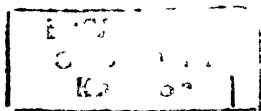


Н. М. ГАЛДИН

ЛИТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОТЛИВОК ИЗ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ

227693



МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1978

ББК 34.61
Г15
УДК 621.746.4:669.7.018

Рецензент В. А. Будневич

Галдин Н. М.

Г15 Литниковые системы для отливок из легких сплавов. — М.: Машиностроение, 1978. — 198 с., ил.
60 к.

В книге рассмотрены вопросы конструирования и расчета литниковых систем для фасонных отливок из легких (алюминиевых и магниевых) сплавов, заливаемых в кокили, песчаные и оболочковые формы под напором стояка. Приведен необходимый для расчетов материал и даны рекомендации по его использованию при выборе параметров процесса заполнения форм применительно к широкой номенклатуре отливок. Сформулированы основные функции и принципы построения литниковых систем.

Книга предназначена для инженерно-технических работников литейного производства.

Г 31204-066 66-78
038(01)-78

**ББК 34.61
6П4.1**

© Издательство «Машиностроение», 1978 г.

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $d_{с.н.}$, $d_{с.в.}$ — диаметр стояка в нижнем и верхнем сечении;
- F_c , F_k , $F_{п.}$ — суммарная площадь поперечного сечения стояков в нижнем сечении, коллектора и питателей;
- $F_{ф.}$ — площадь поперечного сечения рабочей полости формы;
- $f_{с.н.}$, $f_{с.в.}$ — площадь нижнего и верхнего сечений стояка;
- g — ускорение силы тяжести;
- H — полный напор над узким сечением стояка;
- H_0 — первоначальный напор;
- H_p — расчетный напор;
- $H_{ч.}$, $H_{в.}$ — высота полости литниковой чаши и воронки;
- $h_{п.}$ — высота (глубина) потока в коллекторе;
- $h_{ч.}$ — высота уровня расплава в литниковой чаше;
- $h_{в.}$ — высота уровня расплава в литниковой воронке;
- $h_{отл.}$ — высота отливки;
- h_c , h_k — высота стояка и коллектора;
- L_k — длина одной ветви коллектора;
- $L_{п.}$ — расстояние от стояка до первого питателя;
- M — масса отливки;
- $P_{ф.}$ — периметр поперечного сечения рабочей полости формы;
- Q — объемный расход (расход);
- $Q_{ф.}$ — объемный расход через рабочую полость формы;
- R_c , R_k , $R_{п.}$, $R_{ф.}$ — гидравлический радиус соответственно стояка, коллектора, питателя и рабочей полости формы;
- $t_{зал.}$ — температура заливки сплава;
- $V_{ч.}$ — объем литниковой чаши;
- v_c , v_k , $v_{п.}$ — скорость потока в нижнем сечении стояка, коллекторе и питателях;
- $v_{ф.}$ — средняя фактическая скорость течения (подъема) расплава в рабочей полости формы;
- $v_{ф.нач.}$ — начальная скорость подъема расплава в рабочей полости формы;
- $v_{ф.мин.}$ — минимально допустимая скорость подъема расплава в рабочей полости формы;

$v_{с\ max}$, $v_{к\ max}$ — максимально допустимая скорость потока в стояке, коллек.
 $v_{п\ max}$, $v_{ф\ max}$ — торе, питателях и рабочей полости формы;
 $\delta_{п}$ — толщина питателя;
 $\delta_{отл}$ — толщина стенки отливки;
 μ — коэффициент расхода литниковой системы;
 $\mu_{ч}$ — коэффициент расхода литниковой чаши;
 ν — коэффициент кинематической вязкости (кинематическая
вязкость);
 $\rho_{с}$ — плотность расплава.

ВВЕДЕНИЕ

Началом изучения литниковых систем на научной основе можно считать 1928—30 годы, когда для выяснения физической картины явлений, происходящих в литниковых каналах, были использованы прозрачные модели, а теоретические и экспериментальные работы стали проводить на базе использования аппарата гидравлики [56]. Исследованиями советских и зарубежных ученых доказано, что процесс течения жидких металлов в литниковых каналах подчиняется общим положениям гидравлики. Установленные при этом закономерности могут быть использованы при конструировании и расчете литниковых систем для всех без исключения литейных сплавов.

Длительный заводской опыт показывает, что удовлетворительных результатов при заполнении форм и получения качественных отливок можно достичь, если наряду с общими гидравлическими закономерностями, присущими всем жидким сплавам, учитывать их специфические свойства. Такими свойствами легких сплавов, влияющими на режим заполнения литейной формы, являются их относительно невысокая плотность, повышенная окисляемость и вспенивание.

В первые годы освоения фасонного литья из легких сплавов (30-е годы) литейщики убедились в том, что широко распространенные для литья черных сплавов сужающиеся конструкции литниковых систем, у которых площади поперечных сечений литниковых каналов последовательно уменьшаются, не обеспечивают получения качественных отливок из легких сплавов. Созданные и внедренные в цехах и участках цветного литья расширяющиеся литниковые системы, в отличие от сужающихся, обеспечивают последовательное снижение скоростей потока в направлении от стояка к рабочей полости формы и позволяют плавно, без завихрений, ламинарными потоками ввести расплав в форму.

Обобщив заводской опыт и результаты специально поставленных под руководством акад. А. А. Бовчара экспериментов на

прозрачных моделях, Е. М. Ноткин впервые дал научное обоснование применению и принципам построения расширяющихся литниковых систем для отливок из легких сплавов [45].

