3. В каждой паре одна из шестерен свободно насажена на вал, а вторая закреплена на валу на шпонке, в соседней паре — наоборот. Валы вращаются от общего привода 5 в одном направлении. Поэтому на одном валу четные, а на другом нечетные шестерни вращаются с валом, приводя свободно насаженные парные шестерни в движение. Смежные пары шестерен вращаются в разные стороны. Ширина каждой пары шестерен уменьшается в направлении движения модельного состава для создания напора и перемещения пасты. Жидкий модельный состав подается в горловину смесителя вместе с воздухом и после перемешивания первой парой шестерен выдавливается через отверстие 4 в перегородке 3 в соседнюю секцию, где перемешивается в обратном направлении и перемещается вверх, к отверстию 4 в следующей перегородке. В процессе перемешивания модельный состав интенсивно охлаждается, переходя в пастообразное состояние. Эти смесители имеют большую производительность и надежность, обеспечивая получение пасты высокого качества.

Тугоплавкие модельные составы готовят в тигельных поворотных электропечах с терморегуляторами; тигли изготовляют из коррозионно-стойких сталей, не взаимодействующих с модельным составом. Для приготовления модельных составов тина КПсЦ сначала растворяют церезин, затем вводят канифоль, нагревают состав до 140...157 °С; фильтруют расплав, нагревают его до 220 °С и постепенно засыпают полистирол, перемешивая расплав. Затем модельный состав выдерживают 30...40 мин, охлаждают до 180 °С, снова выдерживают до полного выделения пузырей газа, и заливают в пресс-формы.

Растворимые модельные составы готовят сплавлением составляющих в тигельных электропечах. Перед расплавлением карбамид высушивают при температуре $100...110^{\circ}\text{C}$ для удаления влаги. Высушенную соль расплавляют совместно с пластификатором (борной кислотой) в металлических тиглях из коррозионно-стойкой стали при температуре $120...130^{\circ}\text{C}$.

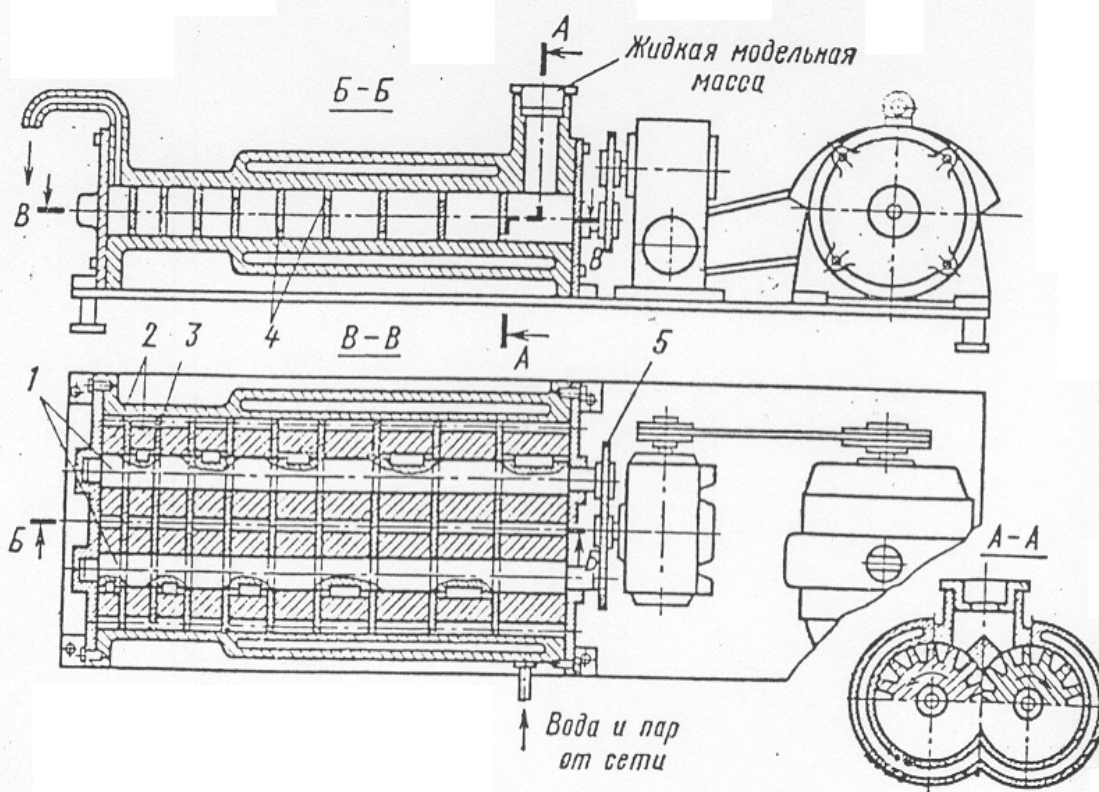


Рис. 1.5. Схема шестеренного смесителя для приготовления пастообразного модельного состава с воздухом: 1 – валы; 2 – шестерни; 3 – перегородки; 4 – выпускное отверстие; 5 – привод смесителя.

Расплав фильтруют и заливают в пресс-формы. Высокая по сравнению с легкоплавкими составами теплопроводность модельного состава способствует быстрому затвердеванию моделей в пресс-форме. Этот процесс менее длительный, малооперационный.

Карбамидные составы гигроскопичны, поэтому модели должны храниться в сухом воздухе.

Выжигаемые модельные составы готовят перемешиванием гранул вспенивающегося полистирола ПСВ со смачивателем и пластификатором. В начале в гранулы вводят 10%-ный спиртовой раствор бутилового эфира стеариновой кислоты (бутилстеарат) в количестве 0,03...0,05 мас.% полистирола, тщательно перемешивают и затем вводят 0,003...0,005% 1 %- ного раствора смачивателя НБ или 0,01...0,03% 10% - ного водного раствора полиэтиленоксида.

Качество моделей и соответственно отливок, надежность технологических процессов изготовления моделей и оболочковых форм зависят от свойств модельных составов. Поэтому в процессе производства систематически контролируют свойства модельных составов.

Важнейшими свойствами модельных составов являются: усадка, прочность, стойкость к деформациям при комнатной температуре, плавкость, твердость, зольность, термическое расширение, текучесть, содержание воздуха в пасте. Некоторые из перечисленных свойств определяют при разработке новых составов и исследованиях. В производстве чаще контролируют усадку, прочность на изгиб, содержание воздуха в пасте.

Усадку модельного состава определяют по изменению длины образца в определенном интервале температур и вычисляют по формуле:

$$y = ((h_0 - h) / h_0) 100, \%$$

где h_0 и h — длина образца соответственно в начале испытания и в конце.

Изменение длины образца обычно определяют по методике НИИТавтопрома с помощью специального измерительного стенда (рис. 1.6.).

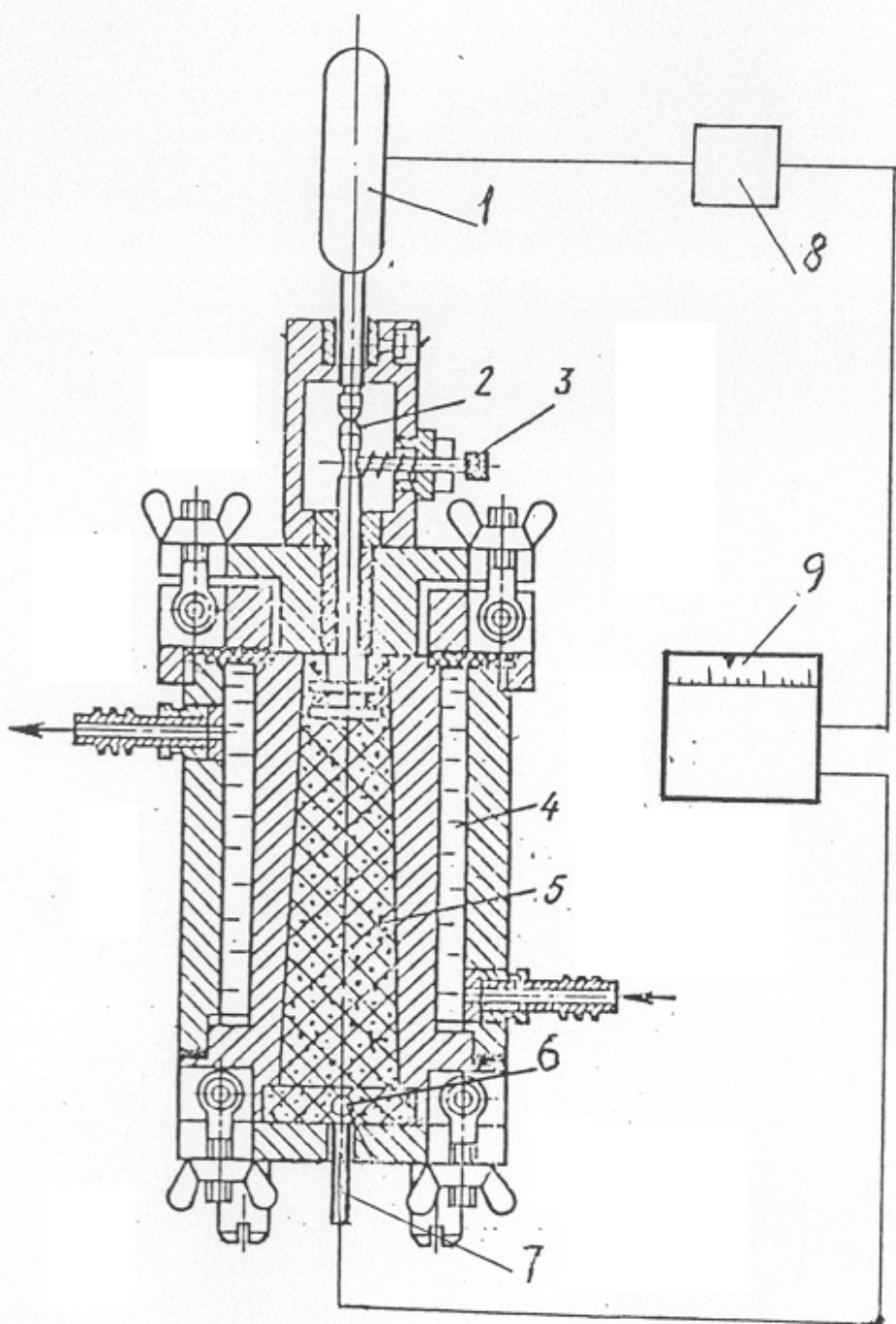


Рис. 1.6. Схема стенда для определения усадки модельного состава: 1 – датчик перемещения; 2 – захват; 3 – защелка; 4 – пресс-форма; 5 рабочая полость пресс-формы; 6 – отверстие для запрессовки модельного состава; 7 - термопара; 8 – преобразователь; 9 – многоканальный регистрирующий прибор.

Этот стенд состоит из охлаждаемой пресс-формы 4 для конического образца и регистрирующей аппаратуры. Захват 2 устанавливают в крайнее верхнее положение и фиксируют защелкой 3. При этом шток датчика перемещения 1 поджимается пружиной к захвату. В полость 5 пресс-формы запрессовывают модельный состав через отверстие 6 и отжимают защелку 3. Температуру образца фиксируют термопарой 7. Сигнал от датчика 1 через преобразователь 8 и от термопары поступают на регистрирующий прибор 9. Запись сигналов продолжается до тех пор, пока показания прибора будут оставаться неизменными (~30 мин). Усадка двух образцов от одной и той же пробы должна иметь колебания не более 0,08 %, в противном случае испытания повторяют.

Прочность на изгиб определяют на образцах квадратного сечения 6х6 мм и длиной 60 мм. Образцы изготавливают в специальной пресс-форме. Образцы могут испытываться только через 24 ч после их изготовления. Испытания проводят при температуре 18...22 °С в течение не более 2 ч. Испытывают не менее шести образцов без дефектов. Для испытания используют любую испытательную машину с ценой деления не более 0,5 Н, оснащенную специальным приспособлением. При испытаниях фиксируют нагрузку, вызвавшую разрушение образца, ширину и толщину образца по месту излома с точностью 0,01 мм и по известным зависимостям определяют величину изгибающих напряжений в образце.

Содержание воздуха в пасте определяют по разности объемов испытуемого образца до и после расплавления, то есть после удаления из него воздуха. Для этого в пресс-форме изготавливают цилиндрический образец. Погружением образца в мерный цилиндр с водой определяют его объем. Затем образец вставляют обратно в пресс-форму и погружают ее в кипящую воду. Образец расплавляется и воздух из него удаляется. После затвердевания вновь определяют объем образца. По разности объемов образца определяют содержание воздуха в пасте:

$$a_g = ((v_o - v) / v_o) 100, \%$$

где v_o и v — объемы образца соответственно с воздухом и без воздуха.

Плавокость, твердость, зольность модельных составов определяют по методикам, предусмотренным соответствующими нормативными документами.

Воздухонаполненные составы.

Исследования показали, что на величину и стабильность усадки влияет не только способ введения и количество воздуха, замешанного в модельный состав, но также характер распределения и размер газовых пузырей в объеме моделей. Резервы повышения точности моделей могут быть реализованы путем управления структурой модели.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана разработан один из способов изготовления выплавляемых моделей с повышенным (до 35% объема) содержанием воздуха, который находится в диспергированном состоянии и равномерно распределен в объеме модели (рис. 1.7).

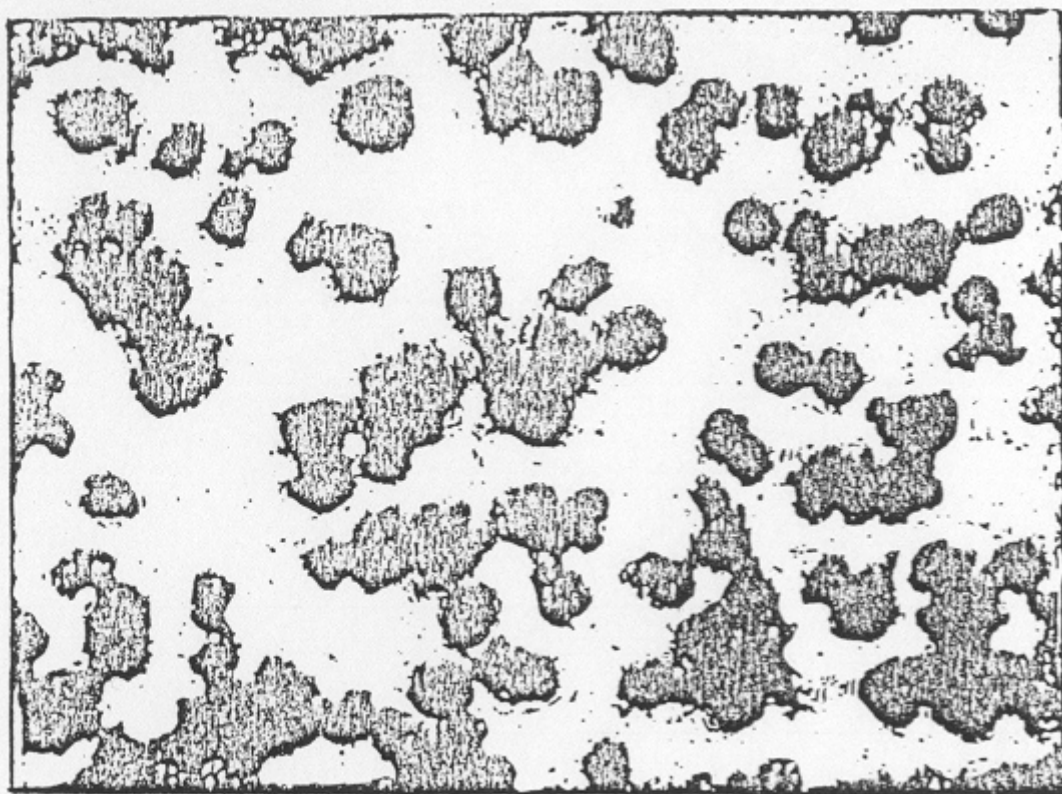


Рис. 1.7. Микроструктура выплавляемой модели (размер пузырей воздуха 30...50 мкм).

При запрессовке модельный состав транспортируется в полость пресс-формы под давлением. Это способствует тому, что воздушные включения расширяются и компенсируют усадку охлаждающейся модели. Распределение по модели и объем воздуха в ней определяют эффективность этой компенсации.

Необходимым условием для требуемой воздухонаполненности является поддержание модельного состава при определенной температуре во время его подготовки и запрессовки в

полость пресс-формы. Это ограничение обусловлено вязкостью, при которой возможно интенсивное замешивание воздуха в модельный состав и его диспергирование, устойчивость состава после завершения перемешивания. Для легкоплавких модельных составов Р-3 и МВС-3А температура подготовки должна соответствовать $0,7 \dots 0,72 T_{\text{пл}}$ ($T_{\text{пл}}$ – температура плавления модельного состава), т.к. время, затрачиваемое при этом на насыщение модельного состава воздухом и его диспергирование минимально. В зависимости от состава и температуры, массы модельного состава, конструкции и мощности смесителя это время составляет 5...10 мин.

Эффективная вязкость двухфазной системы воздух - модельный состав ниже вязкости компактного модельного состава при данной температуре, что позволяет заполнять узкие полости пресс-форм при пониженном давлении запрессовки 0,08...0,2 МПа.

Для реализации способа изготовления воздушнонаполненных выплавляемых моделей может быть применена конструкция установки с использованием в качестве смесителя быстрого конусного агрегата, вращающегося с числом оборотов до 1500 об/мин. (рис. 1.8). Модельный состав перемещается в рабочей камере смесителя как в окружном направлении, так и по сложной тороидальной поверхности в результате взаимодействия модельного состава с боковыми лопастями. Это обеспечивает режим перемешивания модельного состава близкий к объемному, высокую производительность замешивания воздуха и его диспергирования. Запрессовку подготовленного модельного состава осуществляется подачей сжатого воздуха в камеру смесителя или вручную.

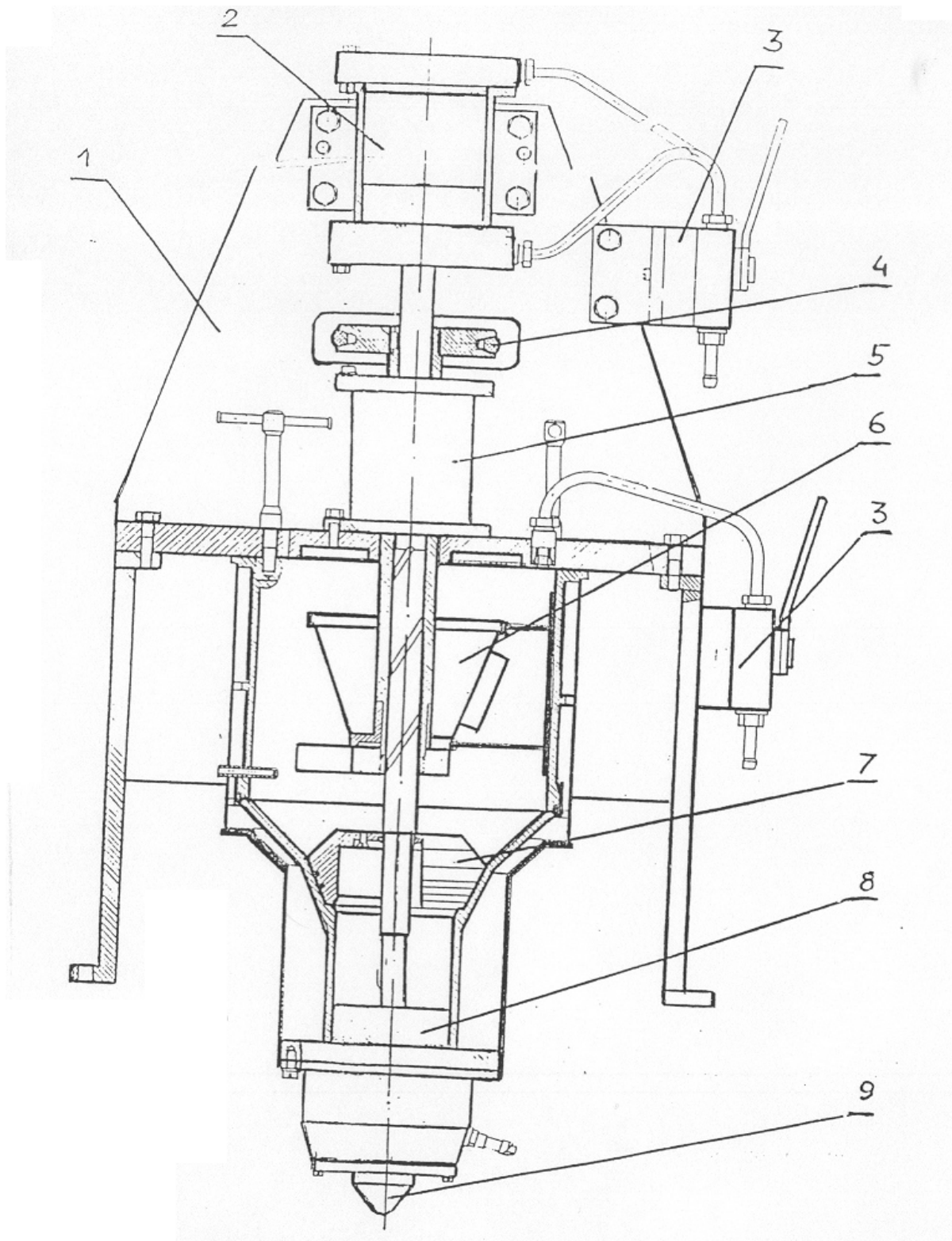


Рис. 1.8. Быстроходный конусный смеситель периодического действия: 1 – станина; 2 – привод механизма запрессовки; 3 – распределители; 4 – приводной шкив; 5 – опорный узел; 6 – смеситель; 7 – поршень-разделитель; 8 – поршень для запрессовки модельного состава; 9 – клапан.

Конструкция установки позволяет использовать дополнительные устройства, для механизированного выполнения других операций технологического процесса изготовления моделей.

Изготовление выплавляемых моделей осуществляется в условиях подобных процессу литья под давлением. Действительно, поток материала принудительно транспортируется через систему каналов в замкнутую технологическую емкость – пресс-форму, которой отдает избыточную теплоту, и которая формирует размер модели. Теория и практика этого процесса подсказывают (см. раздел 3), что для обеспечения качества выплавляемых моделей необходимо иметь представление о взаимосвязи конструкции литниково-питающей и вентиляционной систем, режимов течения материала с наличием или отсутствием дефектов моделей. Главная задача - сохранение заранее подготовленной структуры состава в моделях.

Анализ структуры модельного состава, подготовленного в шестеренном смесителе, показал, что распределение пузырей воздуха достаточно равномерное. В то же время в готовых моделях (после транспортирования по пастопроводу к автомату мод. 653) могут иметь место грубые включения воздушных пузырей, расположенных в объеме модели совершенно произвольным способом. Это свидетельствует о неправильном назначении режимов подачи и запрессовки состава в пресс-форму, приводящих к высокой турбулентности потока (пасты) и появлению крупных воздушных включений в моделях.

Скоростная киносъемка (2000 кадров/с) процесса заполнения прозрачной пресс-формы подготовленным модельным составом показала (рис. 1.9, а), что при использованной конструкции литниковой и вентиляционной системы поток имеет высокую турбулентность. В модели образуются крупные воздушные пузыри даже в случае запрессовки модельного состава, в котором воздух находился на начальном этапе процесса в виде пузырей с размером 20...30 мкм при равномерном распределении по объему.

Снижение скорости запрессовки устраняет такие дефекты в модели. Съёмка показала (рис. 1.9, б), что заполнение пресс-формы в данном случае происходит сплошным потоком при направленном вытеснении воздуха из полости пресс-формы.

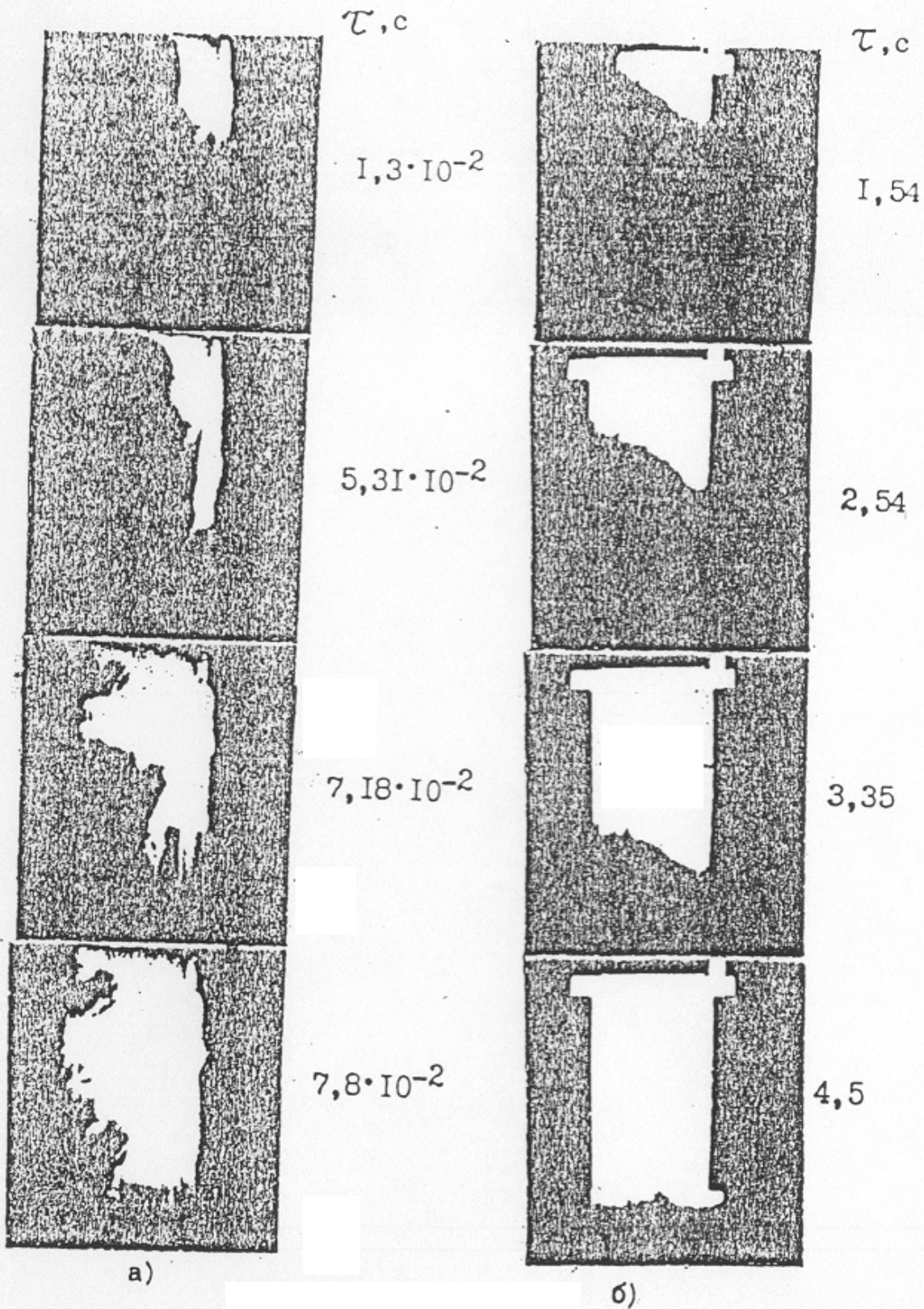


Рис 1.9. Кинограммы заполнения полости пресс-формы модельным составом: а – 2000 кадр/с; б – 24 кадр/с.

С целью определения размеров пузырей в модельном составе исследована микроструктура моделей. Образцы готовили с помощью микротома в виде тонких срезов толщиной 0,1 мм. Микроструктура одного из образцов была приведена на рис. 1.7. По фотографиям микроструктуры определены размеры пузырей на различных участках модели.