Советскими и зарубежными литейщиками методом моделирования и в натуральных условиях был поставлен ряд экспериментов, направленных на выяснение физической картины явлений при протекании легких сплавов в расширяющихся системах, выявление тепловых и гидравлических закономерностей, а также совершенствование конструкции этих систем. Дальнейшее развитие и обоснование получили принципы их построения и новые методы проектирования, внедренные в ряде отраслей промышленности.

В результате расширяющиеся системы нашли повсеместное применение при литье легких сплавов [1, 39, 72, 93], при литье вспенивающихся тяжелых цветных сплавов [91, 94], а также при изготовлении сложных отливок ответственного назначения из стали [10, 97] и чугуна [35, 102].

Исторически сложилось так, что большая часть экспериментальных работ по гидравлике литниковых систем была выполнена на конструкциях, применяемых для черных сплавов, в частности для отливок из чугуна [57]. Однако, некоторые из установленных при этом закономерностей и положений, как уже отмечалось, могут быть успешно применены при конструировании и расчете литниковых систем для легких сплавов.

Данная книга посвящена вопросам конструирования и расчета расширяющихся систем. Основой для ее написания послужили исследования автора, длительный опыт проектирования и внедрения литниковых систем при освоении и производстве фасонных отливок. При написании книги, кроме работ, выполненных автором, использованы работы многих советских и зарубежных исследователей, а также передовые достижения отечественных заводов.

Содержание основных глав и последовательность расположения материала в них подчинены следующим задачам.

Во-первых, показать и проследить взаимосвязь дефектов отливок с явлениями, протекающими при заполнении формы жидким металлом и на этой основе сформулировать основные функции литниковых систем и изложить принципы их построения.

Во-вторых, привести теоретический и экспериментальный материал в том объеме, который либо непосредственно необходим при проектировании систем, либо без которого трудно уяснить физическую картину процесса заполнения форм.

В-третьих, исходя из того, что правильная работа литниковой системы (и получение качественной отливки) зависит от всех без исключения ее основных элементов, по возможности, изложить детально выбор, конструирование и расчет как литниковой системы в целом (как единой конструкции), так и ее основных звеньев, а не ограничиваться (очень часто встречающимся

ся в литературе) расчетом только узкого сечения литниковой системы и выбором соотношений между площадями поперечных сечений ее элементов.

Автор исходил из того, что такой подход должен принести наибольшую пользу технологам-литейщикам, которые с одной стороны, должны глубоко разбираться в физических явлениях, происходящих при заполнении формы расплавом, а с другой — уметь доводить дело до логического завершения, т. е. творческого использования теоретического и экспериментального материала (и не только приведенного в книге) для детального расчета литниковой системы каждой конкретной отливки. Вместе с тем, такой подход вызывал определенные трудности, которые главным образом относятся к написанию главы I.

Суть вопроса состоит в том, что инженерные методы расчета литниковых систем на современном этапе развития техники требуют многочисленных данных о параметрах процесса заполнения форм, многие из которых могут быть получены экспериментальным путем или рассчитаны при наличии экспериментальных значений постоянных величин, входящих в расчетные формулы. К сожалению, на сегодняшний день некоторые из этих данных отсутствуют, другие не отличаются надежностью и по этой причине не могут быть рекомендованы к применению. Например, нет пока достаточных данных, необходимых для инженерного расчета коллектора и питателей расширяющихся систем на равномерность расхода расплава по ним, а также на устранение разряжения в них; мало данных о минимально допустимых скоростях подъема расплава в формах различных конфигураций, о допустимых числах Рейнольдса, о коэффициентах местных сопротивлений некоторых типов литниковых систем, характерных для литниковых каналов и режимов течения металла в них, и т. д. Многие из этих данных могут быть получены экспериментальным путем в заводских лабораториях или непосредственно в цехах цветного литья.

Автор надеется, что данная книга окажет помощь специалистам-литейщикам не только в решении практических задач сегодняшнего дня, но и возбудит интерес к решению указанных выше и других, пока еще не решенных, но, безусловно, актуальных проблем, от которых зависит дальнейшее совершенствование методов проектирования литниковых систем и повышения эффективности их работы.

Глава I

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Литниковая система в общем случае (ГОСТ 18169—72) представляет собой систему каналов и элементов литейной формы для подвода расплавленного металла (расплава) в полость формы, обеспечения ее заполнения и питания отливки при затвердевании. Следовательно, литниковая система выполняет две основные функции: подвод металла и питание отливки [56]. Исходя из назначения литниковой системы и удобств изложения материала в технологической литературе принято элементы таких систем подразделять на подводящие и питающие (в некоторых частных случаях такого подразделения функций может не быть).

После заполнения формы расплавом литниковая система и отливка в течение некоторого времени сообщаются между собой. Затем, вследствие затвердевания относительно тонких литниковых каналов, подача расплава прекращается, и отливка кристаллизуется независимо от литниковой системы. Малая продолжительность, а в большинстве случаев даже полное отсутствие питания затвердевающей отливки через подводящие элементы литниковой системы (как правило через питатель), позволяет получить отливку (если на ней не установлены питающие элементы) без усадочных пороков только в исключительных случаях при стечении ряда благоприятных условий: применение сплавов с малой объемной усадкой, отсутствие массивных узлов и утолщенных мест, низкая температура вливаемого в форму расплава, медленная заливка и др.

Таким образом, при заполнении литейных форм жидким металлом роль подводящих элементов литниковой системы по существу сводится к решению одной основной самостоятельной задачи: как можно полнее заполнить форму расплавом без образования в отливке дефектов в виде неслитин и недоливов.

Для компенсации усадки сплава в период кристаллизации, предупреждения образования усадочных раковин и пористости служат питающие элементы литниковой системы — прибыли,

представляющие собой добавочные полости (резервуары), заполняемые горячим металлом. Тепловой расчет и конструирование прибылей представляет собой отдельную задачу, которой посвящена специальная литература.

Исходя из общего определения литниковой системы и принятого разделения ее функций, в настоящей работе под литниковой системой понимается система каналов и элементов литейной формы, предназначенных для подвода металла в полость формы и обеспечения ее заполнения.

1. ГИДРАВЛИКА ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ И ЕЕ ОСОБЕННОСТИ

Получить качественную отливку при заливке форм под напором стояка (действием силы тяжести) можно только в случае заполнения литейной формы перегретым жидким металлом. Жидкий металл в перегретом состоянии можно рассматривать как обычную ньютоновскую жидкость*, а само заполнение — как гидравлический процесс, который подчиняется основным положениям гидравлики и поддается расчету [57].

Задача литниковой системы казалось бы несложная — обеспечить полноту заполнения формы расплавом, вязкость которого незначительно отличается от вязкости холодных жидкостей, например воды. Однако выполнение этой задачи осложняется некоторыми особенностями гидравлического процесса заполнения форм. Эти особенности связаны с явлениями, вызываемыми тепловыми и физико-химическими процессами, протекающими как в жидком металле, так и на его границе с окружающей воздушной средой и формой.

Тепловые и физико-химические процессы оказывают существенное влияние на течение жидкого металла в каналах литейной формы и являются определяющими для выбора гидравлических режимов их заполнения. Степень влияния этих процессов на гидравлический процесс зависит от физико-химических свойств заливаемого сплава и материала литейной формы.

Особенность жидкого металла как жидкости, участвующей в гидравлическом процессе заполнения литейной формы, состоит во-первых в том, что он охлаждается. Это может привести при определенных условиях (большом теплоотводе в форму и малом перегреве над точкой нулевой жидкотекучести) к преждевременной остановке потока и незаполнению формы. Чтобы этого не произошло, металл необходимо значительно перегреть, что в большинстве случаев отрицательно влияет на его качество (насыщение газами, окислами и т. д.). Во-вторых, в процессе охлаждения объем залитого в форму металла сокращается, что

* Ньютоновскими считаются жидкости, у которых трение покоя равно нулю, вязкость не зависит от скорости течения, а напряжение пропорционально градиенту скорости.

приводит к образованию в отливке дефектов металлургического, в частности усадочного происхождения (раковин, рыхлот, пористости, коробления и др.). В-третьих, некоторые сплавы, в том числе алюминиевые и магниевые, весьма склонны к окислению и вспениванию, особенно при повышенных температурах, что также приводит к развитию металлургических дефектов, в частности к загрязнению расплава неметаллическими включениями.

Вследствие термического, физико-химического и механического взаимодействия жидкого металла с окружающей воздушной средой и формой в отливке образуются такие дефекты, как ужимины, пригар, размыв формы и стержней и др.

Песчаная форма газопроницаема, вследствие чего поток металла сообщается с атмосферой и газами, образующимися при заливке в форме. При определенных условиях в отдельных сечениях литниковых каналов может образоваться разряжение и, как следствие этого, возникновение инжекции воздуха и газов через стенки формы, которая приводит к искажению гидравлических характеристик потока и к дополнительному окислению расплава.

Таким образом, чем несовершеннее литниковая система в гидравлическом отношении, тем разнообразнее возникающие в отливке дефекты металлургического происхождения, а также дефекты, являющиеся результатом термического, физико-химического и механического взаимодействия металла с окружающей средой. Поэтому при рассмотрении процесса заполнения литейной формы и проектировании литниковой системы к чисто гидравлическим вопросам добавляются вопросы, относящиеся непосредственно к литниковой гидравлике, а к проблеме получения качественной фасонной отливки.

Литниковая система оказывает влияние на ряд рассмотренных явлений, протекающих в ее каналах и форме, следовательно, от нее зависит обеспечение качества поступающего в литейную форму металла и получение годной отливки.

2. ДИНАМИКА ПОТОКОВ НА ОТДЕЛЬНЫХ ЭТАПАХ ЗАПОЛНЕНИЯ ФОРМЫ

При заполнении литейных форм расплав последовательно проходит следующие основные этапы: 1) движение от заливочного ковша до литниковой чаши (воронки); 2) движение в каналах литниковой системы; 3) движение в полости формы.

Получение качественной отливки зависит от всех этих этапов, от размеров и конструкции всех основных элементов литниковой системы: чаши, стояка, коллектора и питателей. Динамика потоков в каждом элементе литниковой системы и рабочей полости формы имеет свои специфические особенности.

Движение расплава от заливочного ковша до чаши. Подачу расплава из заливочного ковша в литниковую чашу осуществ-

ляют открытой свободной падающей струей, по трубопроводам (закрытой струей), в вакууме или защитной атмосфере.

При движении по трубопроводам, в вакууме или защитной атмосфере расплав предохраняется от окисления. Однако эти способы подачи расплава в чашу пока еще не нашли широкого применения в производстве фасонного литья, хотя некоторые из них уже давно и успешно применяют при литье слитков [1].

При подаче расплава в чашу свободно падающей струей его поверхность, контактирующая с окружающим воздухом, интенсивно окисляется. Поверхность окисления расплава возрастает с увеличением высоты падения струи, а также при ее разбрызгивании (дроблении) и разрыве окисной пленки.