Статистическая обработка результатов измерений показала, что средний размер пузырей составляет 25...30 мкм, однако размеры распределены по сечению образца неравномерно. На участке образца, прилегающем к пресс-форме, вероятно, вследствие намораживания модельного состава, средний размер пузырей менее 10 мкм, что свидетельствует о наличии в модели плотной корки, сообщающей поверхности модели более высокую твердость. Такой эффект наблюдается на моделях из пенополистирола, изготавливаемых на термопластавтоматах и положительно действует на эксплуатационные характеристики моделей.

Измерения температуры теплоустойчивости моделей с повышенным содержанием воздуха выполнены по методике НИИГАвтопрома, в качестве средства измерения прогиба образца применялся измерительный микроскоп с ценой деления 0,01 мм. Температура теплоустойчивости модельного состава МВС-3А с содержанием воздуха 35% объема составила 40,8 °С, что соответствует техническим условиям на данный модельный состав.

Применение модельного состава МВС-3А с содержанием воздуха 35% объема было опробовано при изготовлении партии тонкостенных отливок из жаропрочных сплавов со средней толщиной стенки 1,5 мм и с закладными стержнями из электрокорунда. Модельный состав запрессовывали в пресс-форму с температурой меньше 15 °С. Готовые модели напавали на стояки, дальнейшие операции выполняли по технологии МПО «Салют». Отливки признаны годными.

Очевидно это связано с тем, что усадка модельного состава МВС-3А, подготовленного по обычной технологии, составляет от 0,8 до 1,2 % (содержание воздуха минимальное). При содержании воздуха 35% и давлении запрессовки 0,25 МПа усадка составляет 0,46±0,04%, а прочность при испытании по схеме трехточечного изгиба (образец 6 x 6 x 50 мм) 1,7 МПа.

Изготовление моделей

Процесс изготовления моделей включает подготовку пресс-формы; заполнение пресс-формы модельным составом; выдержку для затвердевания и охлаждения модели; разборку

пресс-формы и извлечение модели; выдержку модели до окончания усадки.

Подготовка пресс-формы. Рабочую полость и поверхность разъема пресс-формы очищают от остатков модельного состава, наносят на поверхность рабочей полости смазочный материал - трансформаторное масло - или распыляют сжатым воздухом эмульсию (касторовое масло+спирт в соотношении 1:1 по массе). Смазочный материал должен наноситься ровным слоем.

Получение качественных моделей зависит от температуры пресс-формы. При температуре, ниже оптимальной, модель имеет спаи, недоливы; при превышении оптимальной температуры увеличивается длительность цикла изготовления модели, возрастает усадка модели. Каждому модельному составу соответствует интервал температур пресс-формы, при котором получают качественные модели. Для составов типа ПС этот интервал 22...27 °С.

Заполнение пресс-форм модельным составом в производстве чаще всего осуществляют свободной заливкой и заливкой под давлением жидкого модельного состава, а также запрессовкой пастообразного модельного состава. Реже используют запрессовку твердого модельного состава в пресс-формы.

Свободной заливкой изготавливают модели из легкоплавких, тугоплавких, растворимых модельных составов.

Литниковые каналы пресс-формы должны быть короткими с большой площадью поперечного сечения. Для хорошего заполнения пресс-формы температура легкоплавких модельных составов должна поддерживаться в пределах 80...90 °С при изготовлении крупных моделей и моделей сложной конфигурации 70...75 °С при изготовлении моделей средних размеров и сложности (температуры указаны для составов подготовленных по обычной технологии).

Способ свободной заливки моделей редко применяют для модельных составов с повышенной усадкой из-за образования усадочных дефектов в моделях, но широко используют для изготовления моделей из растворимых карбамидных и солевых составов, обладающих малой усадкой. Способ применяют в единичном и серийном производстве, так как он прост в исполнении.

Заливку под давлением жидкого модельного состава в пресс-форму применяют при изготовлении сплошных и пустотелых моделей. Давление на модельный состав осуществляют

поршнем или сжатым воздухом. Используют рычажные, винтовые, пневматические и гидравлические прессы (рис. 1.10). Пресс 1 создает давление на поршень 2 запрессовочного устройства 3, в котором находится жидкий модельный состав 4. Способ заливки под давлением позволяет получать точные модели без усадочных дефектов из составов с пониженной жидкотекучестью, например КПсЦ, КПсП, в условиях серийного и массового производства.

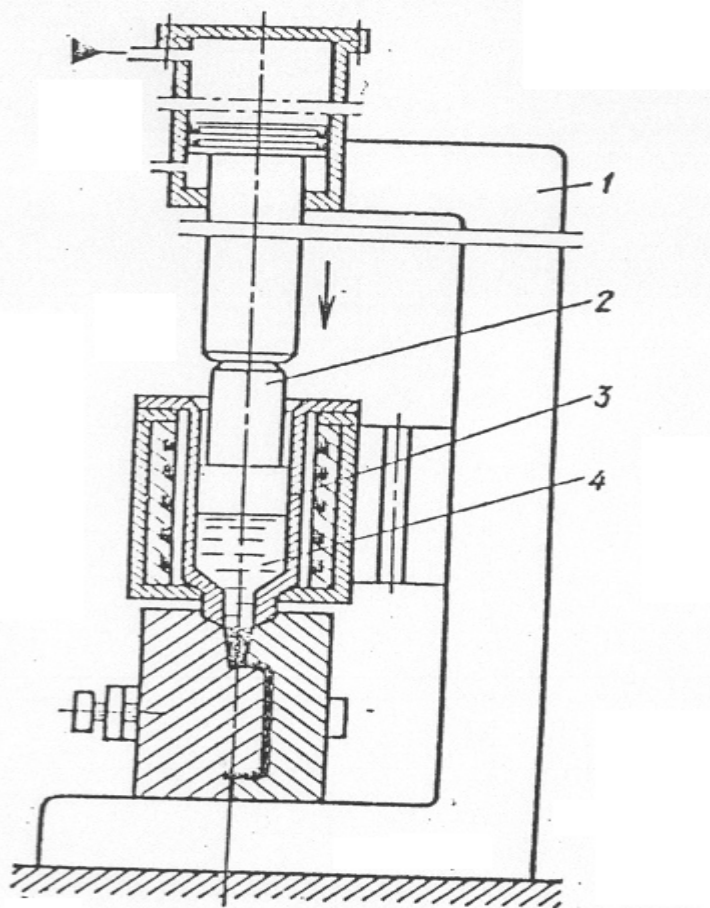


Рис 1.10. Схема устройства для запрессовки жидкого модельного состава: 1 – пресс; 2 – поршень; 3 – запрессовочное устройство; 4 – жидкий модельный состав.

Модели из вспенивающегося полистирола изготавливают на термопластоавтоматах (рис. 1.11). В обогреваемый цилиндр 1 машины загружают предварительно подготовленный модельный состав в виде гранул 2. Гранулы расплавляются и образуют пену, состоящую из расплавленного полистирола и паров изопентана. Пена впрыскивается прессующим поршнем 3 под давлением 80...100 МПа в полость пресс-формы 4. При заполнении пресс-формы расплавленный полистирол образует на ее стенках тонкую (0,2...0,3 мм) плотную глянцевую корочку, а внутренняя часть модели заполняется пеной. При затвердевании пены плавление паров изопентана компенсирует усадку моделей. После затвердевания пресс-форму раскры-

вают и извлекают модели. Модели из вспенивающегося полистирола имеют плотность $0,24 \dots 0,3 \text{ г/см}^3$, достаточную прочность, малую усадку. Основное преимущество этого способа заключается в том, что при изготовлении модели в одном компактном агрегате одновременно осуществляются процессы приготовления модельного состава и изготовления моделей. Это позволяет сократить число единиц оборудования для изготовления моделей, сэкономить производственные площади. Высокая термоустойчивость ($80 \text{ }^\circ\text{C}$) моделей, небольшая плотность, малая усадка, дают возможность получить точные отливки. Этот способ является одним из перспективных для получения моделей средней сложности и небольших размеров в массовом и крупносерийном производстве.

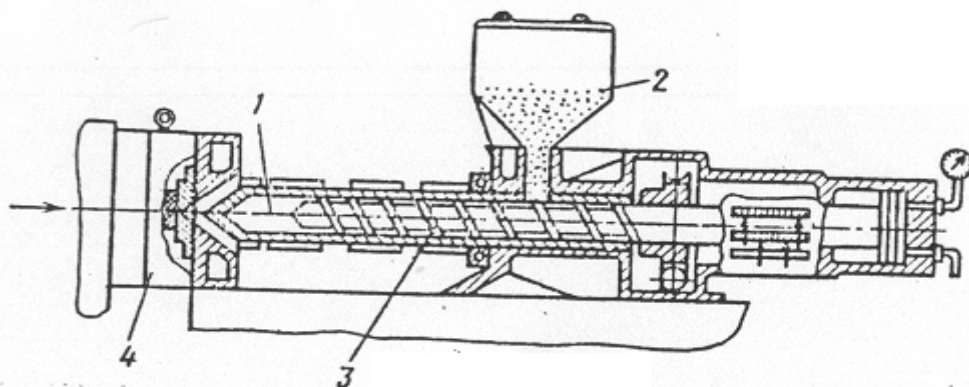


Рис 1.11. Схема установки для изготовления пенополистироловых моделей под давлением: 1 – рабочий цилиндр; 2 – гранулы полистирола; 3 – прессующий поршень; 4 – пресс-форма.

Изготовление моделей запрессовкой из пастообразного состава под давлением поршня может осуществляться ручными и автоматическими шприцами.

В серийном производстве используют ручные шприцы (рис. 1.12), а в массовом — автоматические (рис. 1.13). Модельный состав по трубопроводу 1 заполняет полость 2. Поршень 7 пневмоцилиндром 9 отводится в крайнее левое положение. Крышка 8 отходит от поршня 7 при сжатии пружины 3, и модельный состав по каналам 6 поступает в левую часть полости 2. В это же время пружина 10 сжимается и цилиндр 11 перемещается влево;

происходит отделение запрессованного устройства от пресс формы. При обратном ходе поршня 7 запрессовочное устройство поджимается к пресс-форме пружиной 10, затем крышка 8 перекрывает каналы 6 и поршень 7 выдавливает модельный состав через отверстия 4 в пресс-форму. После заполнения пресс-формы излишки модельного состава поступают в ле-

вую часть полости 2 через обратный клапан 5 и отверстие в штоке поршня. Автоматические шприцы обычно устанавливают на карусельных автоматах для изготовления моделей.

Этот способ широко используется для изготовления моделей средней сложности и размеров из легкоплавких модельных составов в массовом и серийном производстве.

Охлаждение моделей. При охлаждении моделей, даже после их извлечения из пресс-формы, их размеры изменяются из-за продолжающейся усадки модельного состава. Если на такую модель нанести суспензию, то вследствие усадки модели может произойти растрескивание оболочки и её отслаивание от модели. Поэтому для изготовления форм можно использовать только те модели, усадка которых закончилась полностью. Для ускорения процесса усадки мелкие, несложные модели охлаждают в проточной воде или сжатым воздухом. Вода охлаждает модели и одновременно транспортирует их к месту сборки в блоки. Крупные модели так охлаждать нельзя, так как из-за неравномерности температур в них могут возникнуть внутренние напряжения приводящие к короблению. Поэтому их охлаждают на воздухе не менее 3 ч.

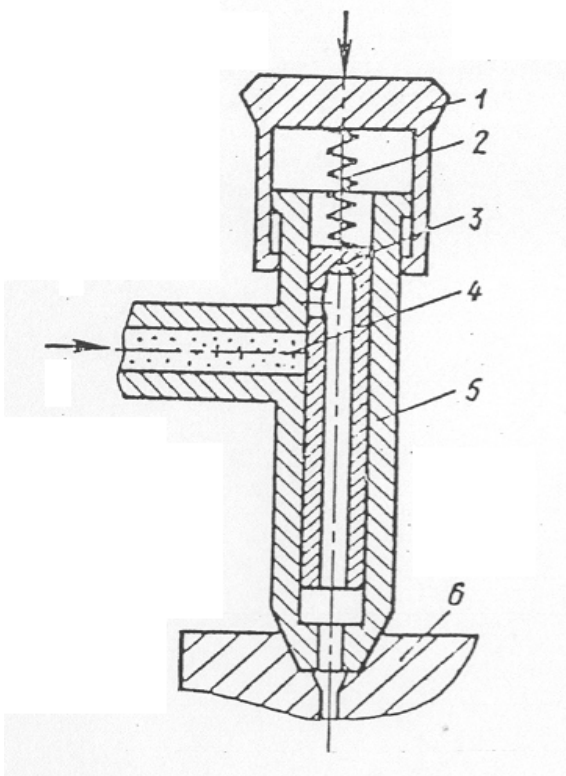


Рис. 1.12. Схема устройства ручного шприца для запрессовки пастообразных модельных составов: 1 – рукоятка; 2 – пружина; 3 – золотник; 4 – модельный состав; 5 – корпус; 6 – пресс-форма.

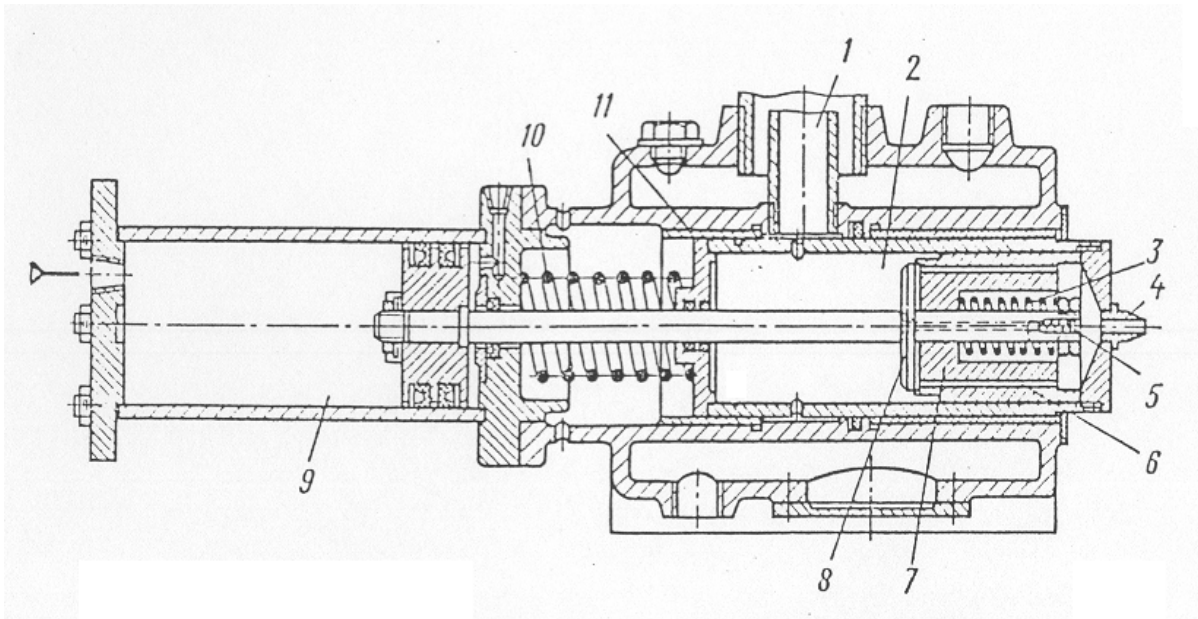


Рис. 1.13. Схема устройства автоматического шприца для запрессовки пастообразных модельных составов: 1 – трубопровод; 2 – рабочая полость; 3 – пружина клапана; 4 – выпускное отверстие; 5 – обратный клапан; 6 – подводящие каналы; 7 – поршень; 8 – крышка; 9 – пневмоцилиндр; 10 – прижимная пружина; 11 – рабочий цилиндр.

Особые способы изготовления моделей. Для изготовления сложных моделей с полостями, отверстиями с криволинейной осью, выступающими тонкими частями часто используют разделение модели на части, получаемые по отдельным пресс-формам с последующей сборкой модели в единое целое; растворимые карбамидные стержни; керамические стержни; гибкие резиновые пресс-формы.

Растворимые карбамидные стержни изготавливают в металлических ящиках (рис. 1.14, а). После затвердевания и охлаждения стержень извлекают из ящика и по знакам устанавливают в пресс-форму для получения модели (рис. 1.14, б). Модель изготавливают из любого состава, нерастворимого в воде и имеющего более низкую температуру плавления, чем состав КББк. Модель со стержнем погружают в воду, стержень растворяется, а в модели образуется полость требуемой конфигурации.

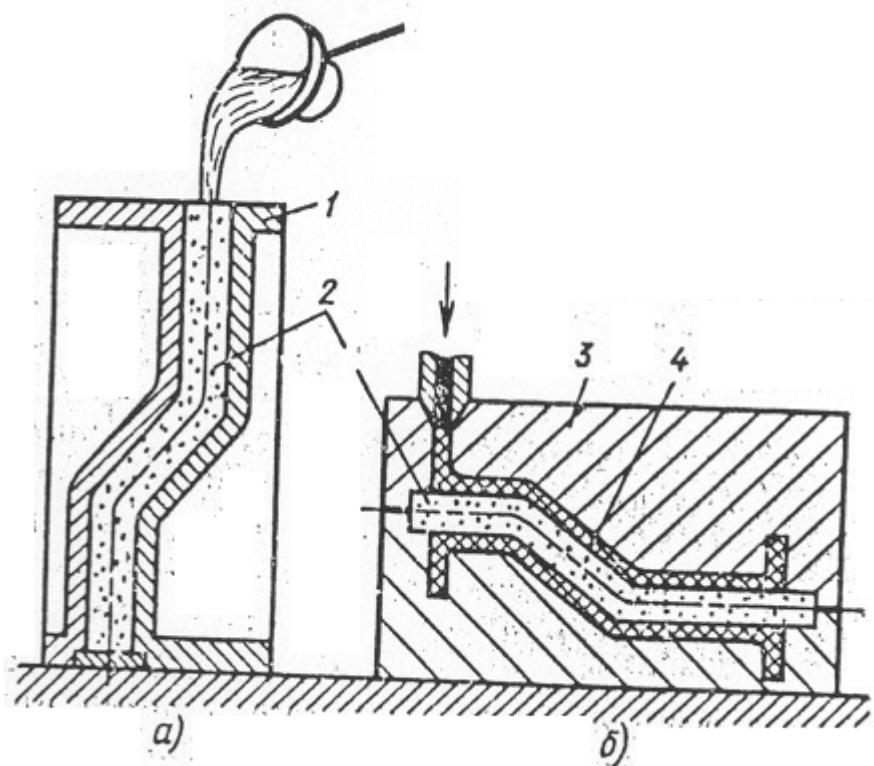


Рис. 1.14. Изготовление модели с растворимым стержнем: а – заливка стержневого ящика 1; б – запрессовка модельного состава в пресс-форму 3; 2 - стержень; 4 – модель.

Сборка моделей в блоки. Блоком моделей называют модель отливки, соединенную в одно целое с моделью литниковой системы. Сборку осуществляют пайкой в кондукторах, механическим скреплением, склеиванием.

Пайку применяют в единичном и серийном производстве. Для этого используют электрические паяльники с плоским широким жалом. Модели элементов литниковой системы изготавливают в пресс-формах (для стояков, прибылей и т. д.).

Сборка в кондукторах обеспечивает точное взаимное расположение модели и литников. Модель и, например, стояк помещают в кондуктор, а место соединения заливают расплавленным модельным составом. Применение этого способа ограничено из-за высокой стоимости кондукторов, обычно его применяют для сборки в блоки моделей из плохо припаяющихся составов, например КПСЦ. Сборку моделей механическим скреплением широко применяют в условиях крупносерийного и массового производства.

Звенья моделей изготавливают в многоместных (двух, трех, четырех и более) пресс-формах. Звено состоит из моделей отливок, питателей и центрального кольца (секции модели стояка). Перед сборкой (рис. 1.15) на стояк-каркас 5 нанизывают модель 7 чаши и звенья моделей 6. Затем нажимают на каркас, при этом сжимается пружина 4 и стержень с поперечной шпилькой 2 выходит из трубы. На стержень надевают колпачок 7, покрытый модельным составом. Колпачок поворачивают на 90° , шпилька 2 заходит в паз 3 колпачка. Затем снимают давление со стояка-каркаса, пружина разжимается и колпачок стягивает звенья моделей.

Сборку склеиванием применяют редко, в основном моделей из пенополистирола в единичном производстве отливок.

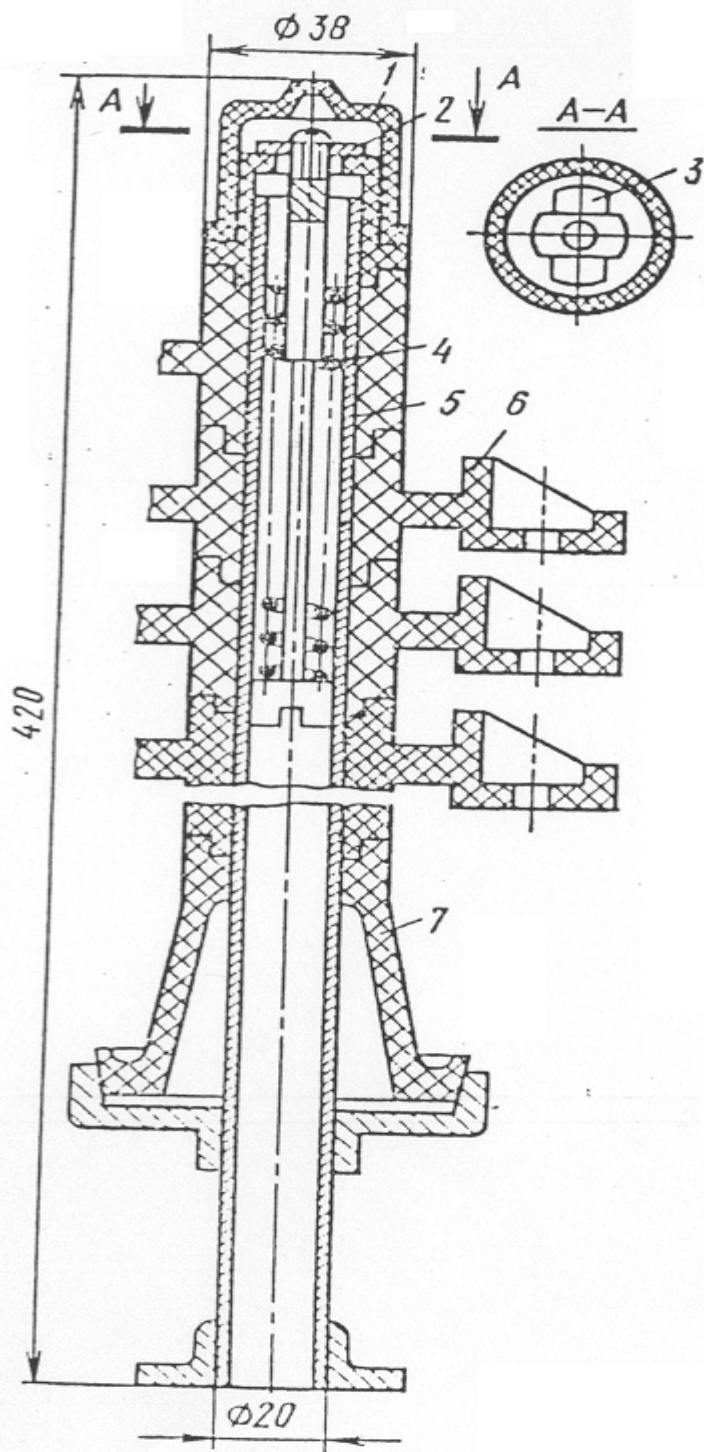


Рис. 1.15. Сборка моделей в блок на стояке-каркасе: 1 – колпачок; 2 – шпилька; 3 – паз; 4 – пружина; 5 – стояк-каркас; 6 – звенья моделей; 7 – модель литниковой чаши.

1.4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ

Требования к формам. Оболочковая форма должна отвечать следующим требованиям: обладать достаточной прочностью, выдерживать динамический и статический напоры расплава, не деформироваться при заливке, затвердевании и охлаждении отливки; быть огнеупорной, т. е. не разупрочняться при прокаливании, и особенно при заливке; иметь газопроницаемые стенки, чтобы в полостях формы не возникало противодействия воздуха (такое явление приводит к браку отливок по недоливу); быть химически инертной к модельному составу и металлу отливки; иметь достаточную податливость, чтобы не препятствовать усадке сплава;

обеспечивать получение отливок с поверхностью требуемой шероховатости и высокой точностью размеров, массы и конфигурации.

Стенки керамической оболочковой формы состоят из огнеупорной основы (двух фракций — пылевидной и «грубой» 01...03) и связующего.

По химическому составу огнеупорных материалов керамические оболочковые формы разделяют на окисные и углеродные. Окисные, в свою очередь, по химическому составу разделяют на кислые, основные, амфотерные.

Кислые окисные материалы форм на основе кристаллического кварца (SiO_2) применяют наиболее широко. Они наиболее дешевы, недефицитны, используют их в массовом и крупносерийном производстве отливок средней сложности массой до 3...5 кг из углеродистых, низколегированных сталей.

Основные окислы— MgO , CaO применяют редко, только в производстве отливок из сплавов химически высокоактивных к окислам в жидком состоянии.

Амфотерные материалы на основе окислов алюминия Al_2O_3 широко применяют при изготовлении отливок из жаропрочных и антикоррозионных сплавов.

Углеродные формы применяют при изготовлении отливок из титановых сплавов.

Конструкция формы.

Оболочковые формы, упрочненные сыпучим огнеупорным материалом, наиболее часто используют в производстве (рис. 1.16, а). Преимущества таких форм заключаются в следующем. Они не предъявляют высоких требований по прочности и термостойкости к собственно оболочковой форме, предотвращают резкое охлаждение формы перед ее заливкой. Оболочковую форму после удаления модели прокаливают, а затем помещают в нагретый сыпучий огнеупорный материал, что позволяет снизить длительность этой операции и энергозатраты на ее осуществление. Для уменьшения времени охлаждения оболочки и отливки до температуры выбивки, после затвердевания залитого металла оболочку извлекают из опорного материала. В качестве опорных материалов используют кварцевый песок, шамотную крошку, бой форм. Способ используют в массовом производстве отливок небольших размеров.

При изготовлении оболочковых форм с прочным опорным материалом (рис. 1.16, б) оболочку помещают в опоку, в которую заливают жидкую смесь со связующим на основе цемента или ЖСС (в этой смеси связующим является жидкое стекло). Модель удаляют до или после упрочнения. Иногда добавляют борную кислоту или буру, которые при прокаливании форм упрочняют опорный материал, уменьшают давление на оболочку. Такой способ применяют в серийном производстве отливок, к которым предъявляются повышенные требования по точности размеров и геометрической точности. Процесс изготовления отливок длительный и энергоемкий, поэтому такой способ используют редко.

Истинно оболочковую форму (рис. 1.16, в) прокаливают и заливают без опорных материалов, при этом сокращается продолжительность прокаливания форм, упрощается выбивка форм. Такой способ наиболее скоростной и наименее энергоемкий. В направлении совершенствования и расширения использования этого способа ведутся исследовательские работы.