Окисная пленка на сплавах, содержащих более 2% Mg, состоит в основном из окиси магния, является пористой и весьма непрочной. Через некоторое время с начала движения потока пленка на его поверхности, достигнув определенной толщины и массы, обрывается и замешивается внутрь расплава, а на ее месте возникает новая.

На алюминиевых сплавах окисная пленка защищает поток от его дальнейшего окисления. Однако со временем она также утолщается и становится хрупкой и ломкой. Кроме того, прочность пленки уменьшается при введении в алюминиевый расплав Ti, Mn, Ca, Na и некоторых других компонентов. Поэтому при заливке форм открытой струей необходимо соблюдать меры предосторожности, способствующие минимальному окислению расплава.

Движение расплава в литниковой чаше. Струя расплава, попавшая в чашу, теряет свой скоростной напор, и заполнение формы происходит уже под напором, определяемым уровнем сплава в чаше, а не под действием всей высоты струи, начиная от носка ковша. В результате торможения и потери скорости давление под струей у дна чаши повышается, и под его действием расплав растекается по дну чаши.

При подходе к боковым стенкам чаши струя вновь затормаживается, возникает подпор, и расплав переливается с более высокого уровня на более низкий в направлении к падающей струе. При этом сплав разбрызгивается, захватывает воздух и окисляется с образованием окислов металла и шлаков.

Эти отрицательные явления происходят тем в большей степени, чем больше мощность N падающей струи, которая возрастает с увеличением высоты падения и сечения струи, что видно из формулы

$$N = \frac{Mv^2}{2\tau} = \frac{Q\rho_c v^2}{2} = \frac{F\rho_c v^3}{2} = \frac{F\rho_c \mu^3 \sqrt{(2gH_{ст})^3}}{2},$$

где M — масса струи; τ — время падения струи; v — скорость движения струи; F — площадь поперечного сечения струи; μ —

коэффициент гидравлических потерь; $H_{ст}$ — высота падения струи.

Вследствие циркуляции расплава при значительных горизонтальных скоростях в чаше образуется вихревое движение с вертикальной осью вращения или так называемая вихревая воронка. Ее образованию способствует вытекание расплава через

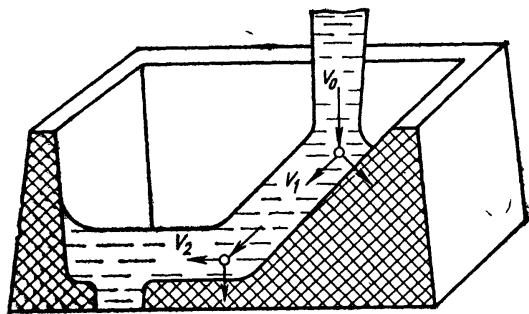


Рис. 1. Схема движения расплава при подаче струи на наклонную стенку чаши

стояк, приводящее к вертикальному перемещению расплава под отверстием стояка, т. е. в районе образования вихревой воронки. Вертикальное перемещение металла в чаше будет тем интенсивнее, а опасность возникновения вихревой воронки тем больше, чем меньше высота и объем чаши, и чем больше верхнее отверстие стояка. Вихревая воронка приводит к засасыванию распла-

вом воздуха, окислов и шлаков, находящихся в чаше, поэтому принимают специальные меры (см. гл. I, п. 7), предупреждающие ее образование.

Силу удара струи и разбрызгивание сплава при падении его в чашу можно уменьшить, если одну из стенок чаши сделать наклонной и на нее направить струю. Эта сила достигает минимального значения (рис. 1) при наклоне стенки под углом 45° , что видно из приведенной ниже формулы (потерями на внутреннее трение пренебрегаем) [62]:

$$P = Q\rho_c (v_0 - v_2) = Q\rho_c v_0 (1 - \cos \alpha \sin \alpha),$$

где P — сила удара струи о стенку чаши; α — угол наклона стенки чаши; v_0 — скорость падающей струи сплава; v_2 — скорость струи по дну чаши,

$$v_2 = v_1 \sin \alpha = v_0 \sin \alpha \cos \alpha.$$

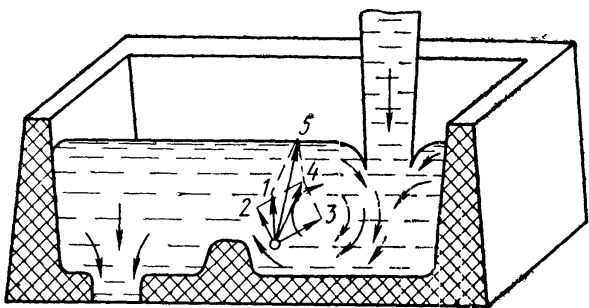
При $\alpha = 45^\circ$, когда $\cos \alpha \sin \alpha = 1/2$, $P = Q\rho_c v_0 / 2$, т. е. имеет минимальное значение. При $\alpha = 90^\circ$ (вертикальная стенка) или при $\alpha = 0^\circ$ (горизонтальная стенка — дно) $P = Q\rho_c v_0$, т. е. имеет максимальное значение.

На практике наклонные стенки чаще всего применяют в литниковых воронках, в которых вследствие небольшого объема по сравнению с литниковыми чашами особенно велика опасность разбрызгивания и завихрения расплава. Отметим также, что течение металла по наклонной стенке литейщики стараются использовать везде, где это возможно: при заливке форм через наклонные стояки, литье в кокиль с кантовкой, подводе расплава к наклонной стенке рабочей полости формы и т. д.