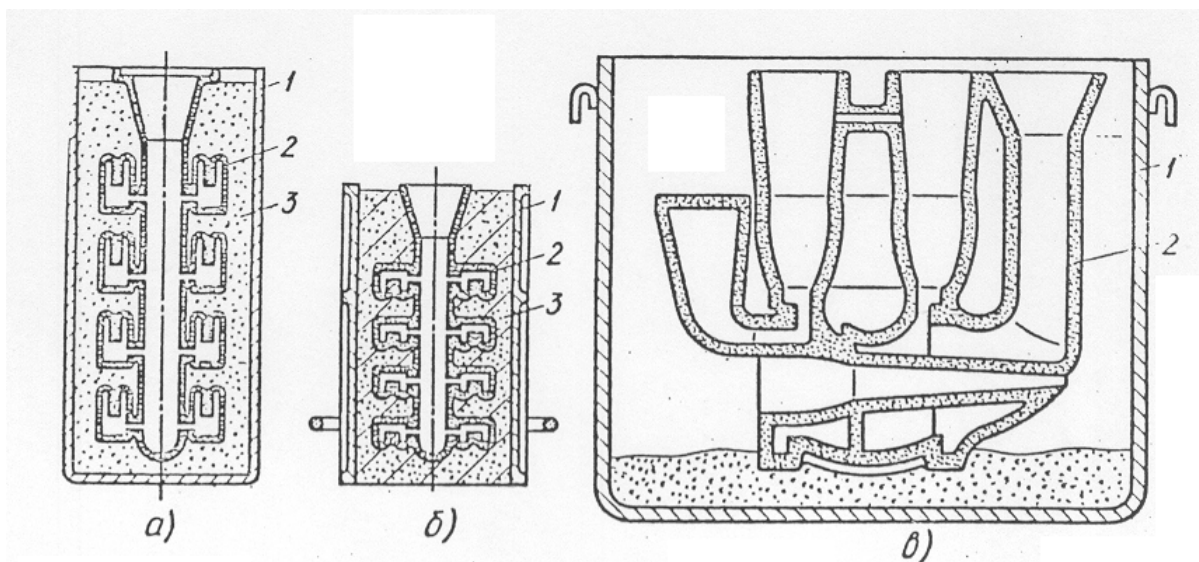


Рис. 1.16. Конструкции оболочковых форм: а – с сыпучим опорным материалом; б – с прочным опорным материалом; в – истинно оболочковая форма; 1 – контейнер; 2 – оболочка; 3 – опорный материал.

Материалы для изготовления форм

Огнеупорные материалы. Для изготовления оболочковой формы используют огнеупорные материалы — мелкодисперсную основу суспензии, обсыпку и опорный материал.

Общие требования к огнеупорным материалам для оболочковых форм следующие: высокая огнеупорность (как правило, не ниже 1500°C); низкий коэффициент термического расширения (КТР); отсутствие полиморфных превращений при нагревании и охлаждении; химическая стойкость при нагревании.

Не все огнеупоры удовлетворяют этим требованиям. Например, наиболее дешевый и недефицитный материал—кварц кристаллический, обладая достаточно высокой огнеупорностью, при нагревании претерпевает ряд полиморфных превращений, сопровождающихся объемными изменениями. Это является причиной образования в оболочках трещин и, как следствие этого, брака отливок.

Огнеупорные материалы различаются по размерам зерен. Обычно в суспензию вводят мелкозернистые огнеупоры с размером фракции 005, 0063. Для обсыпки применяют зернистые огнеупоры фракций 02...0315 для первого и второго слоев покрытия, 063 для последующих слоев. В качестве опорного материала применяют огнеупоры более крупных фрак-

ций, крошку размером зерен 1...3 мм. Материалы, используемые для изготовления оболочковых форм, и их свойства приведены в табл. 1.2.

Кварц SiO_2 — минерал с кристаллической структурой, плотностью 2650 кг/м^3 . Температура плавления 1713°C . Для изготовления оболочковых форм применяют пылевидный кварц природный и искусственный, кварцевые пески 1К₁ или 1К₂ (ГОСТ 29234.3-91), содержащие не менее 98 % SiO_2 . При нагреве в кварц происходят полиморфные превращения: 573°C ($\beta_{\text{кв}} \leftrightarrow \alpha_{\text{кв}}$); 1470°C (α —тридимит \leftrightarrow α —кristобаллит). Средний КТР в интервале температур $20^\circ \dots 1200^\circ\text{C}$ составляет $(10 \dots 12) \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$. При нагреве до 573°C кварц расширяется так, что его линейные размеры увеличиваются на 1,4%.

Таблица 1.2 Физико-химические свойства материалов основы оболочки

Материал	Химические Свойства	Температура Плав-ния, $^\circ\text{C}$	Плотность, кг/м^3	Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^6, \text{ 1/}^\circ\text{C}$	Условная стойкость в вакууме (баллы)	Удельная поверхность пылевидного (50 мкм) мат риала, $\text{см}^2/\text{г}$
Кварц	К	1713	2650		2	4000...6000
Дистен-силли- Манит	КС	1575	3250	—	2	5000...6000
Циркон	КС	-	4500	5,1	3	7000...8000
Высокоглино- земистый ша мот (муллит)	А	1810	3000	5,3	4	6000...7000
Электрокорунд (белый)	А	2050	4000	8,6	4	6000...7000
Двуокись циркония стабилизированная	А	2690	5730	7,2	5	8000...9000
Окись магния (магнезит)	О	2800	3570	13,5	1	5000...6000
Шпинель	ОС	2135	3560	7,6	4	5000...6000
Окись кальция (спеченая)	О	2600	3320	13	5	5000

П р и м е ч а н и я. 1. Обозначения: К — кислый, КС — слабокислый, А — амфотерный, О — основной, ОС — слабоосновный. 2. Балл 1 соответствует самой низкой стойкости. 3. Размер зерен обсыпочногo материала в первом слое 0,1...0,2 мм, в следующих— 0,315...0,63 мм.

В интервале температур 1470...1600 °С происходит интенсивное расширение кварца на ~2,8%. Высокий и неравномерный КТР кварца служит причиной низкой термической стойкости оболочковых форм, в которых этот минерал использован и в суспензии и как обсыпный материал.

Пылевидный кварц — огнеупорная основа суспензии. Используют его в виде природного материала (маршалита) и искусственного. Маршалит содержит 96...98% SiO_2 . Этот полифракционный материал, имеющий нестабильный химический состав, содержит органические примеси. Искусственный пылевидный кварц получают измельчением кварцевого песка в струйных пневматических мельницах. После измельчения пылевидный кварц марки ПК-2 содержит до 0,4% Fe , которое в суспензии необходимо нейтрализовать введением добавок. Однако осколочная форма частиц искусственного пылевидного кварца струйного измельчения не способствует достижению высокой прочности оболочки.

Кварцевый песок, применяемый для обсыпки слоя суспензии, должен содержать минимальное количество примесей. Для первых (одного, двух) слоев оболочки можно применять песок марок 1К₁О₁016 и 1К₁О₁02, а для последующих слоев — более грубозернистые 1К₁О₃03, 2К₂О₃03 (ГОСТ 29234.3-91). При этом оболочка получается более прочной и термостойкой.

Вредными примесями в кварцевых песках являются окислы железа, щелочных и щелочно-земельных металлов, снижающие огнеупорность кварца.

Плавленый кварц не испытывает полиморфных превращений и имеет КТР почти в 20 раз меньше, чем у кристаллического кварца, т. е. $0,5 \cdot 10^{-6}$ 1/К. Плавленый кварц дорог и дефицитен, его производство связано со значительными энергозатратами. Однако использование его для оболочковых форм перспективно и постоянно расширяется, так как позволяет повысить надежность процесса, получить истинно оболочковые формы, точные отливки.

Высокоглиноземистый шамот $3Al_2O_3 \cdot SiO_2$ — химически и термически стойкий материал, не имеющий полиморфных превращений. Получают этот материал обжигом огнеупорной глины и последующим дроблением и рассевом на фракции. В качестве пылевидной фракции используют тонкоизмельченный шамот, а для обсыпки обычно двух фракций — 0315 и 063. Применение шамота позволяет снизить брак, повысить точность размеров отливок.

Электрокорунд (α Al_2O_3) — высокоогнеупорный, химически и термически стойкий материал. Температура его плавления 2120°C , он амфотерен. Суммарное расширение при нагреве от 20 до 2000°C составляет 2% . Различают нормальный и белый электрокорунды, содержащие до 6 и до $1,5\%$ примесей, соответственно. Для первых слоев формы используют белый электрокорунд, для последующих нормальный. Применение электрокорунда позволяет надежно заливать металл в формы без использования опорных материалов. Электрокорунд дорог и дефицитен, поэтому его применяют, главным образом, при производстве отливок ответственного назначения.

Циркон ZrSiO_4 используют в качестве огнеупорной основы суспензии и как обсыпочный материал. Диссоциирует он при температуре 1800°C на воздухе, при 1540°C в вакууме. Этот дорогой и дефицитный материал имеет ограниченное применение.

Окись магния MgO целесообразно использовать при производстве отливок из высокомарганцовистых сталей.

Окись кальция CaO обладает высокой химической стойкостью к расплавам титана, платины, урана. Окислы магния и кальция на воздухе гидратируются и карбонизируются, поэтому формы, стержни хранят при повышенных температурах или в герметической упаковке.

Пористые материалы для термостойких керамических форм

Одна из распространенных причин брака отливок – разрушение оболочковых форм при заливке, что связано с их недостаточной термостойкостью.

Эта проблема может быть решена путем изменения структуры материала формы. Известно, что в материале, обладающем низкой термостойкостью, процесс катастрофического развития трещин может быть предотвращен увеличением размера пор, например, путем увеличения размера зерна огнеупорной основы.

Этот принцип реализован в МГТУ им. Н.Э. Баумана путем использования пористых зерновых огнеупоров в качестве обсыпочного материала форм, что позволило получать оболочковые керамические формы, обладающие высокой термостойкостью (рис. 1.17).

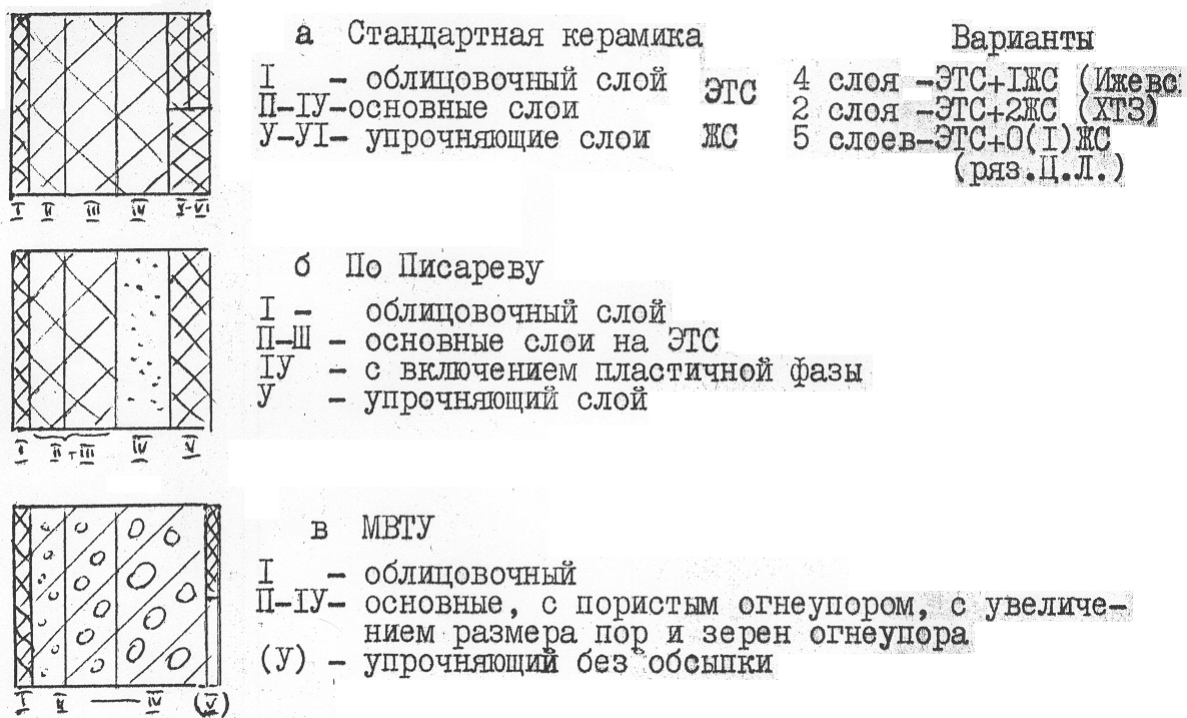


Рис. 1.17. Конструкции керамических, многослойных оболочек: а – стандартная оболочка (I – облицовочный слой и II...IV основные слои на ЭТС; V... VI – упрочняющий слой на основе жидкого стекла); б – конструкция Писарева (I – облицовочный слой и II...III основные слои на ЭТС; IV – слой с включениями пластичной массы; V – упрочняющий слой); в – конструкция МВТУ (I – облицовочный слой и II...IV основные слои с пористым огнеупором на ЭТС; V – упрочняющий слой без обсыпки).

В качестве пористых обсыпочных материалов предложены пенношамот (отходы производства огнеупоров), керамзит, алгопорит, зольный гравий. Последние материалы получают из золы уноса ТЭЦ. В России ежегодный выход золы составляет более 50 млн. т. и утилизация их представляет техническую, экономическую и экологическую проблемы. Возможно также использование отходов ваграночного и доменного производства, например шлаковые пемзы для отливок из легкоплавких сплавов.

Одно из важных преимуществ применения пористых огнеупорных материалов – развитая поверхность, низкая кажущаяся плотность ($0,4...1,7 \text{ г/см}^3$). Это позволяет единице массы связующего удерживать звено большого размера, тем самым в один прием наращивать большую, чем обычно, толщину слоя оболочки. Формы, изготовленные с применением пористых огнеупоров, имеют гораздо более высокую термостойкость (меньшую потерю прочности), чем формы, изготовленные из традиционных материалов.

Более высокую термостойкость форм, изготовленных с использованием пористых огнеупоров, можно объяснить тем, что образующиеся микротрещины в этом случае не распространяются по всему материалу, так как напряжение, сконцентрированное в конце трещины, локализуется в порах оболочки. Высокая термостойкость таких оболочек позволяет сократить время, необходимое для их прокаливания. Газопроницаемость форм повышается в 2,0...2,5 раза.

При заливке форм без опорного материала значительно (в 4...5 раз) сокращается продолжительность затвердевания и охлаждения отливки до температуры выбивки, что также способствует получению мелкозернистой структуры отливок и уменьшению химического взаимодействия между металлом и формой. Последнее проявляется в уменьшении обезуглероживания поверхностного слоя отливок.

Возможными областями эффективного применения дешевых и недефицитных пористых огнеупоров являются:

- 1) применение в качестве обсыпочногo материала при многослойном формoобразовании, т.е. при традиционной структуре процесса ЛВМ;
- 2) использование в качестве огнеупорного наполнителя блочных керамических форм и стержней;
- 3) как опорный материал при заливке оболочковых форм в опоках стационарным способом или центробежным;
- 4) в качестве вентиляционных вставок многослойных форм литья по выплавляемым моделям при производстве тонкостенных отливок сложной конфигурации;
- 5) использование в качестве компонентов формовочных и стержневых смесей при литье в песчаные формы.

Связующие. Собственно связующим керамической оболочковой формы служит тугоплавкий окисел (SiO_2 , Al_2O_3 и др.), образующийся из элементоорганических соединений или неорганических солей металлов.

Требования к связующим. Связующие должны обладать следующими свойствами: смачивать поверхность модели; не растворять модель и не вступать в химическое взаимодействие с составляющими модельного состава; иметь достаточно высокую вязкость с целью получения седиментационно устойчивой суспензии; обладать высокой адгезионной способ-

ностью к окисным огнеупорам в суспензии и обсыпчным материалам. Кроме того, окислы связующего и обсыпчных материалов не должны создавать легкоплавких эвтектик, снижающих термохимическую устойчивость формы, и должны быть инертны к заливаемым сплавам и их окислам.

Свойства некоторых, наиболее широко используемых материалов для приготовления связующих приведены в таблице 1.3. Наибольшая прочность оболочки достигается в том случае, если связующее и огнеупорная основа формы имеют одинаковый химический состав или близкие по размерам параметры кристаллической решетки материалов. Однако допустимы и другие сочетания. Наиболее часто в практике литья по выплавляемым моделям встречаются, например, сочетания: SiO_2 из связующего этилсиликата и SiO_2 или Al_2O_3 из материалов зерговой основы. По причине различного КТР связующего SiO_2 и огнеупорной основы Al_2O_3 прочность формы в момент заливки ниже, чем при использовании кварцевого песка.

Таблица 1.3. Материалы для приготовления связующих

Материал	Исходный материал				Связующий окисел			
	Состояние	Содержание связующего окисла, мас. %	Химические свойства	Растворимость	Химическая формула	Химические свойства	Температура плавления, °С	Стойкость в вакууме
Этилсилликат ЭТС 32, ЭТС 40, ЭТС 50	Жидкость, смесь кремний органических полимеров	30...32	К	В спирте, ацетоне	SiO_2	К	1693	Низкая
Оксинитрат алюминия $\text{Al}_3(\text{OH})_8\text{NO}_3$	Гранулы, спиртовой раствор	30...35 9...12	К	В воде, Спирте	Al_2O_3	А	2050	Высокая
Оксихлорид хрома $\text{Cr}(\text{OH})_2\text{Cl}$	Жидкость	-	К	В спирте, воде	Cr_2O_3	А	2035	Средняя
Кальций азотно-кислый $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 9\text{H}_2\text{O}$	Кристаллическая соль	-	К	В метило-вом спирте	CaO	О	2800	Очень высокая

Примечание. К – кислый, А – амфотерный, О – основной.

Растворители. При приготовлении связующих из этилсиликата, азотнокислых и алюмофосфатных солей применяют органические растворители. Наиболее широко применяют

ацетон, спирт этиловый (ректификат, сырец, гидролизный), эфирыальдегидную фракцию (ЭАФ, содержит 87 % этилового спирта, остальное— альдегиды, эфиры, метиловый спирт), изопропиловый спирт.

Все растворители относятся к легкоиспаряющимся и огнеопасным материалам. Поэтому при работе с ними необходимо соблюдать правила пожарной безопасности. На участках (в цехе, лаборатории) приготовления связующего должна быть организована приточно-вытяжная вентиляция.

Добавки вводят в связующие растворы и суспензии для регулирования их свойств. Соляная кислота HCl (плотность $1,19 \text{ г/см}^3$) — катализатор гидролиза — повышает надежность протекания процесса гидролиза этилсиликата (ЭТС), способствует повышению прочности формы. Серная кислота H_2SO_4 (плотность $1,84 \text{ г/см}^3$) вводится в раствор при гидролизе ЭТС для нейтрализации органических примесей (в песках, маршалите).

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) ДС-РАС, сульфанол вводят в растворы при гидролизе ЭТС без органических растворителей (0,05...0,1 мас.%), с целью понижения межфазной энергии (ЭТС и воды), а также улучшения смачивания суспензией поверхности моделей.

Гидролиз этилсиликата

В качестве исходного материала для приготовления связующего оболочковых форм широко применяют этилсиликат. ЭТС — смесь этиловых эфиров ортокремниевой кислоты — жидкость с температурой кипения $165 \text{ }^\circ\text{C}$, плотностью $980...1050 \text{ кг/м}^3$. В состоянии поставки ЭТС представляет собой смесь эфиров с различной молекулярной массой, например смесь моноэфира $(C_2H_5O)_4Si$, содержащего 28,8% SiO_2 , диэфира $(C_2H_5O)_6Si_2O$, содержащего 35,1% SiO_2 , триэфира $(C_2H_5O)_8Si_3O_2$, содержащего 39,7% SiO_2 , и так далее (тетра-, пентаэфиры).

Химический состав ЭТС в разных партиях может отличаться, поэтому каждая партия должна иметь сертификат, в котором указывается общее содержание этоксильных групп, SiO_2 , примесей и т. д.

Цель гидролиза состоит в придании ЭТС связующих свойств.

Сущность реакции гидролиза заключается в том, что в процессе химической реакции

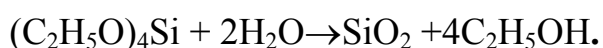
этоксильные группы (C₂H₅O) замещаются гидроксильными группами OH. В результате реакции гидролиза получают коллоидные растворы кремнекислот (золи), из которых при сушке и прокаливании форм выделяется собственно связующее SiO₂, соединяющее зерна огнеупорной основы суспензии.

Гидролиз — реакция между ЭТС и водой. Трудность ее проведения состоит в том, что ЭТС и вода взаимно не растворяются. Поэтому, как правило, при реакции гидролиза ЭТС применяют органические растворители — спирты, ацетон, которые растворяют и ЭТС, и воду. Растворители удаляются при сушке и прокаливании форм.

Реакция гидролиза может осуществляться любым количеством воды. При гидролизе этоксильные группы (C₂H₅O) замещаются - (частично или полностью) гидроксильными (OH). Например, при гидролизе моноэфира небольшим количеством воды:



Если на одну этоксильную группу приходится 0,5 моля воды, то

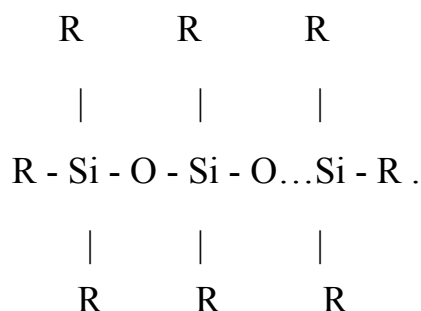


Это количество воды принято считать стехиометрической нормой. Одновременно с гидролизом в растворе протекает реакция поликонденсации.



где R - этоксильная группа C₂H₅O.

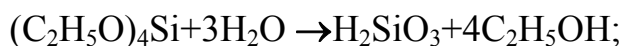
В результате образуются соединения характеризующиеся продольными связями в цепи:



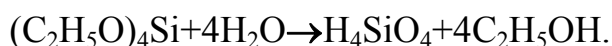
В присутствии катализаторов, например HCl, могут образовываться и поперечные связи, соединяющие ионы через кислород в сетчатые структуры.

При наличии таких структур прочность связующего повышается, увеличивается и прочность формы. В итоге структура связующего имеет вид неорганического полимера. Эти растворы обладают свойствами истинных растворов. Гидролизированный раствор содержит более 18 % SiO₂, его вязкость не изменяется при хранении; пленка раствора сохнет на воздухе медленно и обратимо.

При гидролизе эфиров большим количеством воды образуются различные кремниевые кислоты:



метакремниевая
кислота



Ортокремниевая
кислота

Кремниевые кислоты неустойчивы и образуют золи, однако одновременно в растворах протекают реакции поликонденсаций. Поэтому такие растворы представляют собой смесь коллоидных и истинных растворов. Гидролизированный раствор содержит 14...18 % SiO₂. При хранении таких растворов их вязкость повышается, оболочки высыхают и твердеют на воздухе более длительное время; для завершения процессов гидролиза и поликонденсации необходима сушка во влажном воздухе. При гидролизе ЭТС с большим избытком воды, например



появляются кремниевые кислоты, которые конденсируются и образуют крупные мицеллы. Гидролизированный раствор содержит 10...12 % SiO₂. Растворы имеют свойства коллоидных растворов. При хранении их вязкость быстро повышается, происходит желатинизация. Пленки высыхают на воздухе, образуя сетку трещин; прочность оболочки получается невысокой.

Таким образом, в зависимости от количества воды при гидролизе получают различные по составу, физико-химическим и технологическим свойствам связующие растворы, от которых зависят свойства оболочковых форм и условия их сушки.

Скорость реакции гидролиза невелика, для повышения этой скорости раствор интенсивно перемешивают. Реакция гидролиза—экзотермическая (идет с выделением теплоты). Поэтому сосуды и аппараты, в которых ведут гидролиз,— гидролизеры — охлаждают проточной водой. Кинетика изменения температуры раствора показана на рис. 1.19, а.

Типы связующих растворов этилсиликата. При приготовлении суспензии используют три типичных варианта гидролиза ЭТС, когда количество воды в 2 раза меньше, в 1,1...1,4 раза больше и значительно больше стехиометрической нормы.

Соответственно при гидролизе получают растворы трех различных типов: при малом количестве воды — истинный (гомогенный), при среднем - смешанный, при большом — коллоидный раствор кремнекислот (табл. 1.4).

Таблица 1.4. Типы связующих растворов этилсиликата

Тип раствора	Количество воды для гидролиза на одну этоксильную группу, моль	Растворитель	Стойкость до желатинизации (коагуляции), сут.	Вязкость	Сушка	$\sigma_{изг}$ оболочковой формы, МПа
Раствор I типа (гомогенный раствор высокополимеров)	Малое 0,2...0,3	Полярный: спирт, ацетон; неполярный: бензин, уайт-спирит	400	Не изменяется	Увлажненными парами аммиака, 1 ч.	7...10
Раствор II типа (смеси гомогенных растворов полимеров и коллоидных растворов кремниевой кислоты)	Среднее 0,56...0,7	Только полярный	< 100	Медленно повышается	Влажным воздухом	5...7
Раствор III типа (голлоидные растворы кремниевой кислоты)	> 1	Спирты, вода	< 5	Быстро повышается	Сухим воздухом 2...4 ч	2...3

Растворы I типа — истинные (гомогенные), создающие пленки связующего, которые высыхают на воздухе медленно и обратимо, т. е. способны набухать при нанесении следующего слоя суспензии. Раствор легко гидролизуется влажным аммиаком с образованием геля кремнекислоты. При этом твердение оболочки необратимо. Оболочки имеют высокую прочность.

Растворы II типа — смесь гомогенных и коллоидных растворов, создающие оболочки, упрочняющиеся и высыхающие более длительное время, чем при гидролизе большим количеством воды. Для сушки требуется повышенная влажность воздуха, чтобы процессы гидролиза и поликонденсации были завершены.

Растворы III типа (коллоидные) позволяют сушить оболочки в сухом воздухе за 2...4 ч. Стойкость гидролизованного раствора невысокая. Газопроницаемость и прочность оболочки ниже, чем в случае приготовления раствора I типа.

Разработана номограмма (рис. 1.18), по которой можно определить для заданных условий сушки содержание SiO_2 в растворе, количество воды для гидролиза, растворителя, а также соляной кислоты.

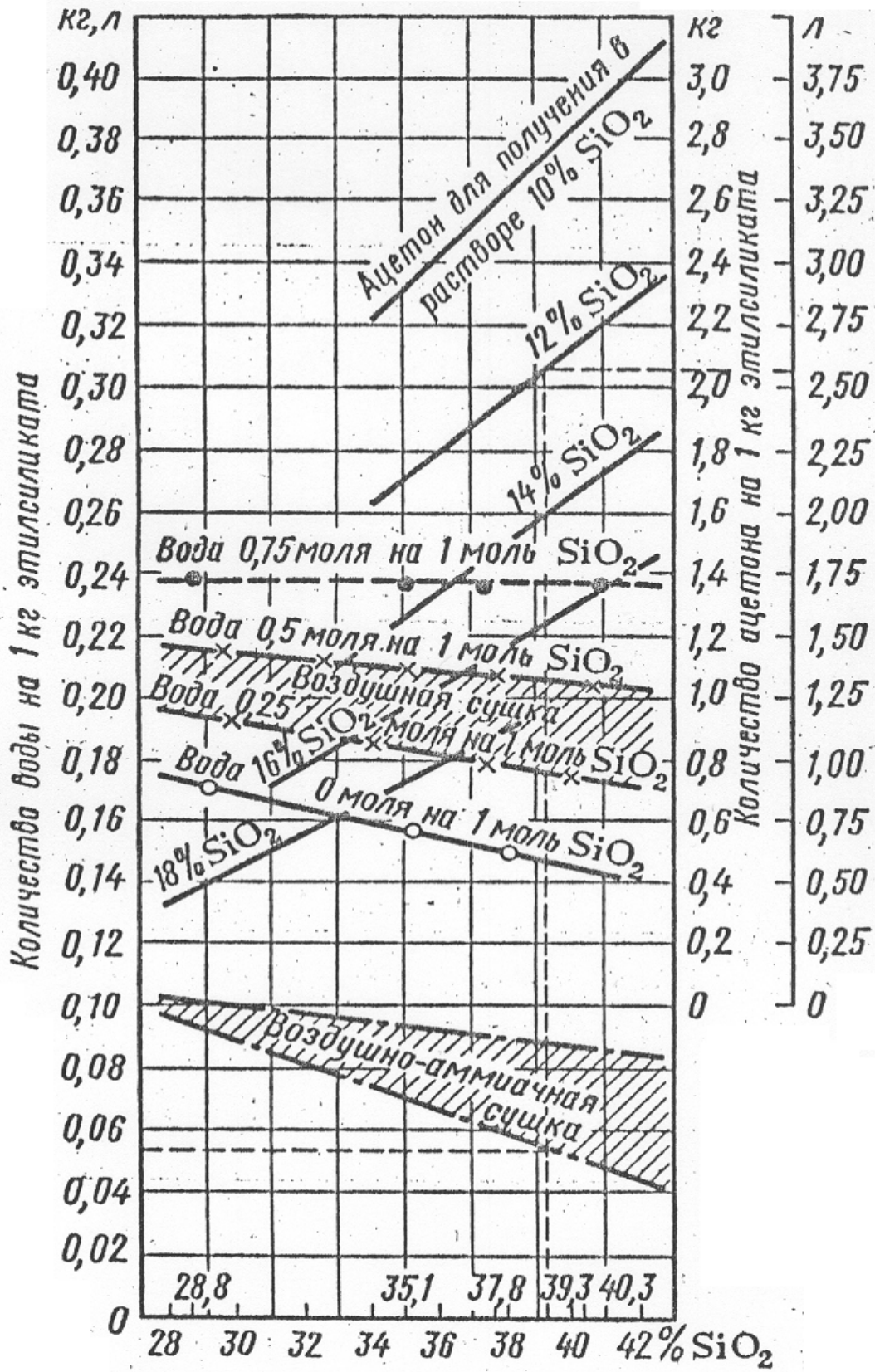


Рис. 1.18. Номограмма для расчета количества воды и растворителя для гидролиза этилсиликата.

Свойства оболочковых форм и режимы сушки существенно зависят, таким образом, от количества воды, принятого для гидролиза ЭТС.

Расчет количества составляющих для гидролиза

Исходными данными для расчета количества материалов, необходимых для гидролиза, являются, во-первых, требуемый тип раствора, т. е. заданная прочность формы; устойчивость раствора; условия сушки формы, а также паспортные данные ЭТС: содержание SiO_2 в ЭТС; содержание этоксильных групп $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$; содержание HCl .

При расчете необходимо определить количество воды для гидролиза, растворителя и соляной кислоты.

Необходимую для гидролиза 1 кг ЭТС массу воды рассчитывают по формуле В. А. Озерова и Б. Б. Шприца:

$$x_{\text{в}} = m a_3 / 250,$$

где m — количество молей воды на одну этоксильную группу; a_3 — содержание этоксильных групп (масс. %) в ЭТС (по сертификату на ЭТС); 250 — коэффициент, учитывающий молекулярные массы этоксильной группы и воды.

Количество молей воды на одну этоксильную группу назначают в зависимости от способа сушки оболочки. При $m = 60 \dots 65\%$ для воздушной сушки оболочек принимают $m = 0,5 \dots 0,6$, для воздушноаммиачной сушки $m = 0,2 \dots 0,3$. При $a_3 = 65 \dots 72\%$ для воздушной сушки $m = 0,6 \dots 0,8$, для воздушноаммиачной сушки $m = 0,3 \dots 0,5$.

Необходимую для гидролиза массу растворителя точнее определять по формуле

$$r = \text{SiO}_{2\text{ЭТС}} / \text{SiO}_{2\text{раств}} - (1 + x_{\text{в}}), \text{ кг}$$

где $\text{SiO}_{2\text{ЭТС}}$ — содержание SiO_2 в ЭТС, кг; $\text{SiO}_{2\text{раств}}$ — требуемое содержание SiO_2 в связующем растворе, кг; $x_{\text{в}}$ — масса воды, полученная расчетом, кг.

Требуемый объем k , мл, соляной кислоты плотностью $1,19 \text{ г/см}^3$ зависит от содержания этоксильных групп в ЭТС. На 1 кг ЭТС требуется $k = 0,114 a_3$.

Для условий гидролиза ЭТС в присутствии органических растворителей определить количество воды, растворителя, соляной кислоты можно по номограмме (см. рис. 1.18). Количество растворителя определяют, исходя из условия содержания в растворе требуемого количества SiO_2 . На горизонтальной оси « SiO_2 в ЭТС» находят точку, соответствующую со-

держанию «SiO₂ в ЭТС», от нее проводят вертикальную линию до пересечения с одной из линий «Ацетон для получения в растворе % SiO₂». По шкале справа определяют количество ацетона.

Способы гидролиза ЭТС (рис. 1.19). В производстве связующие растворы на основе ЭТС готовят, используя следующие способы гидролиза: отдельный, совмещенный, без растворителей.

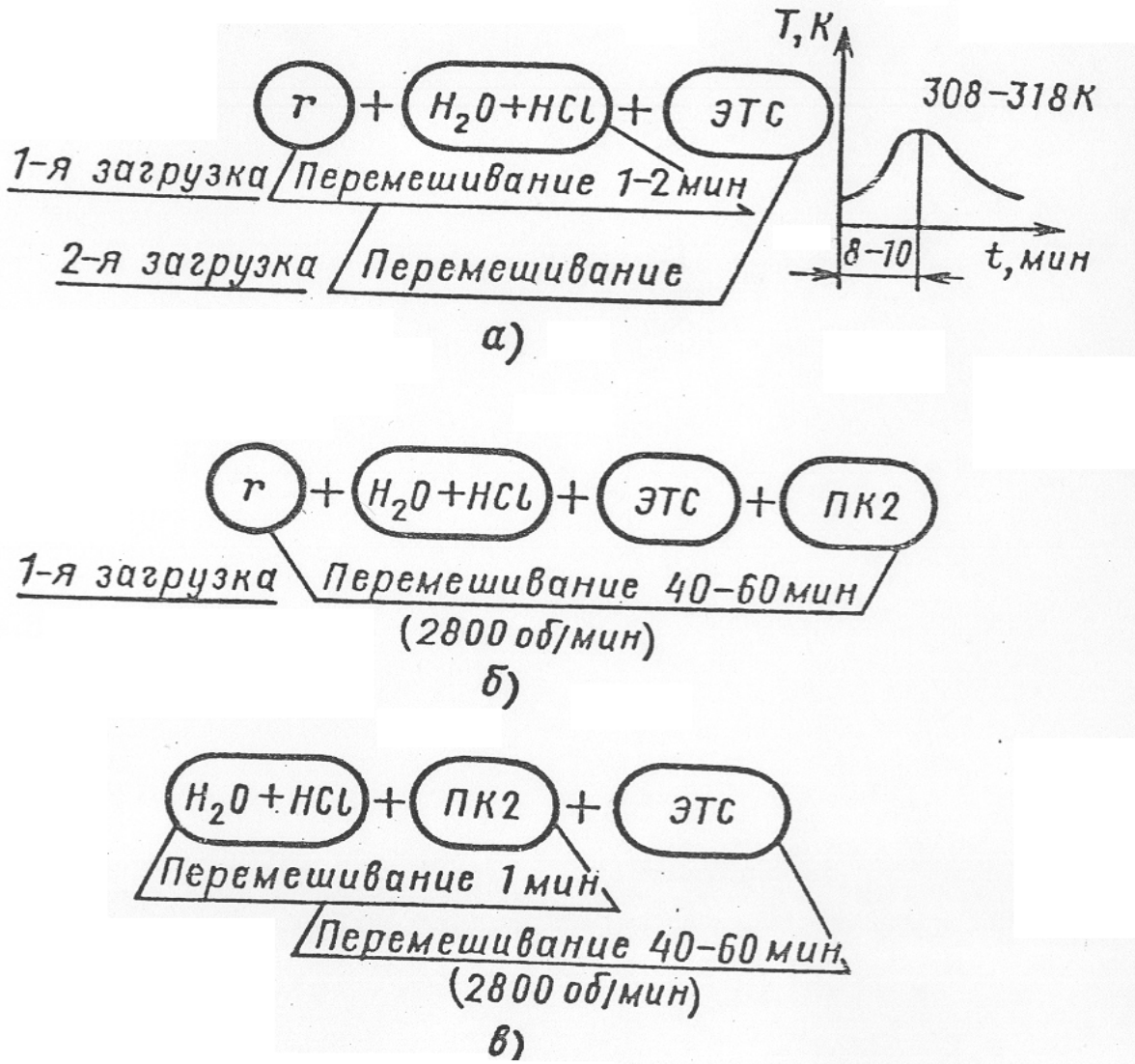


Рис. 1.19. Способы гидролиза этилсиликата: а – отдельный, однофазный; б – совмещенный; в – без органических растворителей.

При отдельном гидролизе (рис. 1.19, а) в водоохлаждаемый бак гидролизера наливают в расчетном количестве растворитель *r*, подкисленную соляной кислотой воду (H₂O+HCl) и перемешивают 1...2 мин. После этого, не выключая мешалки, вливают ЭТС. Перемешивание

продолжают до тех пор, пока раствор не охладится до температуры 20°C . Затем раствор выдерживают 2...18 ч до окончания процесса гидролиза. Выдержка после перемешивания растворов I типа не влияет на прочность форм. Для повышения прочности форм растворы II типа, после перемешивания, выдерживают не более 1...1,5 суток для завершения процессов гидролиза и поликонденсации.

Выдержка растворов III группы отрицательно влияет на прочность форм.

Приготовленные такими способами гидролизованые растворы ЭТС используют для изготовления суспензии.

Совмещенный способ гидролиза (рис. 1.19, б) заключается в том, что реакция гидролиза и приготовление суспензии совмещены. Для этого в бак гидролизера заливают в расчетном количестве растворитель r подкисленную воду ($\text{H}_2\text{O} + \text{HCl}$), ЭТС и загружают пылевидный кварц (ПК-2) в количестве $2/3$ расчетного, обеспечивающего требуемую вязкость суспензии. Компоненты загружают при непрерывной работе мешалки. Перемешивают суспензию 40...60 мин при непрерывном охлаждении бака гидролизера проточной водой, так как реакция гидролиза экзотермическая. Для равномерного протекания реакции гидролиза по объему мешалка должна иметь частоту вращения не менее 2800 об/мин или другие устройства, работа которых способствует равномерному распределению компонентов. Затем контролируют вязкость суспензии и доводят ее до требуемой, производя догрузку пылевидного кварца. Общее количество пылевидного кварца 2,5...3 части по массе на 1 часть раствора. Этим способом можно готовить суспензии высокого качества за короткое время, поэтому его наиболее широко используют в массовом производстве.

Гидролиз без органических растворителей (спирта, ацетона, ЭАФ и др.) (рис. 1.19, в), предложенный Н. Ивановым и Г. М. Зарецкой, ведут только совмещенным способом.

В водоохлаждаемый бак гидролизера наливают расчетное количество воды, подкисленной соляной и серной кислотами, засыпают пылевидный кварц и перемешивают 0,5...1 мин при частоте вращения мешалки 2800 об/мин, затем заливают расчетное количество ЭТС и перемешивают 40...60 мин. Температура суспензии при перемешивании $27^{\circ}\text{...}30^{\circ}\text{C}$. Периодически измеряют вязкость. Вязкость суспензии по вискозиметру ВЗ-4 должна быть в пределах 70...100 с. Количество воды должно быть таким, чтобы раствор содержал 14...16% SiO_2 . Соляную кислоту вводят из расчета 0,6...0,8 % к связующему, а серную — обычно

0,5...0,7 % в зависимости от содержания железа в пылевидном кварце. Поскольку в растворе много свободной воды, суспензия плохо смачивает модели. Чтобы суспензия хорошо покрывала модели, в нее при перемешивании вводят 0,05...0,1 % (по массе от жидких составляющих) поверхностно-активного вещества ОП-7 или ОП-10. Это способ перспективный, так как позволяет исключить применение ацетона, спирта и других растворителей.

Приготовление суспензии при отдельном способе гидролиза. После необходимой выдержки в гидролизованный раствор при непрерывном перемешивании всыпают постепенно по частям огнеупорный материал из расчета 2...2,5 части массы пылевидного кварца на 1 часть гидролизованного раствора. Засыпав 2/3 по массе огнеупорного материала, проверяют вязкость суспензии, которая должна быть 35...50 с по вискозиметру ВЗ-4. Для получения суспензии необходимой вязкости оставшийся пылевидный кварц добавляют небольшими порциями, проверяя вязкость суспензии после каждой засыпки. Готовую суспензию выдерживают для удаления воздушных пузырьков, захваченных при вводе пылевидного кварца.

В крупносерийном и массовом производстве для совмещенного гидролиза применяют автоматизированные установки (рис. 1.20). По трубопроводам 1 в дозаторы 2 вводят жидкие компоненты. В горизонтальную лопастную мешалку 3 непрерывно поступают окисленная вода и растворитель, а из бункера 8 по вибрлотку 7 непрерывно загружается пылевидный кварц, который дозируется по массе устройством 6.

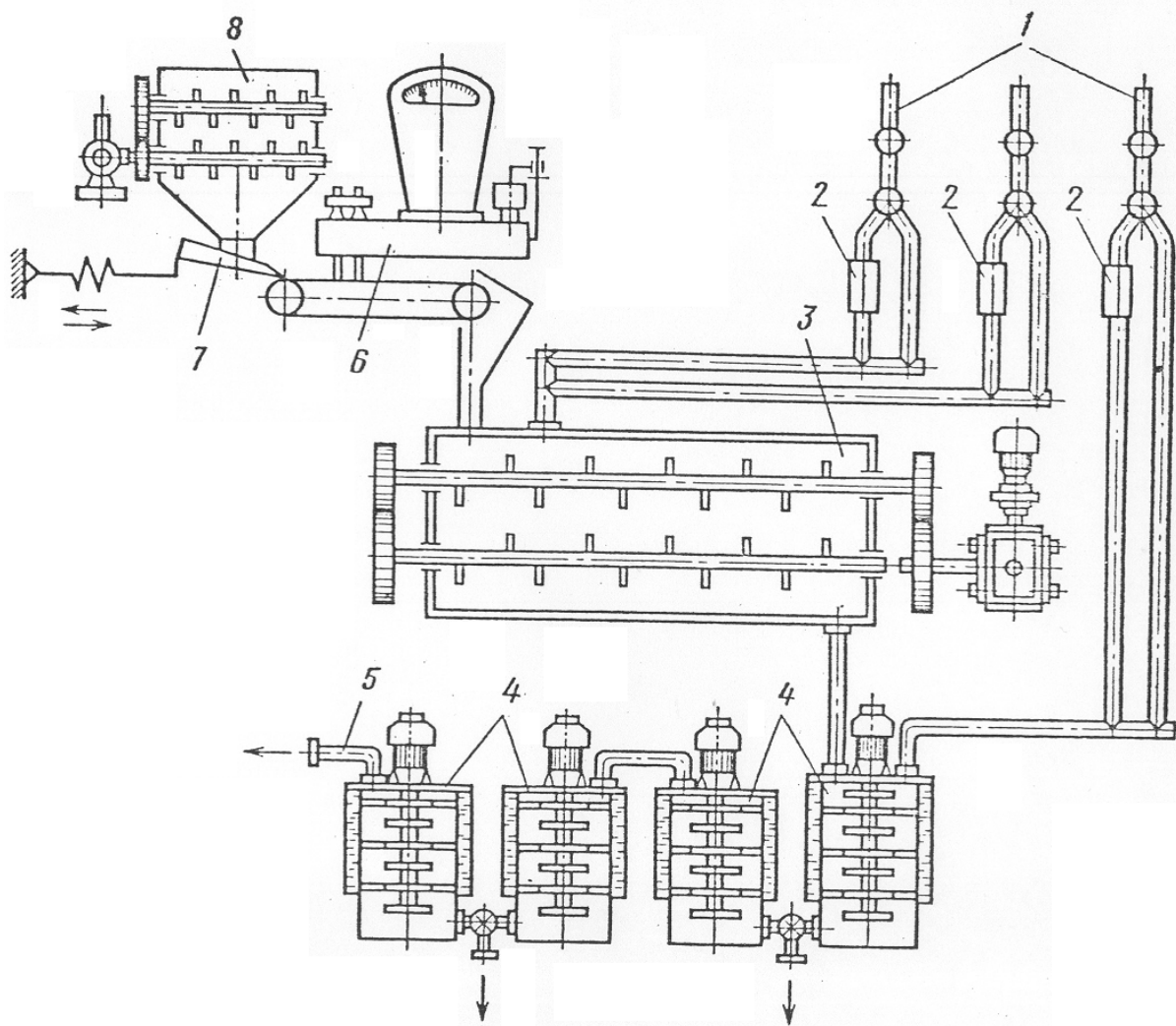


Рис. 1.20. Схема автоматизированной установки для приготовления суспензии: 1 – трубопроводы для подачи исходных материалов; 2 – дозаторы жидких компонентов; 3 – лопастная мешалка; 4 – пропеллерная мешалка; 5 - трубопровод для выпуска готовой суспензии; 6 – дозатор пылевидного кварца; 7 – вибралоток; 8 – бункер.

После перемешивания пылевидного кварца с водой и растворителем в мешалке 3 массу заливают последовательно в одну из пропеллерных мешалок 4, в которую по трубопроводу подается ЭТС. В мешалках проводится гидролиз ЭТС и готовится совмещенным способом суспензия. Готовая суспензия выдается через трубопровод 5.

Одним из направлений решения проблемы сокращения длительности срока изготовления оболочковых форм является применение новых связующих. Таким связующим является ЭТС-50. Связующий раствор готовят, разбавляя ЭТС-50 ацетоном до содержания в нем SiO_2 10 %. Суспензию готовят в мешалках с частотой вращения $n \approx 3000$ об/мин. Пылевидный кварц вводят в суспензию в соотношении 70:30 твердой и жидкой фаз (по массе), вязкость суспензии должна быть 30 с по ВЗ-4. Каждый слой покрытия отвердевает за 5 мин в среде воздуха с 10 % аммиака.

Использование ЭТС-50 позволяет исключить операцию гидролиза, процесс формообразования становится более стабильным, сокращается длительность цикла изготовления оболочковых форм.

Кремнезоли — коллоидные дисперсии кремнезема в воде, стабилизированные гидроокислами щелочных металлов или алюминия. Их используют как упрочняющие добавки в этилсиликатных связующих растворах. В золе содержится до 50 % SiO_2 , размер коллоидных частиц 5...20 мкм. Это позволяет для достижения требуемой прочности формы снизить в 2 раза расход ЭТС. По опыту ПО ЗИЛ суспензию готовят совмещенным способом.

Неорганические связующие. Процесс изготовления форм с использованием этилсиликатных связующих растворов – многооперационный, длительный, а сами растворы характеризуются нестабильностью свойств. В литейных цехах приходится осуществлять химические процессы, несвойственные машиностроительному производству. Поэтому ведутся поиски новых, в основном неорганических связующих материалов для оболочковых форм.

Связующие на основе коллоидной двуокиси кремния. Эти связующие получают химическим взаимодействием кислоты и силиката натрия, а главным образом—ионным обменом. Готовое связующее—прозрачная жидкость с молочным оттенком, содержащая 30...40% коллоидного кремнезема. Суспензию готовят обычным способом в высокооборотных мешалках в присутствии ПАВ. Каждый слой покрытия сушат в течение 1 ч. Формы заливают без опорных материалов. Это связующее перспективно для широкой номенклатуры сплавов.

Связующие на основе азотнокислых солей алюминия. В качестве исходного материала используют оксинитрат алюминия $Al_3(OH)_8NO_3$, он содержит 35...39 мас. % Al_2O_3 . Раствор оксинитрата алюминия в спиртах должен содержать ~150 г/л Al_2O_3 . В 1 л раствора вводят 3...3,5 кг электрокорунда или силлиманита. Суспензию готовят в смесителях с высокой частотой вращения. Формы сушат на воздухе. При прокаливании форм оксинитрат алюминия разлагается. Выделившаяся из раствора твердая фаза Al_2O_3 служит связующим. Это связующее целесообразно применять при изготовлении форм для отливок из жаропрочных и тугоплавких сплавов.

Связующие на основе солей хрома. В качестве исходного материала используют оксихлорид хрома $Cr(OH)_{3n-1}Cl$. Это соединение растворяют в спиртах или ацетоне. Огнеупорной составляющей суспензии служит пылевидный хромомагнетит или хромистый железняк. Слой оболочки упрочняется сушкой на воздухе за 15...20 мин. Формы обладают высокой огнеупорностью, слабо взаимодействуют с металлами и окислами, отливки не имеют пригара. После заливки формы легко разрушаются.

Связующие на основе полимеров фосфатов. Исходным материалом для связующего служат неорганические полимеры, например $(AlPO_4)_n$, $Al(H_2PO_4)_m$. При прокаливании они разлагаются с выделением Al_2O_3 , который и является связующим. Формы обладают высокой огнеупорностью и их можно заливать без опорных материалов.

Применение этилсиликатно-фосфатных связующих обеспечивает сокращение расхода ЭТС в 2,5...3 раза, повышение прочности и снижение брака форм на 25 % по сравнению с оболочковыми формами на этилсиликатном связующем. Продолжительность сушки каждого слоя на связующем ЗИЛ-ЭФ 2,5...4 часа.

Общие сведения о готовом связующем

В литье по выплавляемым моделям при изготовлении оболочковых форм в качестве связующего применяются гидролизованные растворы этилсиликата.

Этилсиликаты, в том виде, как они поставляются химической промышленностью, не являются связующими. В условиях литейного цеха связующее приготавливают путем проведения сложной химической операции – гидролиза этилсиликата. При этом из-за нестабильности состава исходного этилсиликата приходится корректировать рецептуры. Трудно обеспечить точную дозировку составляющих суспензии.

ГНИИХТЭОСом совместно с НИИТАвтопромом и НПО “ХИМПРОМ” разработано готовое связующее (ГС), получившее марку ГС-12,5 И (таблица 1.5).

ГС – это продукт щелочной модификации и последующей нейтрализации гидролизованного раствора ЭТС40 в изопропиловом спирте.

ГС предназначено для использования в точном литье в качестве связующего при получении оболочковых форм.

Таблица 1.5. Физико-химические показатели ГС-12,5 И.

Наименование показателей	Ед. изм.	Характеристика, значения показателей
Внешний вид	-	Прозрачная, желтоватого цвета жидкость
Плотность при 20°C	г/см ³	0,91...0,92
Массовая доля двуокиси кремния	%	12...14
Вязкость кинематическая при 20°C	Сст	4,4...8,0
Массовая доля HNO ₃	%	0,03...0,07
Время гелеобразования	мин	не менее 50

ГС, являясь продуктом высокой степени поликонденсации, обладает рядом ценных технологических свойств. Так обладает высокой связующей способностью, что обеспечивает прочность оболочковых форм при статическом изгибе 4,5...6,0 МПа (по методике НИИТАвтопрома), обеспечивает “живучесть” суспензии не менее 7 суток. Суспензия на ГС обладает достаточной седиментационной устойчивостью и хорошей смачиваемостью поверхности моделей, отверждается в структуре керамики под действием паров аммиака за 5...7, а на воздухе за 20..30 минут, не изменяет свойств при хранении в течение 1 года и после длительного хранения при температуре от - 40 °С до +40 °С.

ГС обладает токсическими свойствами и относится к легковоспламеняющимся, умеренно опасным веществам (IV класс вредности).

Все работы с готовым связующим должны проводиться в помещениях с приточно-вытяжной вентиляцией, в спецодежде и резиновых перчатках.

Условия хранения и использования ГС соответствуют требованиям, предъявляемым к спиртам и этилсиликатам.

Приготовление суспензии.

Исходные материалы: ГС-12,5 И; кварц молотый пылевидный; кислота серная техническая.

Рецептура суспензии, масс. %: ГС - 25...30; кварц молотый пылевидный – 70...75; кислота серная техническая - 1,2... 1,7.

Соотношение между связующим и наполнителем суспензии определяется принятой в технологическом процессе вязкостью. Рекомендуемая вязкость 1-го слоя – 40..50 с по ВЗ-4.

Количество вводимой серной кислоты в ГС определяется содержанием окислов железа в пылевидном кварце.

Изготовление оболочковых форм

Суспензию наносят на блоки моделей окунанием их в ванну с суспензией, а на крупные блоки и модели - обливанием. В зависимости от характера производств и степени механизации блок моделей погружают в ванну вручную, с помощью манипуляторов или копирных устройств на цепных конвейерах. Блок погружают так, чтобы с поверхности моделей, особенно из глухих полостей, отверстий могли удалиться пузырьки воздуха. Вынутый из суспензии блок моделей медленно поворачивают в различных направлениях так, чтобы суспензия равномерно распределилась по поверхности моделей, а излишки ее стекли. После этого слой суспензии сразу обсыпают песком, между нанесением суспензии и обсыпкой должно быть не более 10 с. После этого времени суспензия подсыхает и песок не соединяется с ней. Суспензию в ванне непрерывно перемешивают с небольшой скоростью для устранения оседания огнеупорного материала. Для нанесения песка на слой суспензии используют погружение блока в слой «кипящего» песка.

На рис. 1.21 представлена схема установки для обсыпки блока моделей в слое кипящего песка. Установка состоит из емкости с песком, в нижней части которой расположена полость 2, в которую подводится сжатый воздух. Плотность 2 отделена от емкости 1 сеткой, на которой уложен слой войлока. Воздух, проходя через песок, переводит его во взвешенное кипящее состояние. Блок моделей 3 погружают в слой кипящего песка.

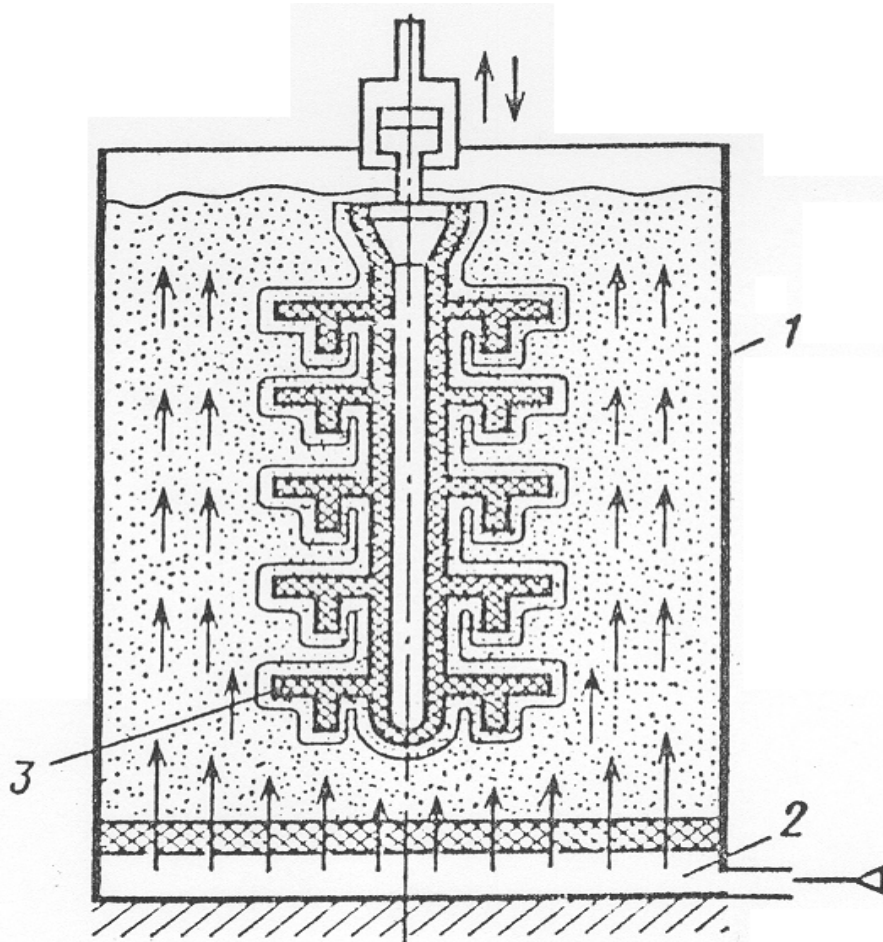


Рис. 1.21. Схема установки для обсыпки блока моделей в кипящем слое песка: 1 – емкость с песком; 2 – полость для подвода сжатого воздуха; 3 – блок моделей.