При движении металла по дну чаши с порогом в ней создается восходящий поток, способствующий выносу шлака на поверхность расплава. При этом на каждую частицу шлака действуют три силы (рис. 2): подъемная сила 1 (когда плотность

Рис. 2. Схема движения расплава в литниковой чаше:

1 — подъемная сила; 2 — уносящая сила потока; 3 — центробежная сила; 4 — равнодействующая сил 2 и 3; 5 — равнодействующая сил 1, 2 и 3



частицы меньше плотности расплава); уносящая сила потока 2 и центробежная сила 3, направленная к центру вращения. Чем сильнее завихрение (с горизонтальной осью вращения), тем скорее силы 2 и 3 превысят силу 1 и тем раньше частица шлака, пройдя по спирали, достигнет центра вращения, в котором и задержится, пока расплав поступает в литниковую чашу.

Движение расплава в стояке. Различают течение полным (заполненные стояки) и неполным (незаполненные стояки) сечением стояка (рис. 3). В заполненных стояках расплав, как правило, незначительно окисляется, и шлак не задерживается. Задержка шлака в таких стояках возможна лишь в том случае, когда скорость всплывания его $v_{ш}$

больше скорости потока расплава в стояке v_c . Однако это условие на практике осуществить трудно, так как уже при относительно малой высоте стояка, равной 4 см, в нем устанавливается скорость более 70 см/с ($v_c = \mu \sqrt{2gh_c} = 0,8 \cdot 44,3 \cdot 2$), которая в несколько раз больше максимальной скорости всплывания шлака, равной 8,1 в алюминиевых и 6,9 см/с в магниевых сплавах (см. п. 6).

Движение сплава в незаполненных вертикальных стояках мало чем отличается от его движения свободно падающей струей. Чтобы уменьшить разбрызгивание, удар о дно стояка и испенивание, незаполненные стояки выполняют наклонными и

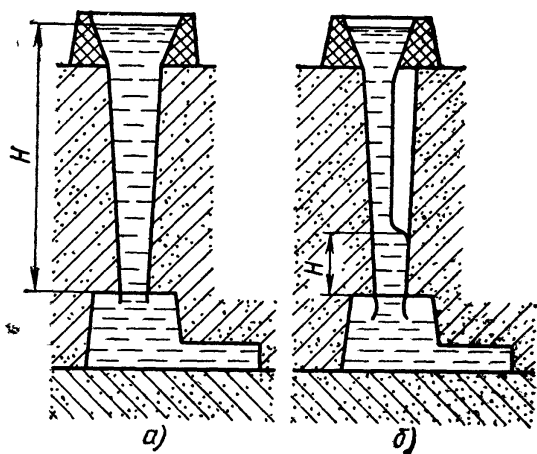


Рис. 3. Течение расплава в стояках полным (а) и неполным (б) сечением:

H — напор, под которым происходит течение из стояка в коллектор

заполняют их не в первый момент заливки, а постепенно, по мере подъема сплава в полости формы. Последнее достигается тогда, когда сечение струи, вытекающей из ковша или литниковой чаши, меньше, чем сечение стояка, а также тогда, когда уровень сплава в форме перекроет (при подводе снизу) нижнее отверстие стояка, и форма в этом случае заполняется по закону сообщающихся сосудов.

В незаполненном стояке происходит частичный процесс отшлаковывания металла, а в случае его наклонного расположения, как было показано выше, уменьшается захват воздуха, разбрызгивание и завихрение потока. Положительным фактором заливки через незаполненные стояки является также то, что истечение сплава из них происходит с небольшой скоростью, ввиду малого статического напора металла (рис. 3, б), особенно в первоначальный наиболее опасный момент заливки.

Из заполненных стояков сплав вытекает в коллектор с большой скоростью, которая определяется высотой расплава от нижнего сечения стояка до его уровня в чаше (рис. 3, а). Это вызывает значительное перемешивание и окисление сплава при входе в коллектор, особенно в начальной стадии заполнения формы. Первый поток расплава движется с очень большой скоростью, которая уже при высоте стояка, равной 40 см, достигает ~ 230 см/с ($v_c = \mu \sqrt{2gh_c} = 0,8 \cdot 44,3 \cdot 6,5$). Для увеличения гидравлических потерь, а, значит, снижения скорости и турбулентности потока, при литье легких сплавов стояки выполняют небольших сечений, круглые заменяют стояками прямоугольного сечения, прямые вертикальные — наклонными и зигзагообразными. Сечения и профили применяемых на практике стояков приведены на рис. 4 и 5.

Как видно, оба случая течения расплава в стояке имеют положительные и отрицательные стороны. При литье легких сплавов литниковые системы с заполненными стояками нашли большее распространение, чем системы с незаполненными стояками, хотя в некоторых случаях, особенно при литье мелких и средних деталей в кокиль из алюминиевых сплавов, последние также успешно применяют. Повышенная окисляемость сплава при те-

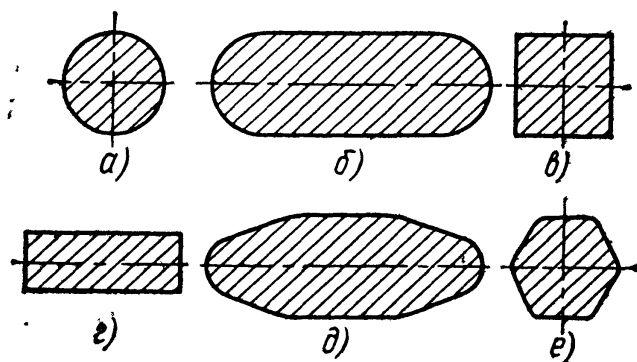


Рис. 4. Сечения стояков:
 а — круглое; б — овальное; в —
 квадратное; г — прямоугольное;
 д, е — многоугольное