Сушка оболочковых форм. После нанесения каждого слоя суспензии и обсыпки его высушивают в потоке воздуха или в парах аммиака. Во время сушки на воздухе завершаются процессы гидролиза, происходит испарение растворителя и воды, коагуляция золя кремниевой кислоты и превращение его в гель с последующим твердением и образованием твердых прослоек, связывающих зерна огнеупорного пылевидного материала.

Процесс коагуляции можно ускорить обработкой слоев оболочки парами аммиака. Аммиак омыляет полиэфиры этоксильных групп (продуктов неполного гидролиза) и переводит эти соединения в гель.

Продолжительность сушки и обсыпки каждого слоя суспензии на воздухе 2...4 ч, а в парах аммиака 50...60 мин, из них 20...30 мин сушка на воздухе, 10...20 мин в парах аммиака и 10...20 мин - выветривание паров аммиака. Сушку производят в вертикальных и горизонтальных многоярусных сушилках. Операция сушки — одна из длительных в общем цикле изготовления оболочковой формы. *Ускорение сушки— одно из важнейших направлений совершенствования процесса.*

Удаление моделей. В зависимости от материала моделей, используют различные способы их удаления из оболочки.

Воскообразные модельные составы обладают низкой теплопроводностью. Поэтому при медленном нагреве модель прогревается на всю толщину, расширяется, давит на оболочковую форму и может разрушить ее. При быстром нагреве модель оплавляется с поверхности, модельный состав впитывается в поры формы или вытекает из нее и оболочковая форма не разрушается. Поэтому быстрый нагрев модельного блока — одно из основных условий получения оболочковой формы без трещин.

Модели из выплавляемых воскообразных составов удаляют из формы погружением блока моделей в горячую воду или ванну с модельным составом. Эти способы получили наибольшее применение на производстве. Возможно, удаление выплавляемых моделей в паровых автоклавах или горячим воздухом. Эти способы вследствие больших потерь модельного состава, сложности оборудования применяют редко.

Выплавление в воде позволяет получить 90...95 % возврата модельного состава, однако вероятность появления трещин в оболочке достаточно большая.

Выплавление в перегретом модельном составе позволяет повысить прочность оболочковой формы в непрокаленном состоянии благодаря пропитке ее модельным составом. При прокаливании оболочковой формы воскообразный состав в ее порах коксуется и дополнительно упрочняет форму. Однако качество возврата ухудшается вследствие его перегрева.

Выплавление горячим воздухом используют для модельных составов КПсЦ. Для уменьшения вероятности образования трещин в оболочковой форме ее формуют в жидкой формовочной смеси. Затем форму высушивают при 80...90 °С в течение 10 ч, нагревают до 200...220 °С и выплавляют модели.

Растворимые и карбамидные составы растворяют в воде при 20...27 °С. Так как модельный состав не расширяется, трещин в оболочковой форме не образуется.

Пенополистироловые выжигаемые модели могут быть удалены из формы путем нагрева ее вместе с модельным блоком или растворением. Выжигание пенополистироловых моделей сопровождается выделением большого количества паров стирола и других углеводородов, сажи. Поэтому для регулирования процесса горения в прокалочной печи создают среду с определенным окислительно-восстановительным составом для того, чтобы происходило горение полистирола и продуктов его термического разложения без образования сажи. Обычно в печь подают окислительный реагент и воздух из расчета полного сгорания пенополистироловых моделей. Окислительный реагент вводят и при прокаливании форм, полученных по выплавляемым моделям. Это позволяет уменьшать сажевыделение и улучшать условия труда.

При прокаливании оболочковой формы без опорных материалов ее помещают вместе с моделью в печь и нагревают до температуры 700...727 °С в течение 30 мин, затем выдерживают ~20 мин для полной газификации остатков модельного состава и далее нагревают с той же скоростью до 927...1027 °С.

Пенополистироловые выжигаемые модели могут быть удалены из оболочковой формы растворением в бензоле, толуоле, ацетоне. Этот процесс чаще используют при приготовлении крупных форм. Во всех случаях при выжигании, растворении пенополистироловых моделей должна быть обеспечена хорошая приточно-вытяжная вентиляция участка и рабочих мест с последующей очисткой удаляемого в атмосферу воздуха.

Формовка. Для предотвращения разрушения оболочковой формы при заливке ее заформовывают в сыпучие огнеупорные материалы или жидкие формовочные смеси. В качестве опорных материалов используют сухой кварцевый песок, шамотный порошок, размолотые и просеянные через сито с ячейкой 2 мм остатки оболочки после очистки отливок. Главные требования к опорным материалам, используемым для формовки — высокая огнеупорность и одинаковый с материалом оболочки КТР, так как при различии в КТР возможно возникновение напряжений и трещин в оболочковой форме при ее прокаливании и заливке.

В производстве используют два способа формовки оболочковых форм в сыпучие опорные материалы: холодный и горячий.

Формовку в холодном состоянии используют в единичном, мелкосерийном и массовом производстве. Оболочковую форму после удаления модели помещают в контейнер из жаростойкой стали, засыпают контейнер огнеупорным материалом, уплотняют его вибрацией на вибростоле, а затем прокаливают.

Формовку в нагретом состоянии используют чаще в массовом производстве. В этом случае оболочковые формы прокаливают отдельно, и сразу после прокаливания их заформовывают в предварительно нагретом сыпучем огнеупорном материале. Это позволяет сократить длительность прокаливания оболочковых форм, уменьшить напряжения в них, повысить надежность процесса.

Прокаливание оболочковых форм необходимо для полного удаления из форм остатков модельного состава, испарения остатков воды и продуктов неполного гидролиза связующего, а также спекания связующего и огнеупорного пылевидного материала. Во время прокаливания в стенке оболочковой формы образуются поры и микротрещины, благодаря чему возрастает (до 10...20 ед) газопроницаемость оболочки. Оболочковые формы без опорных материалов (рис. 1.22, кривая 1) прокаливают в течение 0,5...1,0 ч при температуре 600...627 °С. Тонкая стенка формы быстро прогревается снаружи и изнутри, и в ней возникают лишь минимальные напряжения и микротрещины, не оказывающие существенного влияния на ее прочность.

Оболочковая форма, заформованная в сыпучий огнеупорный материал, нагревается изнутри, со стороны рабочей полости, быстрее, чем снаружи через слой формовочного материала. Чтобы в стенке формы не возникли термические напряжения вследствие резкого одностороннего нагрева, начальную температуру в печи и скорость нагрева выбирают из условия равномерного нагрева оболочковой формы. Для кварцевых материалов эта скорость равна 100 °С/ч. После нагрева до 900...1000 °С дают выдержку для завершения процесса прокалики. Общая продолжительность прокаливания формы 6...8 ч (см. рис. 1.22, кривая 2). Если сыпучий огнеупорный материал имеет полиморфные превращения при нагреве, протекающие с изменением объема, то возможно появление напряжений и трещин в оболочковых формах. Поэтому целесообразно прокаливать оболочки отдельно, а затем горячую оболочку формовать в нагретый огнеупорный материал.

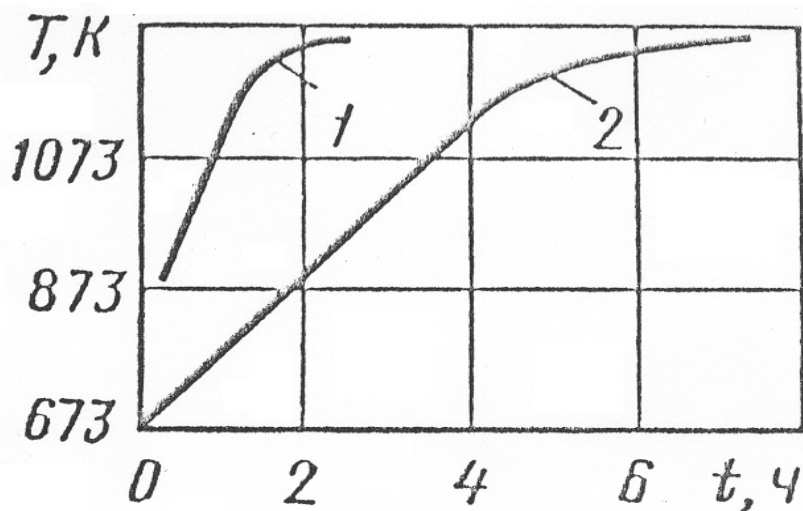


Рис. 1.22. Режимы прокаливания оболочек: 1 – прокаливание оболочковой формы без опорного материала; 2 – прокаливание заформованной в сыпучий огнеупорный материал оболочки.

Контроль технологических свойств оболочковых форм. Наиболее важными свойствами оболочковых форм являются прочность и газопроницаемость.

При заливке расплавом оболочковая форма испытывает напряжения изгиба, поэтому определяют прочность при изгибе плоских образцов размерами 20x40x3 мм в непрокаленном и прокаленном при 900...950 °С состояниях. Эти испытания проводят на любой разрывной машине, снабженной приспособлением для изгиба, имеющей цену деления силоизмерителя не менее 0,5Н.

Газопроницаемость определяют на стандартном приборе, используя прокаленные образцы в виде диска диаметром 50 мм и высотой 3 мм. Образцы для определения прочности и газопроницаемости изготавливают по той же технологии, что и оболочковые формы.

Анализ основных операций технологического процесса изготовления оболочковых форм показывает, что при различных вариантах технологического процесса наиболее длительными операциями являются сушка формы и ее прокаливание. Поэтому работы литейщиков по совершенствованию процесса направлены на сокращение длительности этих процессов. Эта сложная задача решается поиском новых связующих, огнеупорных материалов, эффективных режимов сушки и прокаливания оболочковой формы, рациональной конструкции ее стенки (рис. 1.23).

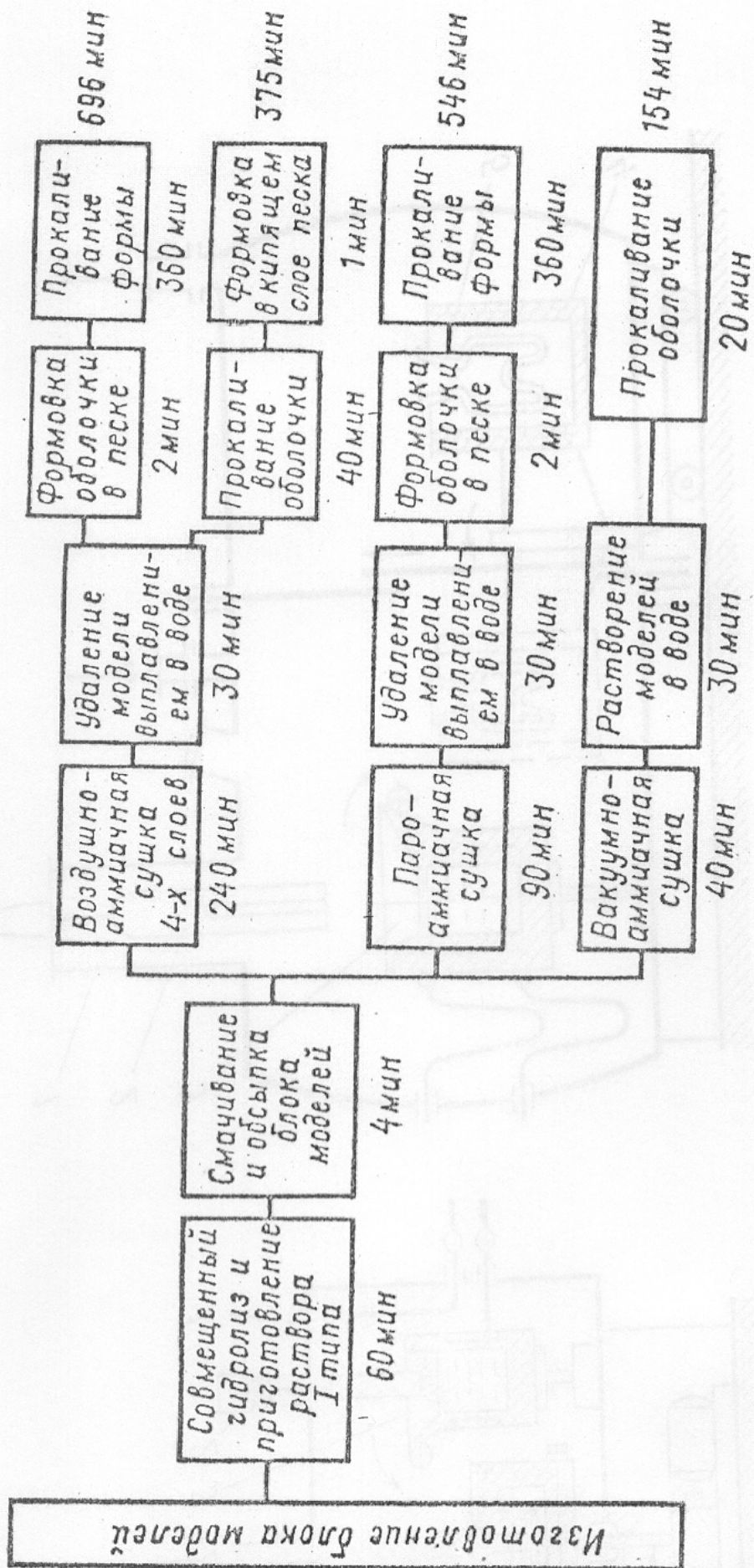


Рис. 1.23. Варианты технологических процессов изготовления оболочковых форм.

1.5. ЗАЛИВКА ФОРМ, ВЫБИВКА И ОЧИСТКА ОТЛИВОК

Заливка форм.

Температура форм перед заливкой зависит от толщины стенок и материала отливки. Обычно расплав заливают в горячие формы ($700 \dots 1600 \text{ }^{\circ}\text{C}$) сразу после их прокаливания. Стали и жаропрочные сплавы для тонкостенных отливок заливают при температуре $1520 \dots 1600 \text{ }^{\circ}\text{C}$, медные сплавы—при $900 \dots 1100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, алюминиевые сплавы— при $700 \dots 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$. При изготовлении отливок с массивными стенками расплав заливают в формы, охлажденные до $200 \dots 400 \text{ }^{\circ}\text{C}$, что способствует улучшению структуры отливок.

При изготовлении тонкостенных отливок из жаропрочных сталей и сплавов, склонных к окислению, плавку производят в вакуумных плавильно-заливочных установках (рис. 1.24). Эти установки имеют камеры, в которых располагаются печи 4 для подогрева оболочковых форм 5 перед заливкой расплава. Перед плавкой форму устанавливают в печь подогрева. После приготовления расплава форму 5 перемещают вместе с печью 4 подогрева на позицию заливки и заливают расплавом (рис. 1.24, а). При изготовлении тонкостенных отливок из сплавов, обладающих пониженной жидкотекучестью (сплавы титана, некоторые высокопрочные стали), заливку форм 5 для улучшения их заполняемости производят центробежным способом, размещая центробежную машину 6 в вакуумной камере 1 плавильно-заливочной установки (рис. 1.24, б).

При изготовлении отливок из углеродистых сталей с целью ускорения процесса формы охлаждают до выбивки и после выбивки сжатым воздухом и водой в специальных камерах.

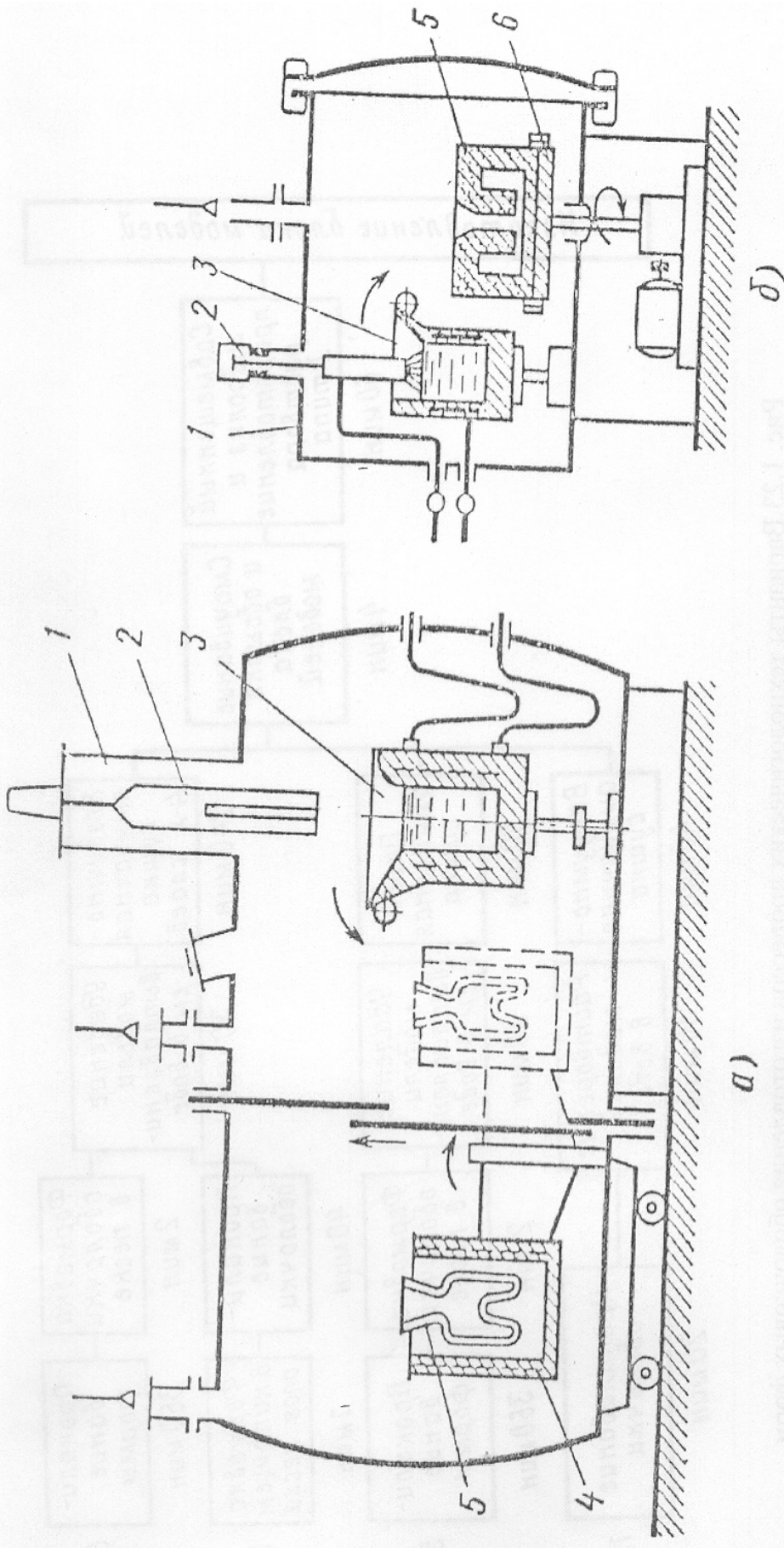


Рис. 1.24. Схемы устройства вакуумных плавильно-заливочных установок: а – с печью подогрева форм; б – с центробежной машиной; 1 – вакуумная камера; 2 – вакуумная камера; 2 – устройство для загрузки шихты; 3 – плавильная печь; 4 – печь подогрева; 5 – форма; 6 – центробежная машина.

Выбивка форм и очистка отливок.

Оболочковые формы без опорного материала после заливки и охлаждения отливки поступают на предварительную очистку. Формы, упрочненные сыпучим материалом, легко выбиваются при опрокидывании контейнеров на провальную решетку, а формы с жидким упрочняющим материалом выбивают на выбивных решетках.

Предварительную очистку отливок от оболочки формы осуществляют на вибрационных установках. Стояк литниково-питающей системы зажимают в приспособлении и подвергают вибрации: под действием вибрации оболочка формы отделяется от отливки. В некоторых случаях возможно совмещение операций очистки и отделения отливок от стояков. Частичное отделение оболочки формы происходит под действием резкого охлаждения водой формы с отливкой. При этом стальные отливки, как правило, закаливаются, но при последующей термообработке эффект закалки устраняется.

Отделение отливок от литников выполняют различными способами в зависимости от состава сплава, типа производства, размеров отливок и конструкции литниково-питающей системы.

При отделении отливок от литников на виброустановках путем ударной вибрации отливке сообщается колебательное движение, металл разрушается в зоне питателя. Последний обычно имеет пережим — концентратор напряжений. Этот способ используется для компактных отливок из углеродистых сталей, для тонкостенных отливок сложной конфигурации его не применяют. Недостаток способа — высокий уровень шума, что вынуждает размещать установки в звукоизолированных помещениях, а также появление усталостных напряжений в отливках.

Отрезку отливок на металлорежущих станках применяют лишь в тех случаях, когда другие способы использовать невозможно по причине сложных конструкций литниковых систем; обычно ее используют в единичном и мелкосерийном производстве. Стойкость инструмента при этом невелика из-за ударных нагрузок (по питателям) и абразивного изнашивания остатками керамики. Для отрезки отливок используют токарные, фрезерные станки, дисковые пилы, механические ножовки. Отделение отливок на прессах (рис. 1.25) широко используют в крупносерийном и массовом производстве отливок небольшой массы (до 5 кг),

преимущественно из углеродистой и низколегированной сталей. Блок отливок должен иметь литниково-питающую систему I типа с центральным стояком (см. выше).

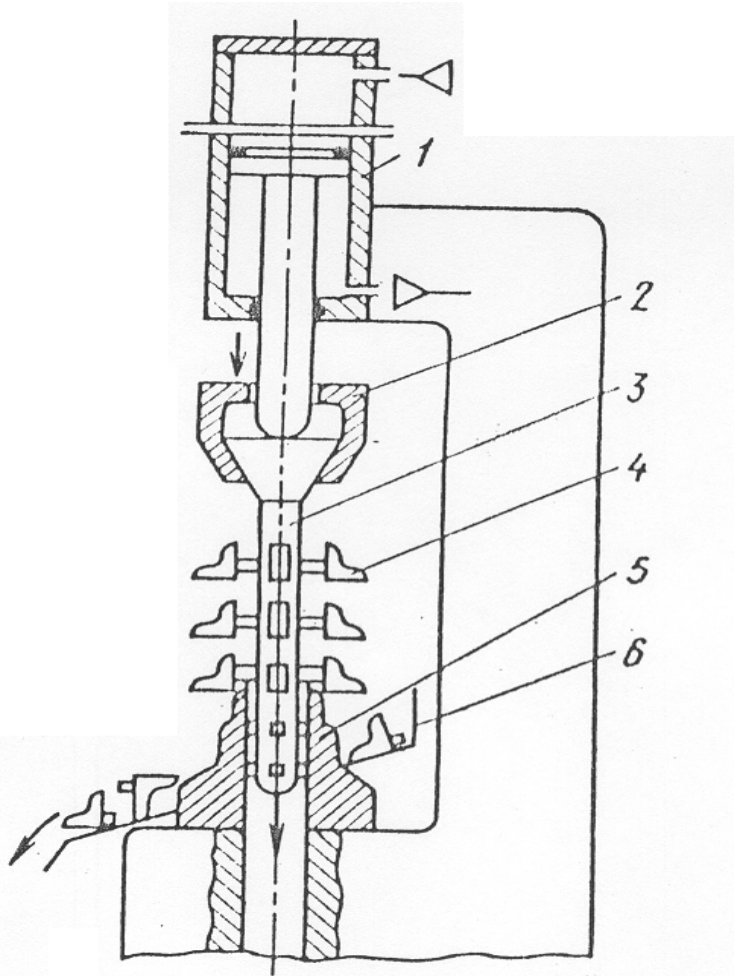


Рис. 1.25. Схема устройства пресса для отделения отливок от стояка: 1 – гидроцилиндр; 2 – зажим; 3 – блок отливок; 4 – отливки; 5 – штамп; 6 – лоток.

Газопламенную резку используют для отрезки стояков и прибылей от крупных отливок. Вследствие резкого местного нагрева в отливках могут возникнуть термические напряжения, что ведет к деформации отливок с пространственной сложной конструкцией (корпуса, панели и др.). Поэтому такие отливки часто приходится рихтовать, т. е. использовать дополнительную операцию.

Анодно-механическую резку используют для отрезки литников от отливок из труднообрабатываемых сплавов.

Окончательная очистка отливок. Во время предварительной очистки отливок остатки формы полностью отделяются только на плоских отливках без-отверстий и поднутре-

ний. В отливках сложной конфигурации остатки формы остаются в сквозных и глухих отверстиях, поднутрениях. Вследствие усадки сплава остатки формы в этих местах сжаты, их удаление требует больших энергозатрат при механической очистке. Поэтому чаще применяют гидроабразивный, электроискровой, химический, химико-термический, гидравлический способы окончательной очистки отливок.

При механическом способе очистки (дробёметном, дробеструйном) используют металлический песок или дробь (размером частиц до 0,3 мм). Очистка крупной дробью приводит к увеличению шероховатости поверхности.

Гидроабразивная очистка целесообразна для очистки отливок из алюминиевых, медных сплавов. Для очистки отливок из алюминиевых сплавов, к которым предъявляются высокие требования по шероховатости поверхности, используют гидравлический способ; тонкая струя воды под давлением 20...30 МПа подается на отливку или в ее полость, при этом остатки формы, разрушаются.

Электроискровой способ применяют для отливок из сплавов, обладающих достаточной прочностью (например, углеродистые, легированные стали).

Химический способ широко применяют в массовом производстве мелких стальных отливок, когда вследствие сложности конфигурации механические способы не обеспечивают полного удаления остатков формы. Очистку ведут в горячих водных растворах (45...55%) щелочей при температуре раствора 90...95⁰С. При этом кремнезем формы SiO₂ взаимодействует со щелочью по реакции $2\text{KOH} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

Агрегат для очистки отливок (рис. 1.26) выполнен в виде барабана 9, вращающегося в ванне. Барабан изготовлен из полос со щелями 5...6мм. В стенках барабана имеются отверстия диаметром 10мм. Через эти отверстия и щели жидкость из ванны поступает в барабан. В ванне имеются два отсека: в первом отсеке 4 находится кипящий раствор КОН, а во втором отсеке 2—горячая вода для промывки отливок после выщелачивания. Для перемещения отливок барабан наклоняют на 3° пневмоцилиндром 1. Отливки передаются из отсека в отсек и в разгрузочный патрубок устройством 5, в которое они попадают при вращении барабана. Вода и раствор нагреваются нагревателями 3. Осадок, образующийся при выщелачивании остатков формы, скапливается на поддонах 5, установленных на роликовых конвейерах 6. Поддон периодически удаляют через люк 7. Ванна и барабан закрыты кожухом 10 с вентиля-

ционными патрубками 11. Длительность очистки 1...2 ч. Остатки формы подвергаются также и дополнительному механическому воздействию при взаимных соударениях отливок.

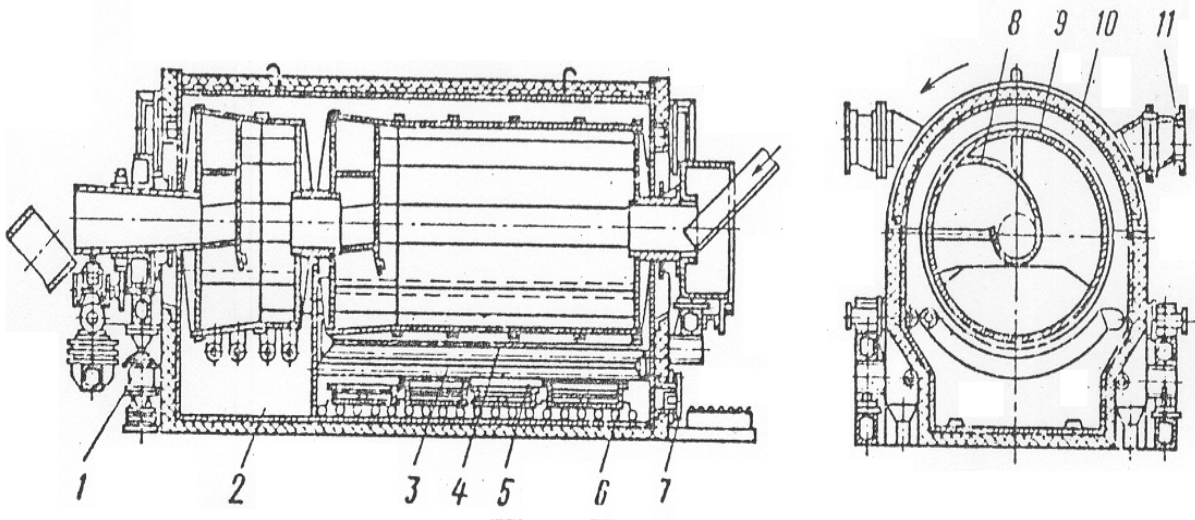


Рис.

1.26. Схема агрегата выщелачивания керамики от отливок: 1 – пневмоцилиндр; 2 – отсек для промывки отливок горячей водой; 3 – нагреватели; 4 – отсек с кипящим раствором КОН; 5 – поддоны; 6 – роликовый конвейер; 7 – люк; 8 – спиральное устройство для перегрузки отливок; 9 - рабочий барабан; 10 – кожух; 11 – вентиляционный патрубок.

Более производителен способ очистки отливок в расплавах солей, щелочей при температуре 800...900 °С. В этом случае длительность операции очистки отливок составляет несколько минут. Одновременно может быть произведена термическая обработка стальных отливок (например, нормализация).

Дефекты отливок.

Дефекты отливок условно разделяют на поверхностные, внутренние, отклонения размеров и конфигурации, несоответствия по химическому составу, структуре и механическим свойствам металла.

Дефекты поверхности. Повышенная шероховатость отливок появляется вследствие недостаточной подготовки поверхности пресс-формы, плохого качества поверхности моделей, плохого смачивания поверхности моделей суспензией, пробивания первого слоя суспензии песком при обсыпке, образования в полости формы налета кремнезема («пушка»).

Рабочая поверхность пресс-формы должна быть тщательно очищена от остатков модельного состава, воды, лишнего смазочного материала.

Суспензия плохо смачивает модели, если на их поверхности остаются следы смазочного материала пресс-формы, а также если в модельном составе присутствуют компоненты, способствующие плохому смачиванию модели суспензией. Для устранения этого явления в суспензию вводят ПАВ, улучшающие смачивание модели суспензией.

Пробивание первого слоя суспензии исключается повышением ее вязкости, применением для обсыпки первого слоя мелких песков 1К₁О₁01.

Налет кремнезема в формах появляется при неполном гидролизе ЭТС. Обычно это наблюдается при гидролизе малым количеством воды. В этом случае необходимо применять сушку в парах аммиака или увеличивать количество воды при гидролизе ЭТС

Заливы, наплывы, «гребешки» на поверхности отливок образуются из-за проникания расплава в трещины оболочковой формы. Трещины в форме могут образоваться вследствие недостаточной прочности. Низкая прочность оболочковой формы вызывается использованием некачественных исходных материалов, плохого качества гидролизованного раствора ЭТС, или другого связующего, нарушениями режимов нанесения суспензии на модель и режимов сушки и прокаливания.

Обезуглероженный слой на отливках из углеродистых сталей можно уменьшить введением в состав суспензии карбюризатора, а также используя способы, рассмотренные выше. Возможно, также проводить термообработку отливок в среде, обеспечивающей насыщение их поверхности углеродом.

Внутренние дефекты отливок.

Засоры — открытые или закрытые полости в теле отливки, заполненные материалом оболочковой формы, — обычно образуются из-за попадания песчинок в форму при формовке в сыпучий наполнитель, а также вследствие смывания расплавом «заусенцев» на форме, образующихся между моделью и литниковой системой при небрежной пайке.

Усадочные раковины и пористость в теле отливок возникают из-за недостаточного ее питания при затвердевании, чрезмерно высокой температуры расплава и формы, нарушений химического состава расплава.

Газовые раковины образуются вследствие недостаточной газопроницаемости оболочковой формы и образования воздушных «мешков» при неправильной конструкции литниково-питающей системы.

Горячие трещины образуются вследствие нетехнологичности конструкции отливки (сочетание тонких и массивных стенок, наличие острых углов, недостаточных размеров галтелей и переходов и т. д.), а также высокой температуры заливки, недостаточной податливости формы.

Отклонения размеров и конфигурации отливки от заданных могут быть вызваны различными причинами. Главные из них — нестабильность усадки модельного состава, деформации оболочковой формы в процессе прокаливания, а также нестабильность усадки металла отливки. Однако на точность размеров и конфигурации отливки оказывают также влияние режимы сушки и прокаливания оболочковой формы.

На нестабильность усадки пастообразных модельных составов большое влияние оказывает, например, воздух, содержащийся в них. Воздух уменьшает объемную усадку модели, но вследствие непостоянства содержания в различных моделях (в партии) вызывает существенную нестабильность их размеров при усадке.

На деформацию оболочковой формы наибольшее влияние оказывают полиморфные превращения ее материала при нагреве и вызванные ими изменения размеров рабочей полости. Поэтому перспективными для получения точных форм и соответственно отливок являются материалы, не имеющие полиморфных превращений при нагреве и охлаждении и обладающие малым КТР (плавленый кварц, высокоглиноземистый шамот и т. д.).

Несоответствие химического состава и структуры отливок заданным могут быть вызваны отклонениями в составе шихтовых материалов, нарушениями режимов плавки сплава и режимов охлаждения отливки в форме.

Несоответствие механических свойств отливки заданным обычно вызывается несоответствием химического состава и структуры заданным, а также наличием усадочных дефектов — раковин, пористости в ее теле, повышенным содержанием газов в металле. Кроме использования известных металлургических средств для устранения этих дефектов следует обращать особое внимание на технологичность конструкции отливки, конструкцию литниково-питающей системы, которая должна обеспечить питание усадки отливки, а также на взаим-

ное расположение отливок в блоке и отливок относительно элементов литниково-питающей системы. При неправильном расположении отдельные части отливок, близко расположенные друг к другу, могут создавать тепловой узел, приводящий к замедленному затвердеванию этих частей, образованию в них дефектов.

1.6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ФОРМ ПО ПОСТОЯННЫМ МОДЕЛЯМ И КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ.

Способ основан на способности раствора гидролизованного этилсиликата (кислая среда) огеливаться в присутствии щелочей (основная среда). Длительность огеливания зависит от концентрации щелочи, введенной в раствор, и составляет 1...10 мин. Щелочи меньшей концентрации используют при изготовлении мелких отливок, а большей — крупных отливок (рис. 1.27). Обычно этим способом изготавливают формы мелких отливок, а при производстве крупных отливок им получают только облицовочный слой формы. Облицовочная смесь содержит следующие компоненты: огнеупорную основу, связующий раствор и огеливатель.

Огнеупорная основа смеси обычно состоит из 25 частей (по массе) мелкого кварцевого песка и 75 частей пылевидного кварца. Связующее — гидролизированный раствор ЭТС 40 или ЭТС 50. Обычно для гидролиза ЭТС применяют компоненты в следующих соотношениях: 36...50 частей (по массе) ЭТС, 36...40 частей ацетона, 10...27 частей воды и 0,01...0,02 частей соляной кислоты плотностью 1,19 г/см³, огеливателем служит 15 %-ный водный раствор NaOH из расчета 2 % (по объему) связующего раствора.

Огнеупорная основа и связующее принимают в соотношении 3,5:1 частей по массе.

Облицовочную смесь приготавливают в лопастных и шнековых смесителях.

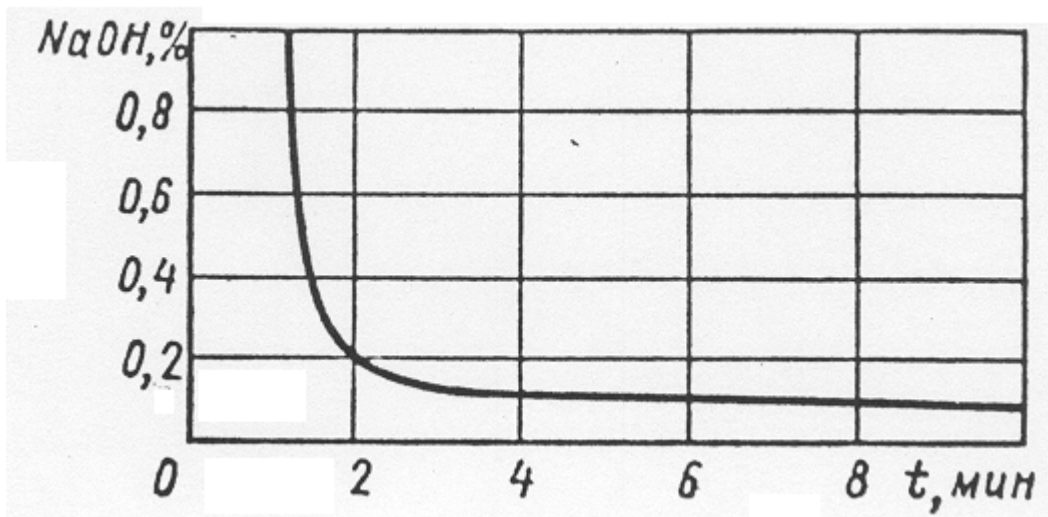


Рис. 1.27. Зависимость длительности огеливания от концентрации щелочи.

Процесс изготовления двухслойной формы (рис. 1.28) осуществляют следующим образом. На плиту (рис. 1.28, а) помещают модельный комплект, состоящий из вспомогательной модели 1 и модели отливки 2. Поверхность вспомогательной модели покрывают тонким слоем разделительного покрытия, после чего устанавливают опоку 3 и заливают в нее жидкую самотвердеющую смесь 4 (ЖСС) обычного состава или смесь на основе шамота с жидким стеклом в качестве связующего (рис. 1.28, б). После твердения этой смеси форму поворачивают на 180° , извлекают вспомогательную модель 1, устанавливают на плиту модель отливки 2 и форму с наполнительным слоем и заливают в пространство между моделью и наполнительным слоем облицовочную смесь-суспензию 5 (рис. 1.28, в). Через несколько минут, вследствие процесса гелеобразования, суспензия переходит в студнеобразное состояние. После этого модель отливки извлекают из формы. С поверхности формы испаряется растворитель, пары которого поджигают. Пары растворителя сгорают, поверхность формы прогревается, отвердевает и на ней появляется сетка мелких трещин (рис. 1.28, г).

Микротрещины повышают газопроницаемость и податливость формы и мало влияют на шероховатость поверхности отливок. После выгорания растворителя форму прокаливают при $\sim 700^\circ\text{C}$, собирают (рис. 1.28, д) и заливают. Отливки имеют размеры высокой точности, поверхность их малой шероховатости. Припуски на обработку резанием могут быть минимальными. Особенно эффективно использование этого способа для изготовления технологической оснастки из труднообрабатываемых сталей — вставок штампов, инструментов, элементов кокилей, пресс-форм и т. д. [13]

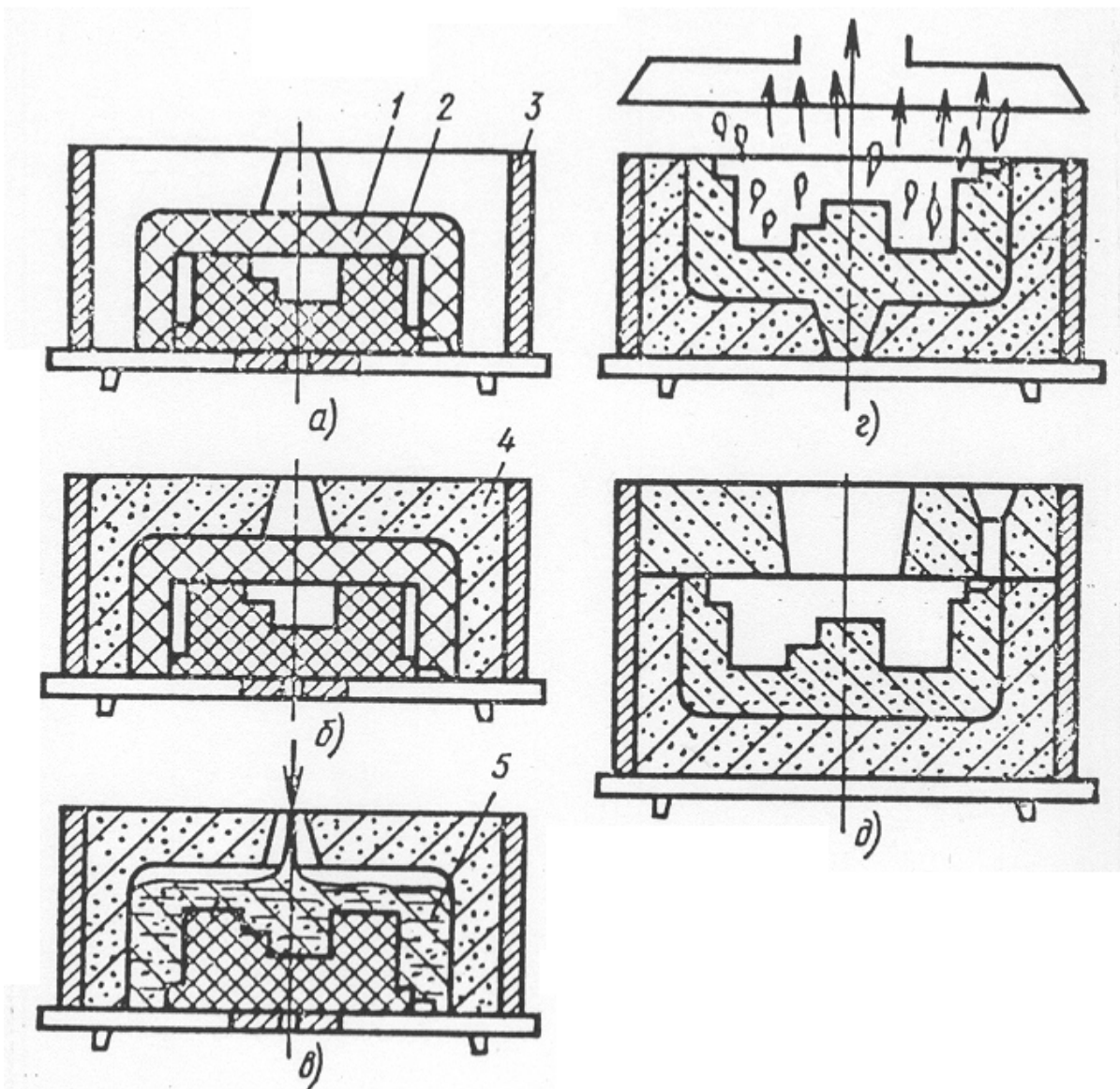


Рис. 1.28. Последовательность изготовления объемной керамической формы: а – установка модельного комплекта; б – заливка наполнительного слоя формы (ЖСС); в – заливка облицовочного слоя из огнеупорной суспензии; г – удаление растворителя; д – собранная и готовая к заливке форма; 1 – вспомогательная модель; 2 – модель оливки; 3 – опока; 4 – наполнительный слой формы (ЖСС); 5 – облицовочный слой (ЭТС).

Изготовление керамических стержней. Узкие протяженные полости сложной конфигурации в отливках, к которым предъявляются высокие требования точности размеров и геометрии, получают с помощью керамических стержней — с неорганическими связующими или без них. Керамические стержни должны обладать высокой (до 10 МПа и более) прочностью при изгибе, должны быть негызотворны, что вызвано условиями их взаимодействия с расплавом при заливке формы (рис. 1.29).

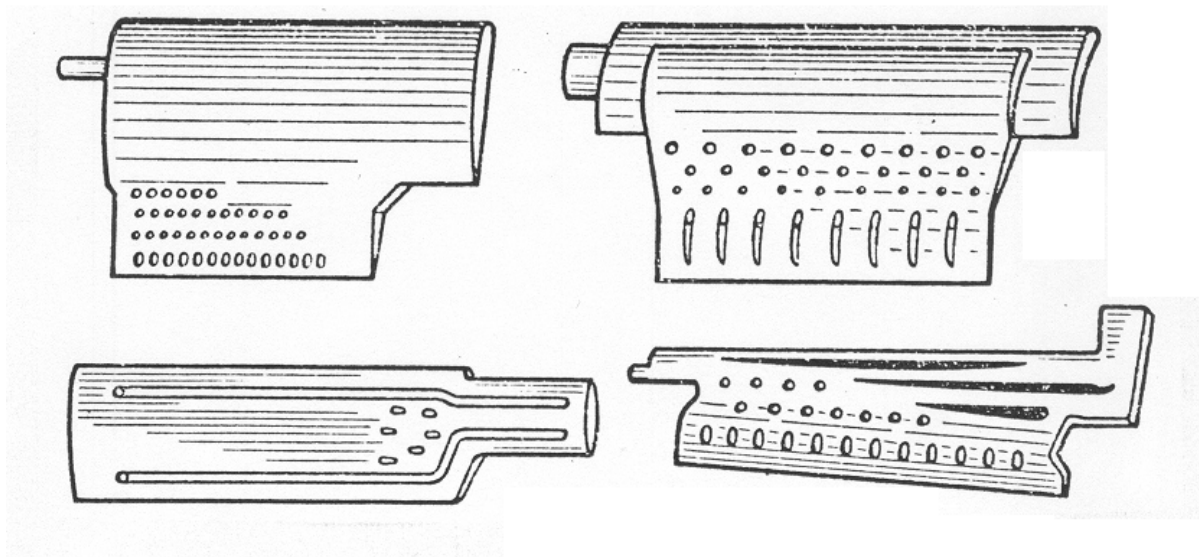


Рис. 1.29. Керамические стержни.

Разработаны и применяются два способа изготовления керамических стержней: химического упрочнения золь кремнекислот (способ «огеливания») и спекания керамики (в присутствии жидкой фазы и без нее) при температурах $0,7...0,8 T_{пл}$.

Способ «огеливания». Стержневая смесь состоит из огнеупорной основы — кварцевых песков, электрокорунда, а также связующего и огеливателя. Для снижения шероховатости поверхности обычно используют двухфракционный состав огнеупорной основы — пылевидную и зернистую составляющие. В качестве связующего применяют гидролизированный раствор ЭТС, огеливатели—водные растворы NaOH. Пример состава смеси: огнеупорная основа — пылевидный кварц 75 частей (по массе) и песок кварцевый 25 частей; связующее — гидролизированный раствор ЭТС; огеливатель 12 %-ный водный раствор NaOH. Соотношение составляющих (по массе): огнеупорная основа 100%, связующее 25...33% массы огнеупорной основы; огеливатель 8...9 мл на 1 кг связующего раствора.

Смесь запрессовывают в металлический стержневой ящик под давлением 5...7 МПа. В результате взаимодействия между кислым связующим раствором ($pH < 7$) и щелочными огеливателями ($pH > 7$) смесь переходит в эластичное, а затем в твердое состояние из-за огеливания связующего. Состояние эластичности смесь приобретает через 1...2 мин, после чего снимают верхнюю часть ящика. Это способствует интенсивному испарению растворителя с поверхности стержня. Вследствие уменьшения объема жидкой фазы при переходе в твердое состояние в стержне образуется сетка трещин.

Уменьшить количество и размеры трещин можно поджиганием паров спирта или путем помещения стержня в вакуумную камеру. Процесс образования сетки трещин, с одной стороны, оказывает положительное влияние, увеличивая газопроницаемость стержня, а с другой — отрицательное, так как прочность стержня понижается и не достигает 10 МПа при испытании на изгиб. Прочность можно повысить, поместив стержень в процессе твердения в автоклав под давлением до 0,5 МПа или применив способ спекания.

Способ спекания. Смесь для спекания без жидкой фазы состоит из огнеупорной основы — кварца, корунда и пластификатора — парафина (14...16 мас.%). Парафин расплавляют, вводят в огнеупорную основу и смесь тщательно перемешивают. Затем разогревают смесь до температуры 80...100 °С и запрессовывают полученную пастообразную смесь в металлическую пресс-форму. После охлаждения в пресс-форме стержень извлекают, помещают в печь, используя в качестве опоры подсыпку из прокаленного при 1200 °С глинозема, абсорбирующего углеводороды. При нагреве печи и выдержке ($T=180...200$ °С, $t=2...6$ ч) происходит испарение пластификатора, что сопровождается значительной усадкой стержня (8...10% линейной усадки). Далее продолжают нагрев стержня, доводят его до $T=1000...1300$ °С и выдерживают при этой температуре несколько часов, в зависимости от материала, размеров и толщины стенки стержней. После охлаждения печи стержни извлекают и передают на участок изготовления моделей. Для снижения температуры спекания в стержневую смесь вводят «плавни»: в корундовые — Na_2SiO_3 ($T_{\text{пл}}=700$ °С), в кварцевые — основные окислы СаО, MgO. Стержни, спеченные без жидкой фазы, не разупрочняются при заливке и их можно изготавливать очень тонкими; а спеченные в присутствии жидкой фазы должны иметь большую толщину стенки.

Готовый стержень устанавливают в пресс-форму для изготовления моделей, затем запрессовывают или заливают модельный состав. После изготовления оболочки формы и выплавления модели стержень остается в форме, зафиксированный стержневыми знаками.

1.7. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Качество отливок и эффективность производства при литье по выплавляемым моделям зависят от стабильности технологических режимов на всех основных операциях этого многооперационного процесса. Например, отклонения в соотношении компонентов модельного состава или температуры его запрессовки в пресс-формы могут привести к браку моделей по усадке; нарушения режимов гидролиза этилсиликата и изменение вязкости суспензии — к браку оболочковых форм; отклонения режимов прокаливания от заданных — к браку форм и отливок и т. д.

Вместе с тем для многих операций технологического процесса требуется выполнение сложных манипуляций (изготовление моделей, сборка их в блоки, формовка и т. д.). Причем выполнение многих операций связано с тяжелыми условиями труда. Поэтому автоматизация технологического процесса изготовления отливок в оболочковых формах решает следующие основные задачи: повышение качества отливок и производительности труда путем стабилизации режимов технологического процесса на всех его операциях; освобождение людей от трудоемких, монотонных работ и улучшение условий их труда.

В зависимости от характера производства (единичное, серийное, массовое), номенклатуры отливок и предъявляемых к ним требований проблема автоматизации производства отливок в оболочковых формах решается различно.

В массовом производстве отливок из углеродистых и низколегированных сталей используют автоматизированные линии, выполняющие следующие операции: приготовление модельных составов, изготовление моделей; приготовление суспензии; изготовление оболочковых форм; обжиг форм, заливка их расплавом, охлаждение отливок; предварительная очистка отливок от остатков формы и отделение их от литников; окончательная очистка отливок и термическая обработка отливок. Такие линии позволяют комплексно автоматизировать производство отливок.

В серийном производстве осуществляется автоматизация выполнения отдельных операций, таких, как изготовление моделей или звеньев модельных блоков, приготовление суспензии, изготовление оболочковых форм, их прокаливание и т. д. Для автоматизации этих отдельных операций используют унифицированные агрегаты, которые в зависимости от размеров моделей и годовой производительности участка, цеха составляют комплекты технологического оборудования. Однако ряд операций выполняют вручную, например сборку моделей в блоки пайкой и т. д.

Автоматизированные линии для массового производства и комплекты технологического оборудования для серийного и мелкосерийного производства имеют в своем составе многие виды однотипного оборудования. Это, например, установки для приготовления пастообразного модельного состава (см. рис. 1.5), карусельные автоматы для изготовления моделей (рис. 1.30). Пресс-формы с вертикальным разъемом установлены на столе *1*, который вращается с помощью электродвигателя, редуктора и мальтийского креста. Поворот стола от одной позиции на другую происходит через 10...20 с, что регулируется сменой шестерен привода. Разборка и сборка пресс-форм производится пневмоцилиндрами *2*, вращающимися вместе со столом, и пресс-формами *3*. На позиции *1* модельный состав шприцем *4* запрессовывается в пресс-форму и затем на позициях *II—VII* модели охлаждаются в пресс-форме. На позиции *VIII* пресс-формы раскрываются, модели *7* выталкиваются из пресс-формы и падают на водяной конвейер *8*. На позиции *IX* рабочая полость пресс-формы очищается и смазывается.