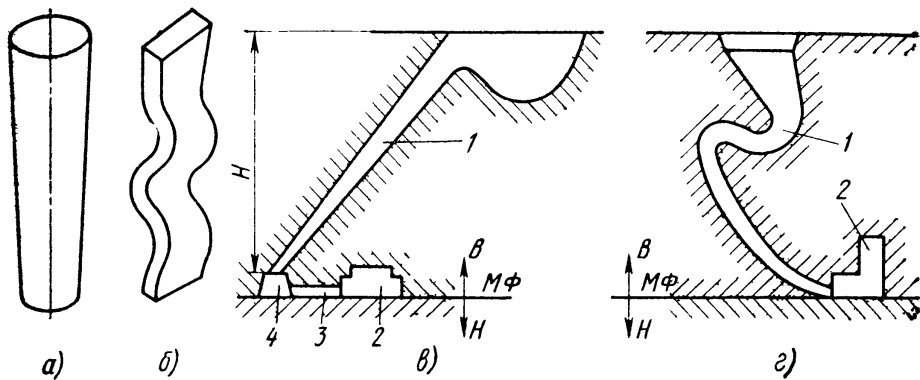


Рис. 5. Профили стояков:

a — прямой; *б* — змееобразный; *в* — наклонный, *г* — изогнутый («гусиная шейка»). 1 — стояк; 2 — отливка; 3 — питатель; 4 — коллектор

чении в незаполненных стояках не позволяет использовать их для литья магниевых сплавов.

Движение на участке перехода от стояка к коллектору. Вытекающий из стояка поток расплава при входе в коллектор внезапно расширяется, резко меняет свое направление и приобретает в коллекторе первоначально горизонтальное движение. Внезапное расширение канала под стояком, как правило, в 4—5 раз, приводит не только к резкому снижению кинетической энергии потока, благоприятно действующему на режим течения металла, но и к одновременному возникновению возмущений в потоке, образованию в зумпфе пены и эрозии формы.

Ни в каком другом месте литниковой системы возмущения в потоке по своему объему и характеру не могут сравниться с возмущениями и связанными с ними отрицательными последствиями, развивающимися на участке при переходе от стояка к коллектору, т. е. на начальном участке системы. Следовательно, начальный участок играет важную роль в формировании динамики потока во всей литниковой системе.

Конструкция начального участка системы, включающего зумпф стояка, металлоприемник, различные промежуточные каналы, должна в максимальной степени способствовать смягчению удара о дно стояка, уменьшению пено- и вихреобразования, плавному введению расплава в коллектор и задержанию образовавшихся под стояком неметаллических включений на начальном участке коллектора.

Сложная картина потоков на начальном участке требует изыскания наиболее рациональных в гидравлическом отношении форм и комбинаций элементов для его построения. Эта задача является наиболее трудной по сравнению с разработкой форм и конфигураций для других элементов систем. Этим и объясняется большое многообразие применяемых в литейной практике конструкций начальных участков. Схемы конструкций этих уча-