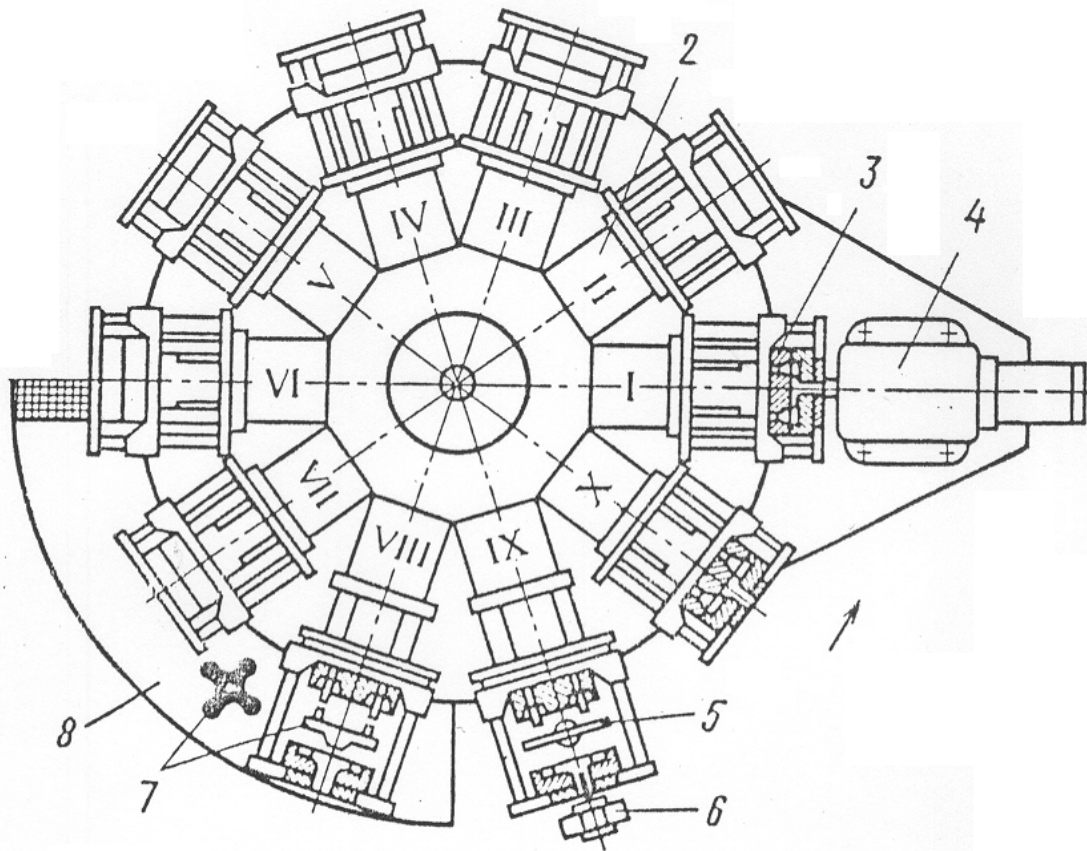
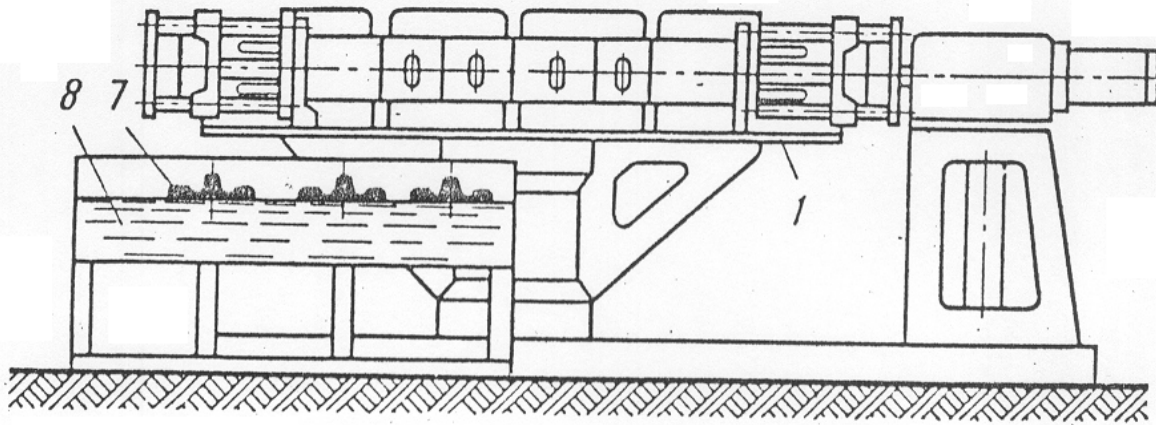


Рис. 1.30. Схема карусельного автомата для изготовления выплавляемых моделей: I – позиция запрессовки модельного состава; II...VII – охлаждение моделей в пресс-формах; VIII – позиция раскрытия пресс-форм и выталкивания моделей; IX – очистка и смазывание пресс-формы; X – закрытие пресс-формы; 1 - стол машины; 2 – пневмоцилиндр привода стола; 3 – пресс-форма; 4 – шприц; 5 – кронштейн с блоком форсунок; 6 - пневмоцилиндр привода иглы для очистки литникового канала пресс-формы; 7 – модель; 8 – водяной конвейер.

Литниковый канал в пресс-форме прочищается иглой, приводимой в движение пневмоцилиндром 6. На кронштейне 5 расположена форсунка для обдува пресс-формы сжатым воздухом и нанесения смазочного материала. При движении стола 1 кронштейн находится в нижнем положении, при остановке он откидывается вверх и располагается между матрицами пресс-формы. На позиции X пресс-форма закрывается.

В массовом производстве суспензию готовят в автоматизированных установках (см. рис. 1.20).

Для нанесения суспензии на блоки моделей и обсыпки их песком используют установки, схема которых приведена на рис. 1.31. Готовая суспензия поступает в бак 10 оснащенный мешалкой 9. Суспензия по трубопроводу 2 подается в ванну 8 с датчиком уровня 7. Блоки 7, подвешенные на конвейере 3, отклоняясь по копиру 5, направляются в ванну 8 с суспензией, поворачиваются вокруг своей продольной оси, что способствует равномерному нанесению суспензии. Затем блок на подвеске 4 перемещается в пескосып 6 с кипящим слоем песка, где и производится обсыпка блока. Далее блоки направляются в камеру воздушно-аммиачной сушки.

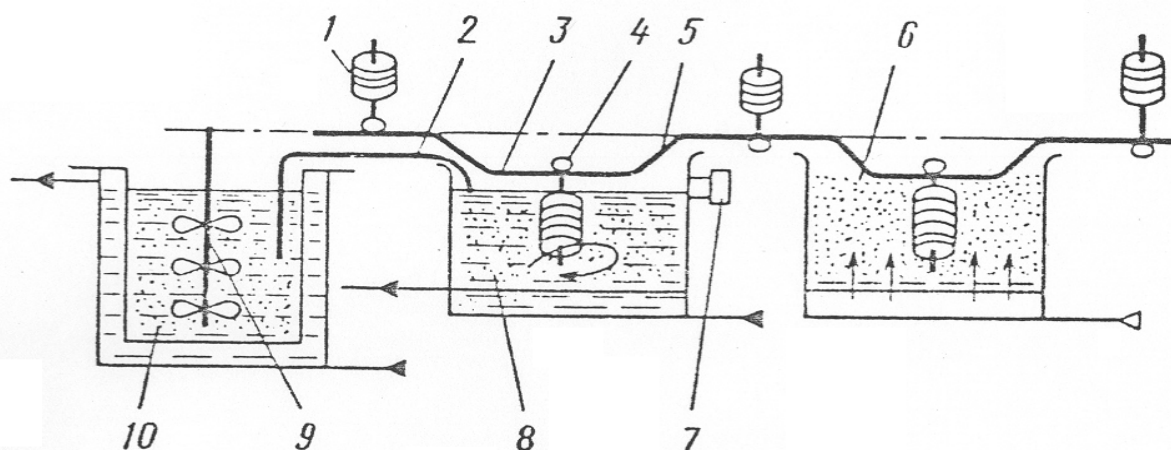


Рис. 1.31. Схема агрегата для нанесения суспензии на блоки моделей и обсыпки их песком: 1 – блоки моделей; 2 – трубопровод для подачи огнеупорной суспензии; 3 – конвейер; 4 – подвеска; 5 – копир; 6 – пескосып; 7 – датчик уровня; 8 – ванна с суспензией; 9 – мешалка; 10 – бак с огнеупорной суспензией.

В автоматизированных линиях для массового производства отливок используют автоматические системы машин, например для прокаливания, формовки, заливки форм, выбивки, охлаждения отливок.

В таких агрегатах технологические установки объединены транспортным устройством в единую систему. Например, агрегат для формовки и заливки (рис. 1.32) состоит из газовой печи 1 прокаливания форм, заливочной карусели 3 со звездочками 4 и камеры охлаждения 6, объединенных конвейером 9.

Формы устанавливаются на подвески конвейера 9, литниковую воронку закрывают колпачком, который предохраняет полость формы от засоров песком при формовке на подвеске. Конвейер транспортирует подвески с оболочковыми формами через печь прокаливания. Прокаленные формы после выхода из печи формуют в опорный (горячий) материал на карусели. Опускание подвесок выполняется пневматическим цилиндром. На участке формовки блоков в карусели с помощью неподвижно установленных труб 2 с отверстиями создается зона кипящего слоя песка. После заливки форм и затвердевания отливок блок на подвеске извлекается «лифтом» 5 из карусели 3 и транспортируется в камеру охлаждения 6. Блоки отливок охлаждаются распыленной водой. Обломки оболочковой формы, отделившиеся от блока 7 отливок, падают на конвейер 8 и направляются на регенерацию. Производительность агрегата 90 блоков/ч. Скорость конвейера 0,6 м/мин. Шаг подвесок 400 мм. Длительность прокаливания 24 мин.

Структура агрегата обеспечивает его высокую производительность. Но при использовании оболочковых форм из кварцевых материалов значителен брак отливок из-за трещин в формах, засоров при формовке. Неполная синхронизация работы агрегата и плавильных печей приводит к тому, что металл заливается в формы, имеющие различную температуру. Температура песка в карусели 450...550 °С, вследствие чего возникает брак по недоливу тонкостенных отливок.

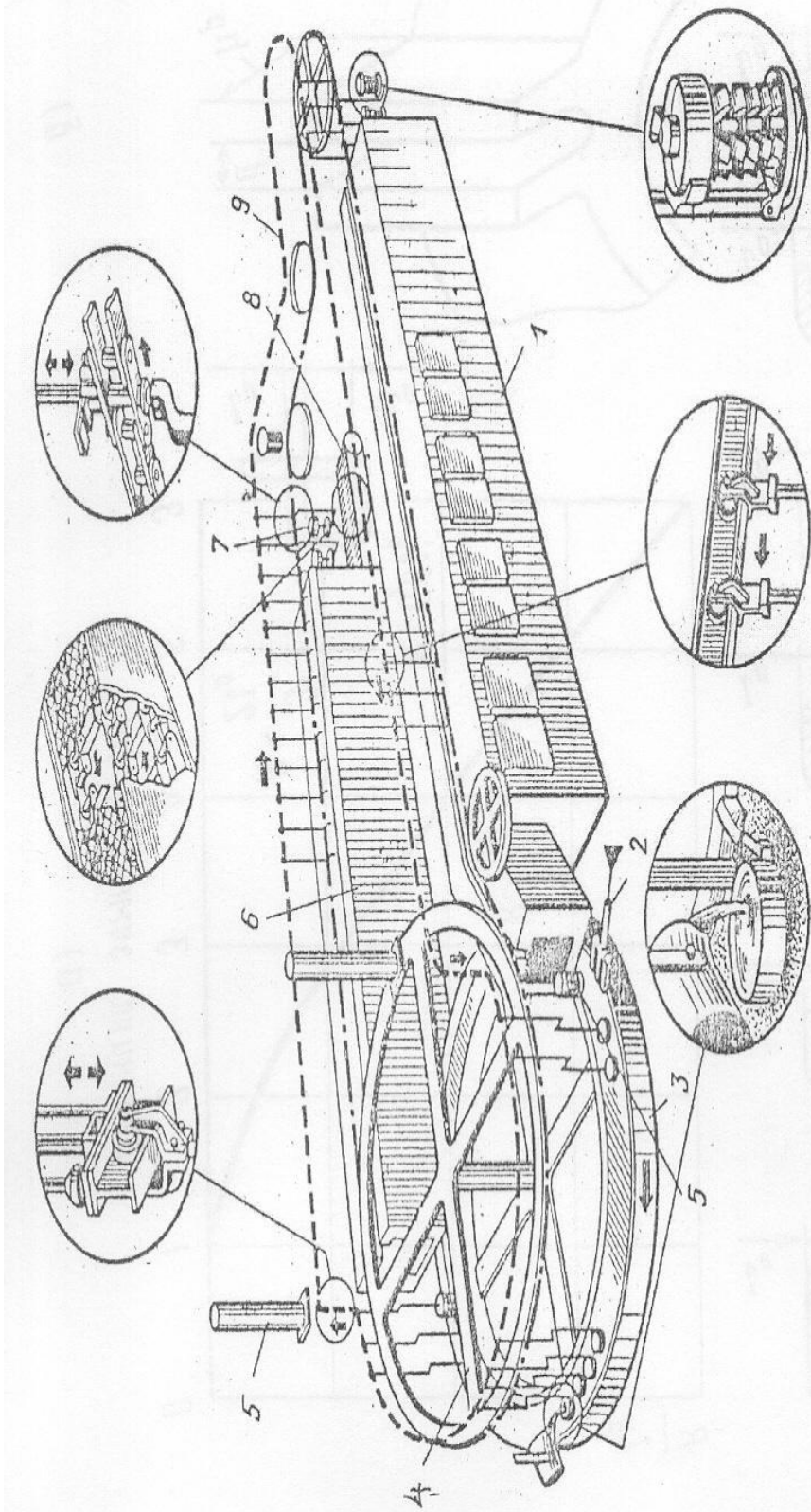


Рис. 1.32 Схема агрегата для прокаливания, формовки, заливки и выбивки оболочковых форм: 1 – газовая печь; 2 – трубы для создания зоны кипящего слоя песка; 3 – заливочная карусель; 4 – звездочка привода цепного конвейера; 5 – пневматические устройства для спуска оболочковых форм в опорный материал в зоне кипящего слоя и извлечения блока затвердевших отливок; 6 – охлаждательная камера; 7 – блок отливок на позиции очистки от остатков керамики; 8 – конвейер для удаления остатков керамики; 9 – конвейер.

Рассмотренные выше автоматизированные агрегаты и комплекты оборудования предназначены для изготовления отливок массой до 1,5 кг в массовом и серийном производстве. При изготовлении средних и крупных отливок в мелкосерийном производстве для нанесения суспензии, обсыпочно́го материала на модели, удаления моделей из оболочек используют манипуляторы. Эти устройства позволяют устранить тяжелый ручной труд, связанный с транспортировкой, манипуляциями с тяжелыми блоками моделей, формами.

Гибкие производственные системы ЛВМ

Повысить степень автоматизации в единичном и серийном производстве отливок возможно применением концепции ГПС. Известный на сегодня принцип создания ГПС – компоновка гибких комплексов из отдельных модулей. В малооперационных процессах литья в металлические формы комплекс составляется из однотипных модулей на базе однотипного технологического агрегата.

Структурная схема процесса ЛВМ, включающая последовательно: изготовление моделей, форм, отливок, финишные и контрольные операции предопределяет создание комплекса ГПС ЛВМ из модулей различного, функционального назначения.

Такая схема (рис. 1.33) допускает структурную гибкость: можно компоновать поточную линию из наиболее приемлемых для конкретных условий модулей. При разработке ГПС ЛВМ требуется обеспечить межмодульные совместимости: технологическую, конструктивную, информационную.

Особенностью построения поточной линии ЛВМ является невозможность устранения какого-либо отдельного модуля или их перестановки. Критерием выбора рациональной конструкции модуля может служить ряд параметров: габаритный размер отливки, толщина стенок, вид сплава, тип производства отливок, свойства формовочных материалов.

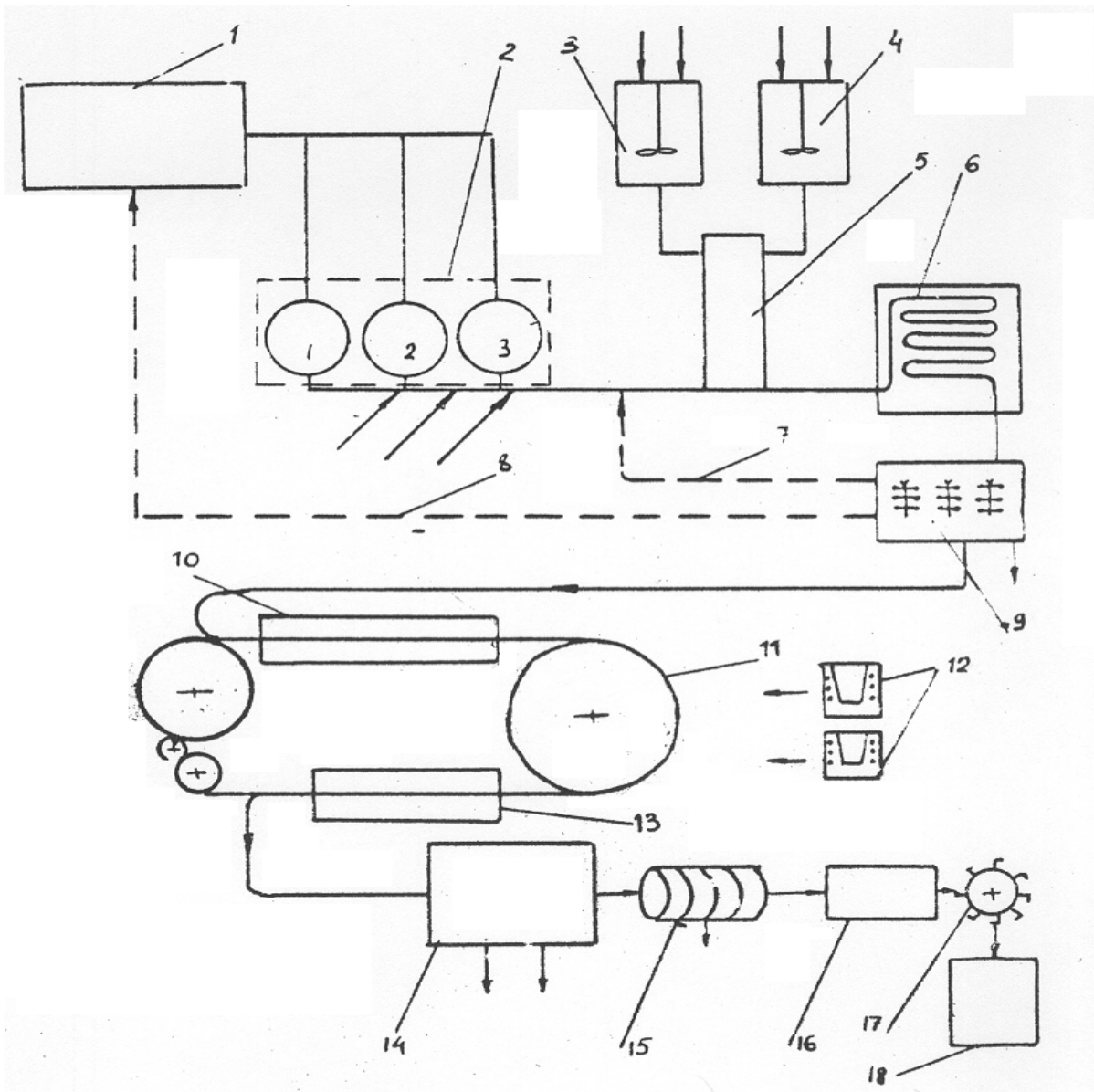


Рис.

1.33. Блок – линия для литья по выплавляемым моделям: 1 – агрегат для приготовления модельного состава; 2 – блок автоматов для изготовления модельных звеньев; 3, 4 – гидрокамеры с огнеупорной суспензией; 5 – позиция нанесения покрытия и обсыпка; 6 – сушильная камера; 7 – возврат стояков; 8 – возврат жидкого модельного состава; 9 – камера для выплавления модельного состава; 10 – газовая печь; 11 – заливочная карусель; 12 – плавильные печи; 13 – охлаждающая камера; 14 – агрегат для виброочистки отливок и отделения отливок от стояков; 15 – барабан для выщелачивания остатков керамики; 16 – печь для термообработки отливок в защитной среде; 17 – полуавтомат для зачистки отливок; 18 – сортировка и складирование отливок.

1.8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Исходными данными при проектировании технологического процесса изготовления отливки являются программа ее выпуска, чертеж детали, технические условия, обуславливающие требования к ее качеству, а также особые условия, определяемые чаще всего социальными задачами развития производства в цехе, на предприятии, в отрасли народного хозяйства.

Проектирование технологического процесса начинают с анализа технологичности конструкции отливки, возможности и целесообразности ее изготовления тем или иным способом литья.

Анализ технологичности конструкции отливки заключается в установлении ее соответствия требованиям литейной технологии с учетом последующей технологии обработки резанием и сборки.

На этом этапе изучают чертеж детали, технические условия, определяющие требования к показателям ее качества, а также особые условия производства.

Сплавы и металлы для изготовления отливок в оболочковых формах могут быть самыми различными, наиболее эффективно литье в оболочковые формы по выплавляемым моделям труднообрабатываемых резанием сплавов, сплавов с особыми свойствами и структурой. Однако максимальное приближение конфигурации отливки к готовой детали, малые припуски на обработку резанием делают эффективным литье в оболочковые формы по выплавляемым моделям для углеродистых и легированных сталей, медных и алюминиевых сплавов, чугуна.

Габаритные размеры и масса отливок. Литьем в оболочковые формы по выплавляемым моделям изготавливают отливки массой от нескольких граммов до 300 кг. По размерам отливки могут быть от нескольких миллиметров до 1,0 м. Отливки могут быть получены с минимальной толщиной стенок - 0,6 мм, если протяженность этой стенки не превышает 5...6 мм, с толщиной 0,7 мм при протяженности 10 мм. Наиболее часто толщина стенок отливок составляет 2...5 мм, а их протяженность—20...100 мм и более. Плоские тонкие стенки могут быть получены в отливке лишь при определенной площади. Плоские и тонкие стенки большой площади не заполняются, или искажается плоскость вследствие деформаций формы. В этом случае вместо плоской стенки целесообразно выполнять искривленную стенку или пре-

дусматривать отверстия в плоской стенке. Последний прием одновременно обеспечивает жесткость оболочковой формы. Трудно выполнить небольшие отверстия в местах отливки, в которых сосредоточена большая масса металла (массивная стенка), глухие отверстия, а также, некруглые отверстия.

Минимальные отверстия диаметром 0,5 мм можно получить в стенках толщиной 1 мм в отливках из цветных сплавов; в отливках из стали минимальный диаметр отверстия 1,5 мм можно выполнить в стенке толщиной примерно 1,5 мм.

Можно изготовить отливки со значительно различающимися по толщине стенками, т. е. когда тонкая стенка примыкает к более массивной. Соотношение толщины стенок допускается не более 1:4. Отливки могут иметь массивные узлы, но при этом необходимо продумывать возможность питания этих узлов при затвердевании. Для этого массивный узел присоединяют через питатель к стояку (при изготовлении мелких и средних по массе отливок) или используют прибыли (в крупных отливках). Направленное затвердевание крупных отливок часто обеспечивается технологическими напусками, которые назначает технолог при разработке технологического процесса.

При проектировании пресс-форм следует иметь в виду, что модель из пресс-формы должна извлекаться без разрушения. Поэтому на стенках пресс-форм необходимо назначать уклоны. Если вертикальные стенки отливок обрабатываются, уклоны следует назначать всегда в «плюс»; такие же уклоны должны быть предусмотрены на тонкостенных отливках с толщиной стенок менее 5 мм. При большей толщине стенок (5...10 мм) уклоны должны быть назначены в «плюс-минус», на отливках с толщиной стенок более 10 мм — только в «минус». Величина уклонов зависит от материала пресс-формы. В отдельных случаях, когда требуется получать в отливке необрабатываемые полости, уклоны не назначаются.

Сопряжения стенок встречаются в отливках в различных вариантах — сопряжения двух, трех, четырех стенок — под различными углами. Всегда необходимо обеспечивать плавность перехода от одной стенки к другой, назначать радиусы округлений, галтели; пользоваться при этом следует рядом предпочтительных значений радиусов: 1,2, 3, 5, 8, 10 мм и т. д.

Радиус галтели внутреннего угла, образованного двумя стенками отливки, $R=(l_0+l_1)/3$, где l_0, l_1 —толщины сопрягаемых стенок отливки; 3 — величина замкнутости, определяется по графику (рис. 1.34, а).

Если в отливке сопряжены три стенки, то радиусы скруглений определяются аналогично предыдущему случаю. Сопряжения четырех стенок необходимо рассредоточивать, чтобы не создавать тепловых узлов.

Пазы и полости в отливках желательно применять реже, так как для их оформления в модели необходимо в конструкции пресс-формы предусматривать дополнительные стержни. Ширина паза (рис. 1.34, б) может быть получена при $h_p \leq 2d$ (для цветных сплавов $d \geq 1$ мм, для стали $d \geq 2,5$ мм). Для обеспечения жесткости и устойчивости формы в месте расположения полостей последние необходимо заменять сквозными отверстиями. Это облегчает и очистку отливок от остатков формы.

Бобышки упрочняют стенку в местах расположения отверстия под крепежные элементы. Высоту бобышек следует назначать в зависимости от диаметра отверстия или толщины стенки $h_p = 4 \dots 6d$ или $h_p \geq 2,5l_0$, где h_p —высота стенки вместе с бобышкой; d — диаметр отверстия; l_0 — толщина стенки. Бобышки располагают на внешних поверхностях отливок; это не усложняет конструкцию пресс-форм.

Таким образом, в результате анализа технологичности конструкции детали технолог оценивает принципиальную возможность изготовления отливки по выплавляемым моделям и определяет, какие изменения необходимо внести в конструкцию детали для повышения уровня ее технологичности. Предложения технолога должны быть согласованы с конструктором детали.

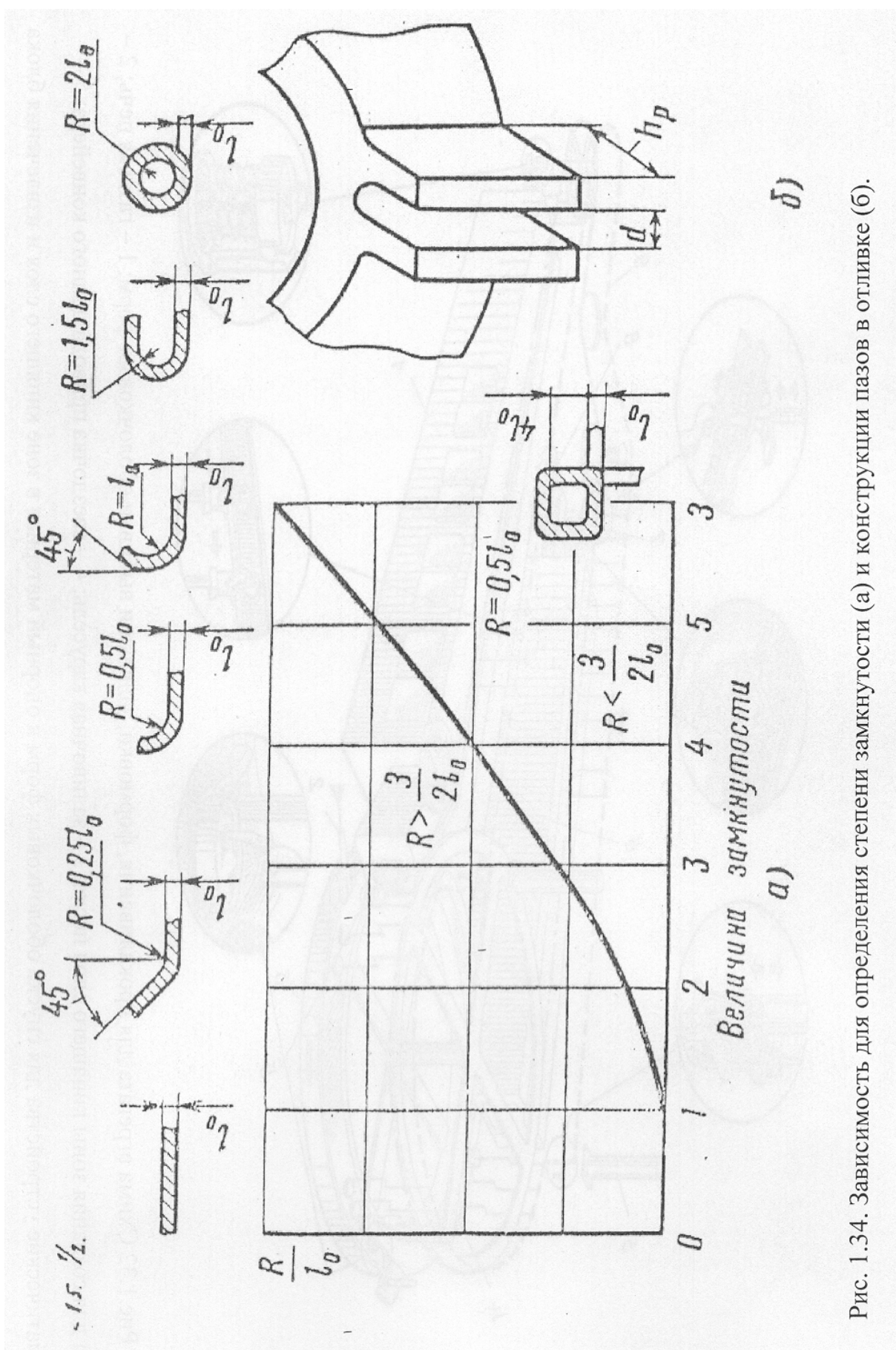


Рис. 1.34. Зависимость для определения степени замкнутости (а) и конструкции пазов в отливке (б).