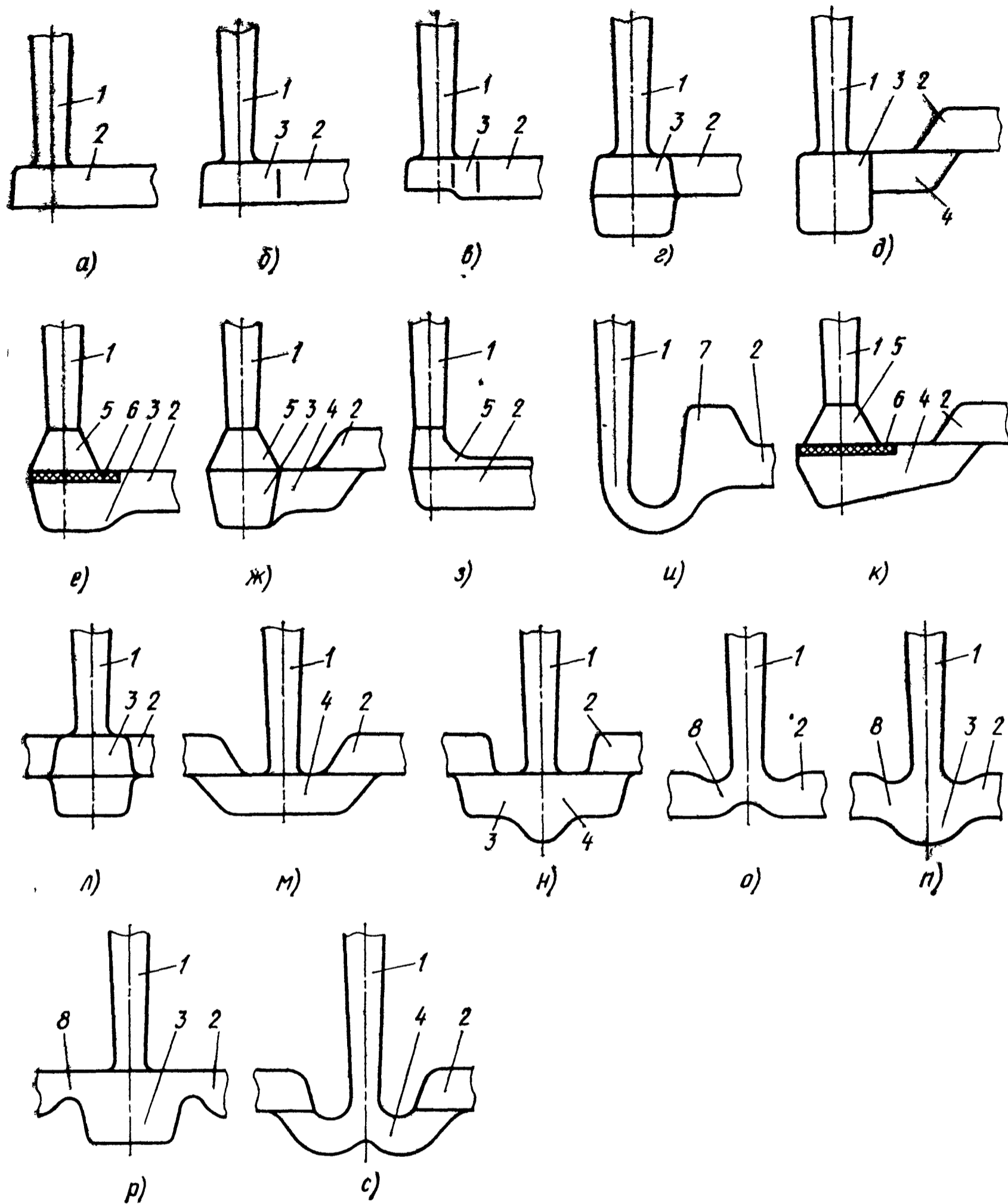


Рис. 6. Схемы конструкций начальных участков литниковой системы (переходы от стояка к коллектору):

1 — стояк; 2 — коллектор; 3 — зумпф; 4 — металлоприемник (промежуточный канал); 5 — расширение в нижней части стояка; 6 — фильтровальная сетка; 7 — шлакосборник; 8 — дроссель (перезжим)

стков, нашедших наибольшее распространение, приведены на рис. 6.

Наиболее простыми в конструктивном отношении являются начальные участки (рис. 6, а—г): без расширения коллектора (а), с расширением коллектора (б), с расширением и возвышением дна коллектора (в), с одновременным расширением и углублением коллектора (г). Начальные участки (рис. 6, д, ж, и,

к, л, н, с) позволяют вводить расплав в коллектор снизу вверх, что обеспечивает лучшее отделение шлаков и одновременно создает дополнительные гидравлические потери при входе расплава в коллектор, снижающие скорость потока в нем.

В системе (рис. 6, и) над коллектором предусмотрено возвышение (шлакосборник), которое уменьшает удар потока расплава о потолок коллектора и, кроме того, задерживает образующуюся пену. Системы (рис. 6, е, ж, к), стояк которых в нижней части имеет расширение, позволяют устанавливать в его основании фильтровальные сетки.

Начальные участки (рис. 6, о—р), имеющие естественные сужения, способствуют плавному вводу расплава в коллектор (при раздвоении потока) и уменьшают образование пены и вакуума в местах сочленения стояка с горизонтальным каналом. Плавный переход от стояка к коллектору (рис. 6, з), уменьшает разбрызгивание расплава внизу стояка, однако развивает большую скорость при входе в коллектор, так как гидравлические потери в этой системе резко снижаются [25] по сравнению с обычной системой (рис. 6, а).

Движение расплава в коллекторе и питателях. После того как поток дойдет до задней стенки коллектора, он теряет свой скоростной напор, вследствие чего у задней стенки создается подпор (уровень расплава поднимается на высоту, соответствующую потере скоростного напора), и расплав начинает перемещаться в обратном направлении, к стояку. Когда потоки, движущиеся от стояка и от задней стенки коллектора, сойдутся, заполнение коллектора продолжается без образования встречных потоков, и уровень расплава поднимается одновременно по всей длине коллектора [1].

При достаточно большом напоре расплава в стояке и небольшой длине коллектора первыми начинают работать наиболее удаленные от стояка питатели, через которые проходит большее количество сплава. При малом напоре и более длинном коллекторе встречные потоки в нем могут не образовываться, и большая часть сплава будет проходить через питатели, расположенные ближе к стояку. (Неравномерность действия питателей рассматриваются в п. 8).

Пока весь коллектор не заполнится, расплав поступает в питатели с малой скоростью, обусловливаемой малой высотой потока расплава в коллекторе $h_{\text{п}}$ (см. п. 6 и рис. 39). По мере заполнения системы расплавом скорость потока на входе в питатели возрастает и в момент полного заполнения коллектора достигает максимального значения, определяемого величиной напора, если считать его от уровня расплава в чаше (если стояк работает полным сечением).

Всплывшие (за счет разности плотностей расплава и шлака) ковые частицы (подробно см. в п. 6) скапливаются в верхней части коллектора, расплав же в нижней его части оказыва-

ется свободным от загрязнений, и именно отсюда он отводится в питатели. Чтобы произошло всплытие неметаллических включений, расплав в коллекторе должен течь как можно медленнее. Поэтому сечение коллектора должно быть достаточно большим. Это обеспечивается применением расширяющихся систем, у которых $F_k > F_c$, что и подтверждает их преимущество над сужающимися системами ($F_k < F_c$).

В зависимости от взаимного расположения стояка и питателей расплав может течь в коллекторе в одну (питатели расположены по одну сторону от стояка) и в две стороны (питатели расположены по обе стороны от стояка). Течение от стояка в две стороны коллектора предпочтительнее, так как в этом случае расплав поступает в форму более коротким путем.