Разработка чертежа отливки включает выбор положения отливки при заливке, места подвода расплава и конструкции литниково-питающей системы, назначение припусков на обработку резанием, уклонов, допусков на размеры согласно существующим нормативам и рекомендациям.

Назначение поверхности разъема. Обычно разъемной выполняется только пресс-форма. Поэтому вопрос о назначении поверхности (плоскости) разъема решается совместно с проработкой конструкции пресс-формы. Выбор поверхности разъема должен обеспечивать удобство извлечения модели из формообразующей полости, минимальное количество стержней (подвижных и неподвижных). Экономичнее вариант, когда в пресс-форме используют только неподвижные стержни, а также плоскую поверхность разъема.

Припуски на обработку резанием. Припуски назначают в зависимости от требований к точности отливки и от ее размеров в соответствии с действующими стандартами и нормативами. Обычно припуски находятся в пределах 0,5...3 мм. Припуски на обработку резанием изображают тонкой сплошной линией.

Выбор места подвода расплава. Этот вопрос должен решаться технологами одновременно с выбором типа литниково-питающей системы (ЛПС). Например, для отливок массой до 1,5 кг целесообразно назначать I тип ЛПС, особенно в тех случаях, когда отливки имеют отдельные массивные узлы. Питатель должен подводиться к массивным местам отливки, так как питание осуществляется от центрально расположенного стояка. Для особо тонкостенных отливок, отливок из тугоплавких сплавов обычно требуется конструировать разветвленную систему литниковых каналов для надежного заполнения формы. Но при этом необходимо соблюдать направленность заполнения полости формы, не создавать в форме замкнутых воздушных объемов.

Главное при разработке ЛПС — обеспечить последовательное заполнение формы расплавом и направленное затвердевание и питание отливки при усадке.

Определение размеров полостей пресс-форм проводят приближенным методом. Это объясняется значительной нестабильностью величины усадки модельного состава, деформациями при прокаливании формы, нестабильностью усадки залитого металла. Суммарная величина усадки меньше вследствие расширения оболочковой формы при нагреве.

Суммарная усадка (модельный состав и металл) для расчета размеров полости пресс-формы (с учетом расширения формы при нагреве) для различных материалов отливки, %:

сталь: углеродистая - 1,25...1,6; легированная - 1...2;

чугун: серый - 0,5...0,65; ковкий - 0,95...1,1;

алюминиевые сплавы - 1...1,3;

латуни - 0,95...1,25;

бронзы: оловянистая - 0,75...1,0; алюминиевая - 1,45...1,55.

Традиционно исполнительные размеры полости пресс-формы подсчитывают по приближенным формулам:

для наружных (охватываемых) размеров отливки

$$D_{\text{п}} = D_0 + D_0 y_{\text{общ}} / 100 - 0,5 \delta_0 = D_0 (1 + y_{\text{общ}} / 100) - 0,5 \delta_0;$$

для внутренних (охватывающих) размеров отливки

$$D_{\text{п}} = D_0 (1 + y_{\text{общ}} / 100) + 0,5 \delta_0,$$

где $D_{\text{п}}$ — номинальный размер формообразующей полости пресс-формы, мм; D_0 — номинальный размер отливки, мм; δ_0 — допуск на размер отливки, мм; $y_{\text{общ}}$ — суммарная линейная усадка, %;

$$y_{\text{общ}} = y_{\text{м}} + y_0 - y_{\text{ф}},$$

$y_{\text{м}}$ — свободная линейная усадка модели, %; $y_{\text{ф}}$ — относительное расширение формы при нагреве (прокаливании) перед заливкой, %; y_0 — свободная линейная усадка металла, %.

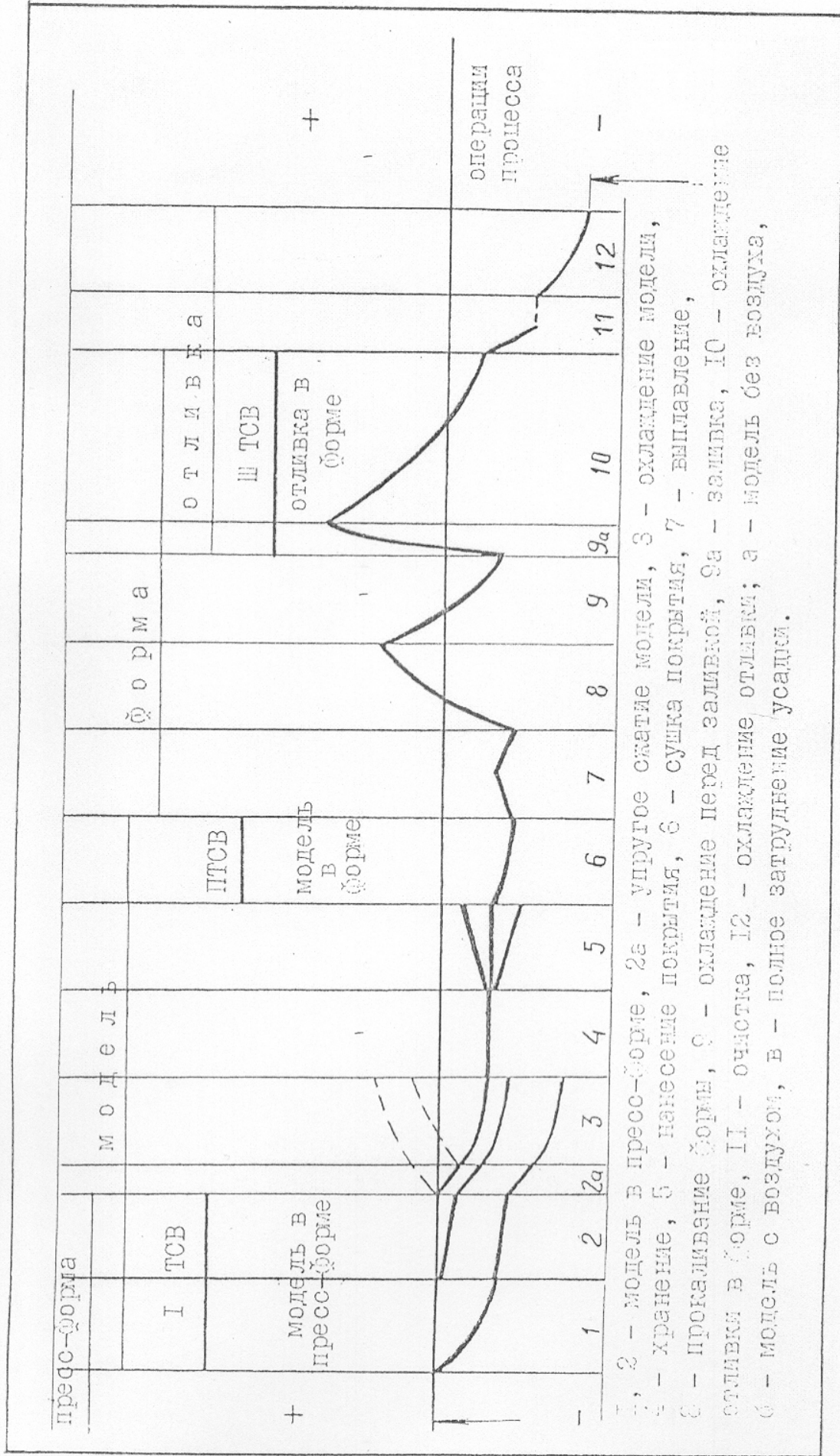
В этих формулах не учтено, что и модель, и отливка в отдельных своих местах испытывают затрудненную усадку по причине силового взаимодействия соответственно с пресс-формой и оболочковой формой. Затрудненная усадка всегда меньше свободной. Не учтен эффект расширения формы в период заливки. Это расширение является функцией разности температур металла и формы при заливке и КТР материала формы.

Учет этих факторов при доводке размеров пресс-формы можно выполнять на основе специальных экспериментов. Точность размеров формообразующей полости пресс-формы следует назначать на 1...2 качества выше требуемой точности отливки. Допуск на размер в пресс-форме назначают обычно не более $0,2\delta_0$ на тот же размер отливки.

О формировании размеров отливок

Принципиальная схема формирования размеров отливок при литье по выплавляемым моделям приведена на рис. 1.35.

При наличии конкретных значений изменений размеров оснастки, моделей форм, отливок возможно обоснованное назначение исполнительных размеров оснастки, что позволяет сократить время выполнения доводочных операций, повысить точность размеров отливок. При этом необходимо иметь в виду, что в литейных технологиях дисперсия размеров, в отличие от обработки резанием, увеличивается.



1, 2 - модель в пресс-форме, 2a - упругое сжатие модели, 3 - охлаждение модели, 4 - хранение, 5 - нанесение покрытия, 6 - сушка покрытия, 7 - выплавление, 8 - прокачивание формы, 9 - охлаждение перед заливкой, 9a - заливка, 10 - охлаждение отливки в форме, 11 - очистка, 12 - охлаждение отливки; а - модель без воздуха, б - модель с воздухом, в - полное затверждение усадки.

Рис. 1.35. Схема формирования размеров отливок при литье по выплавляемым моделям.

Для обеспечения в производственных условиях заданного уровня качества отливок, из различных сплавов (алюминиевых, на медной основе, стали, титановых и др.), а также для сокращения времени технической подготовки производства целесообразно использовать разработанные в МГТУ пакеты прикладных программ “Выбор” и “Допуск”. Работа с ППП “Выбор” позволяет в кратчайшее время достоверно определить рациональную технологию литья деталей по конструкторскому чертежу отливки (схема организации решения приведена на рис. 1.36).

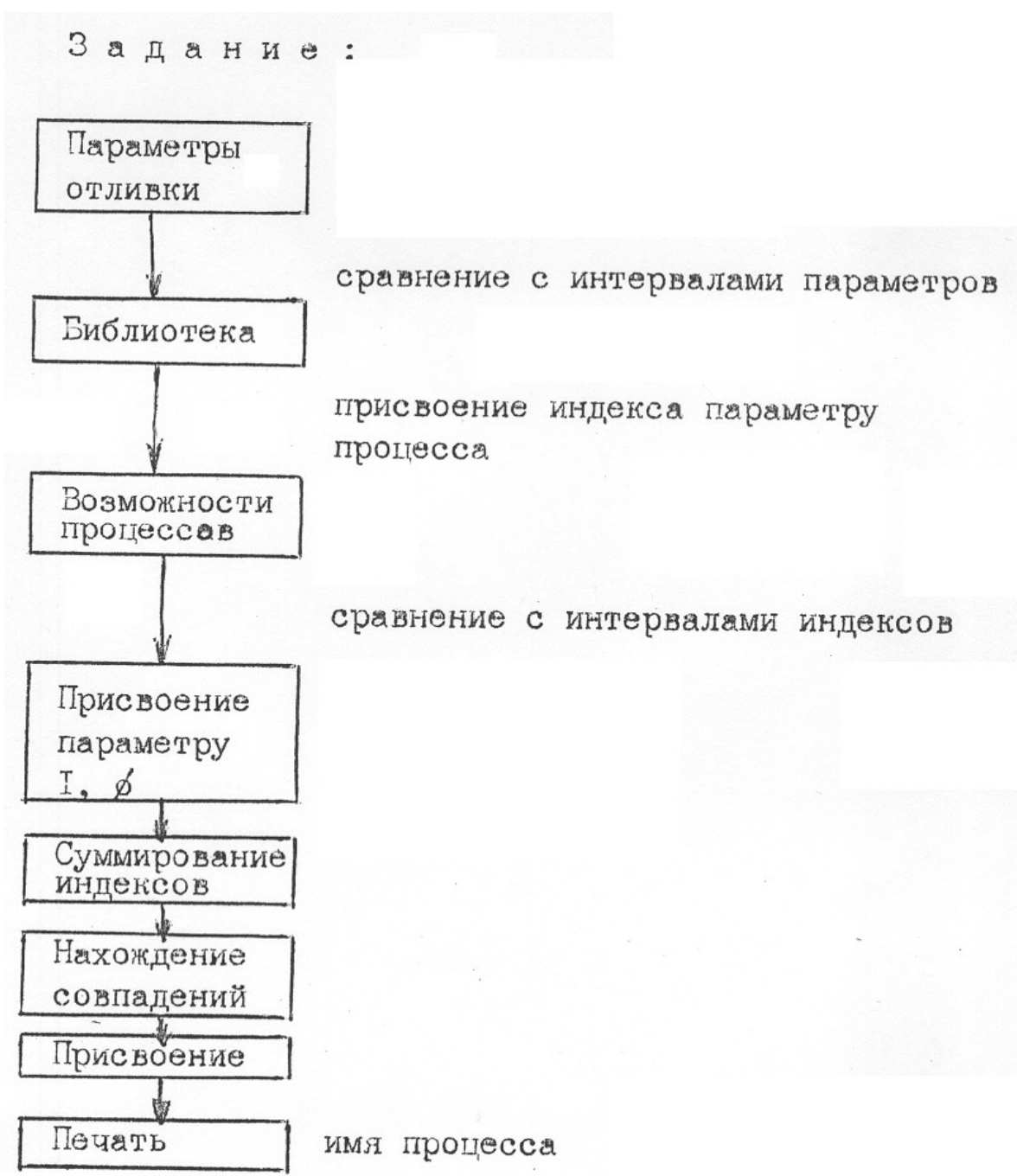


Рис. 1.36. Схема организации принятия решения по программе «WYBOR».

Шероховатость формообразующих поверхностей пресс-формы обычно должна быть $R_a=0,63 \dots 0,32$ мкм. Выполнение полости с меньшей шероховатостью не приводит к существенному снижению шероховатости поверхности отливки, но удорожает пресс-форму.

В зависимости от типа производства технолог должен выбрать горизонтальное (для единичного, серийного производства) или вертикальное (для массового производства) расположение разъема пресс-формы, а также соответствующее оборудование для изготовления моделей.

Литниково-питающая система (ЛПС) при литье в оболочковые формы предназначена для заполнения формы расплавом, питания затвердевающей отливки, а также часто является конструкцией, на которой монтируются модели.⁷

Поэтому при разработке конструкции ЛПС следует учитывать условия получения качественных отливок и необходимость обеспечения механической прочности элементов конструкции (например, питателя), а также технологичность блока на всех операциях процесса, при изготовлении модели, формообразовании, отрезке, отливке.

Типы литниково-питающих систем. Различают три типа ЛПС (рис. 1.37).

ЛПС I типа применяют при изготовлении отливок массой до 1,5 кг. Блок моделей можно собирать из отдельных звеньев (рис. 1.37, I, а), монтируемых на стояке. В этом случае стояк служит центральным элементом при сборке моделей и прибылью для питания отливок. При изготовлении тонкостенных отливок, модели которых могут деформироваться, стояк является опорным элементом (рис. 1.37, I, б, в, г). Сборку такого блока моделей осуществляют с помощью пайки. Расплав подводится в массивные узлы отливок. Литниковая система не имеет питающих элементов – прибылей, так как отливка питается от стояка; отсутствуют также элементы, регламентирующие скорость заливки и задерживающие шлак и окислы.

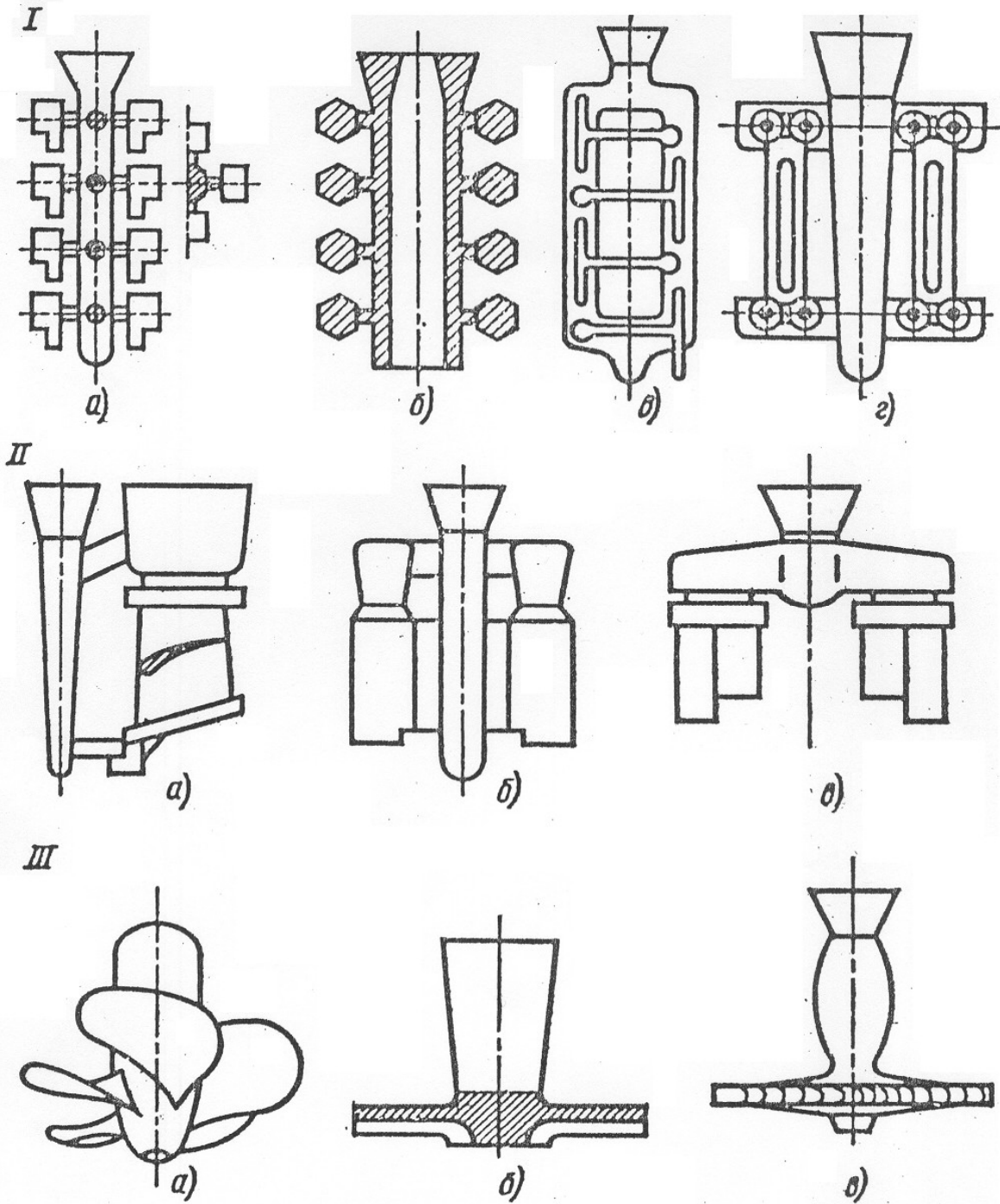


Рис. 1.37. Основные типы литниково-питающих систем: I – центральный стояк; I, а – для компактных отливок с одним тепловым узлом; I, в - полый стояк, компактные отливки с одним тепловым узлом; I, д – параллельные стояки, отливки типа плиты с распределенными тепловыми узлами; I, г – лучевые ярусные коллекторы, для отливок с несколькими тепловыми узлами; II – местная прибыль и коллектор; II, а – четырехместная при центральном расположении стояка; II, б – для отливок типа лопаток, с использованием вертикального щелевого питателя; II, в – местная прибыль и коллектор; III – верхняя прибыль; III, а – гребной винт; III, б – ротор; III, в – рабочее колесо газовой турбины.

ЛПС II типа (рис. 1.37, II, а...б) применяют для изготовления отливок сложной конфигурации и ответственного назначения, тонкостенных, а также средней и большой массы для отливок из легированных сталей. Литниковая система представляет собой стояк в сочетании с местными (рассредоточенными) прибылями. Такая литниковая система позволяет регулировать скорость заполнения формы с помощью суженного сечения.

ЛПС III типа (рис. 1.37, III, а...б) применяют для изготовления отливок типа крыльчаток, гребных винтов, имеющих тонкостенные элементы и массивную центральную часть, питаемую прибылью. Заливаются такие отливки через прибыль.

Расчет размеров элементов ЛПС для отливок, изготавливаемых в оболочковых формах по выплавляемым моделям, основаны на соблюдении принципа последовательного затвердевания.

На практике наибольшее применение получили два способа расчета: по модулю охлаждения (приведенным толщинам) и диаметрам вписанных сфер. Первый способ используют для ЛПС I типа, а второй для систем II и III типов. Оба способа основаны на обобщении и использовании экспериментальных и производственных данных.

Первый способ разработан М. Л. Хенкиным для ЛПС I типа.

Исходными данными для расчета являются модуль охлаждения массивного узла отливки (отношение его объема и площади поверхности) и ее масса.

Модуль охлаждения питателя (отношение площади поперечного сечения питателя к его периметру) определяют по эмпирической формуле

$$\delta_{\text{п}} = 2(\delta_0^3 G)^{1/4} l_{\text{п}}^{1/3} / \delta_{\text{ст}}, \quad (1.1)$$

где δ_0 – модуль охлаждения отливки или ее массивного узла, мм; G – масса отливки, г; $l_{\text{п}}$ – длина питателя, мм; $\delta_{\text{ст}} = 0,5r_{\text{ст}}$ – модуль охлаждения цилиндрического стояка, выраженный через его радиус.

Если известны размеры питателя, то определяют модуль охлаждения стояка

$$\delta_{\text{ст}} = 2(\delta_0^3 G)^{1/4} l_{\text{п}}^{1/3} / \delta_{\text{п}}, \quad (1.2)$$

В формулах (1.1) и (1.2) отражена зависимость между размерами элементов ЛПС и отливки.

Качественные отливки можно получить при условии

$$\delta_{ст} > \delta_{п} > \delta_0,$$

так как при этом обеспечивается направленное затвердевание расплава от отливки к стояку и, следовательно, ее питание.

По формуле (1.1) рассчитаны размеры ЛПС для большого числа стальных отливок. Данные расчета после производственной проверки сведены в таблицы, подобные табл. 1.6.

По заданной массе отливки (известна из чертежа) необходимо определить δ_0 и выбрать значение $l_{п}$ из условий сборки блоков моделей и отрезки отливок. В среднем при $G < 0,5$ кг $l_{п} = 4 \dots 10$ мм, при $0,5 < G < 1,5$ кг $l_{п} = 8 \dots 12$ мм. Затем по табл. 1.5, пользуясь известными G и δ_0 находят диаметр стояка $D_{ст}$ и размеры питателя. В разностенных отливках с массивными частями модуль охлаждения δ_0 можно рассчитывать только по размерам массивной части, прилегающей к питателю.

Если рассчитанное значение $D_{ст} > 60$ мм, применяют литниковую систему с коллекторами, которые выполняют функцию питающих элементов ЛПС.

Пример. Рассчитать размеры элементов ЛПС для отливки «петля», материал сталь 35Л, масса отливки $G = 185$ г (рис. 1.38). Определяем модуль δ_0 (приведенную толщину) теплового узла, который представляет собой брус квадратного сечения со стороной $a = 18$ мм и длиной $b = 40$ мм. Площадь сечения перпендикулярна к направлению подвода расплава ab , периметр сечения $2(a + 2b)$, тогда

$$\delta = \frac{a + b}{2(a + 2b)} = \frac{18 + 40}{2(18 + 2 \cdot 40)} = 3,7 \text{ мм}$$

Принимаем длину питателя $l_{п} = 8$ мм. По таблице 1.6 для $G = 185$ г и $\delta_0 = 3,7$ находим диаметр стояка $D_{ст} = 35$ мм и приведенную толщину питателя $\delta_{п} = 4,75$. Окончательно принимаем $l_{п} = 8$ мм, $D_{ст} = 35$ мм, $\delta_{п} = 4,75$ и питатель, имеющий прямоугольное сечение со сторонами, которые можно найти по формуле (1.3), задаваясь толщиной питателя $a_{п} = 15$ мм, тогда $b_{п} = 28$ мм.

Второй способ, разработанный Н. Н. Лященко, применяют для расчета размеров элементов ЛПС II и III типов. Размеры прибылей определяют по методу вписанных сфер (окружностей). При расчете размеров прибыли учитывают дистанцию ее действия R . Как прави-

ло, тонкие стенки отливок располагают вертикально, а металл в полость формы подводят снизу. Проверку правильности назначения размеров каналов ЛПС ведут гидравлическим методом. Площадь суженного сечения (см²) определяют по формуле

$$f_{с.с.} = G / (\rho \mu t_{зап} \sqrt{2gH_p}),$$

или

$$f_{с.с.} = J / (\rho \mu \sqrt{2gH_p}), \quad (1.4)$$

где G — масса отливки, г; ρ — плотность жидкого металла, г/см³; μ — коэффициент расхода, $\mu=0,8 \dots 0,9$ без учета энергии струи, $\mu=1,4 \dots 1,5$ с учетом энергии струи расплава из ковша (значения μ больше, чем, например, при заливке песчаных форм, так как стенки оболочковой формы имеют низкую шероховатость); $t_{зап}$ — время заполнения формы; H_p — расчетный напор столба металла в узком сечении, см; g — ускорение свободного падения, см/с², J — массовая скорость заливки, г/с, $J=kl_{max}/d_{ст}$; k — коэффициент, зависящий от способа подвода расплава в полость формы: для верхнего подвода 0,05, для бокового подвода 0,06, для нижнего подвода 0,08; l_{max} — наибольшая протяженность тонкой стенки отливки, мм; $d_{ст}$ — толщина тонкой стенки отливки, мм.

Таблица 1.6.

Диаметр стояков $D_{ст}$ и модули охлаждения $\delta_{п}$ (приведенные толщины) в зависимости от приведенной толщины узла δ_0 и массы G отливок.

G, z	Характеризуемый параметр	$\delta_0, \text{мм}$										
		1,1	1,8	2,5	3,0	3,5	3,9	4,2	4,6	5,1	5,8	6,7
50	$D_{ст}, \text{мм}$	20	20	25	25	30						
	$\delta_{п}, \text{мм}$:											
	При $l_{п} = 4 \text{ мм}$	1,75	2,5	2,5	3,0	3,0						
50...100	При $l_{п} = 8 \text{ мм}$	2,0	3,0	3,2	3,5	3,75						
	$D_{ст}, \text{мм}$	20	20	25	30	30	30	30	35			
	$\delta_{п}, \text{мм}$:											
100...200	При $l_{п} = 4 \text{ мм}$	2,0	2,75	3,0	3,5	3,75	4,0	3,5				
	При $l_{п} = 8 \text{ мм}$	2,5	3,5	3,75	3,5	4,3	4,75	5,0	4,5			
	$D_{ст}, \text{мм}$	20	25	30	30	35	35	40	40	40	45	45
	$\delta_{п}, \text{мм}$:											
	При $l_{п} = 4 \text{ мм}$	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,95	4,5	4,5	5,0
	При $l_{п} = 8 \text{ мм}$	3,0	3,5	3,75	4,25	4,5	4,75	5,0	5,25	5,5	5,75	6,25

В целях облегчения и ускорения проектирования ЛПС для отливок по выплавляемым моделям основные конструкции ЛПС и их элементы — литниковые чаши, зумпфы, питатели, стояки и т. д. — должны выполняться по соответствующим ГОСТам.

Температуры формы перед заливкой, заливаемого сплава, выбивки отливки назначают в зависимости от химического состава сплава, толщины стенки и конфигурации отливки, руководствуясь известными положениями (см. раздел 1.5).

Продолжительность охлаждения отливки до заданной температуры определяют, пользуясь методами, известными из теории формирования отливки [1].

В соответствии с разработанным технологическим чертежом отливки и расчетами размеров ЛПС с учетом заданной программы выпуска выбирают оборудование для изготовления моделей и проектируют пресс-форму, тип оболочковой формы, состав и способ приготовления суспензии, изготовления формы, способ сушки, прокаливания оболочки, назначают режимы выполнения основных операций технологического процесса, выбирают оборудование и проектируют необходимую технологическую оснастку.