Питатели являются последними на пути следования расплава в рабочую полость формы элементами литниковой системы и поэтому оказывают важное влияние на качество отливки. Они «промываются» расплавом и неметаллические включения в них практически не отделяются, если при этом не предусмотрены специальные меры, например, установка фильтровальных сеток (см. гл. III, рис. 70). Поэтому большое значение приобретают: снижение линейной скорости ввода расплава в форму, устраняющее фонтанирование струи в полости формы (особенно в начальной стадии заливки); устранение различного рода завихрений и возмущений, могущих привести к возникновению открытых вихрей в форме и вспениванию расплава; заполненность питателей. Только при выполнении этих условий будет исключено образование вторичных шлаков в самой форме. Лучше других указанные требования выполняются опять-таки в случае применения расширяющихся систем, отсюда вытекает широко применяемое при литье легких сплавов соотношение $F_{\Pi} > F_k > F_c$.

Чтобы первые порции расплава не попадали в питатели, их нельзя размещать под стояком, выполнять под коллектором или присоединять к его задней стенке. В большинстве случаев питатели располагают в одной форме с коллектором и отводят от него под прямым углом (рис. 7, а). Это исключает воздействие на питатель скоростного напора металла, протекающего в коллекторе. Кроме того, ответвление питателей под прямым углом создает большие гидравлические сопротивления на входе в питатели, что снижает скорость потока. Однако в этом случае в питателях могут образоваться незаполненные зоны и возможен подсос воздуха (подробно см. гл. I. п. 7) потоком расплава. Поэтому питатели необходимо плавно сопрягать с коллектором, а при возможности отводить от него под тупым углом (см. рис. 7, б).

Преждевременному (до заполнения коллектора) затеканию расплава в питатели препятствуют силы поверхностного натяжения и гидравлические сопротивления на входе. Величина напора h , необходимая для преодоления сил поверхностного натяжения,

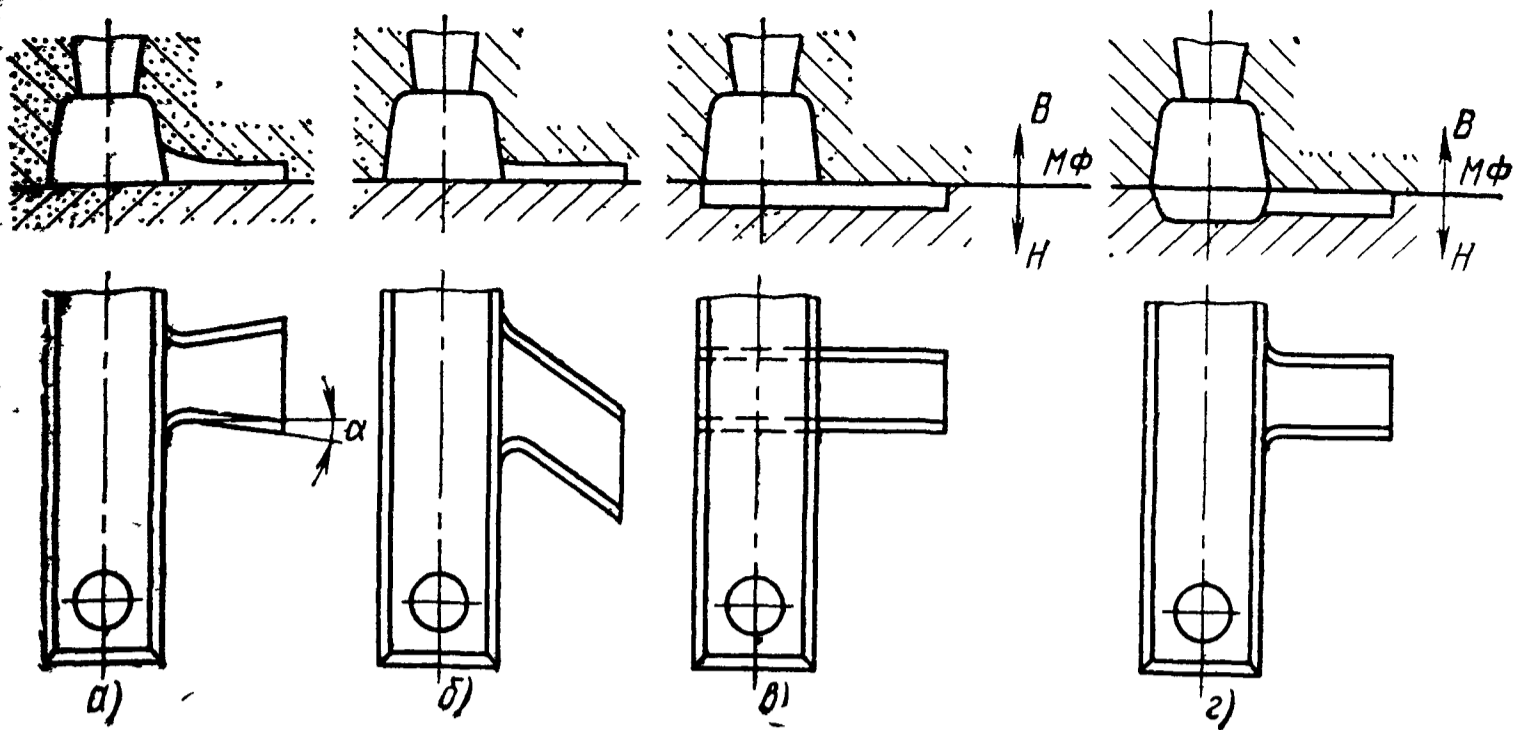


Рис. 7. Схема взаимного расположения коллектора и питателей:

a — коллектор и питатели в одной полуформе; питатель расширен в направлении к отливке, имеет утолщение в направлении к коллектору и расположен к нему под прямым углом; *б* — коллектор и питатели в одной полуформе, питатель под тупым углом к коллектору; *в* — коллектор и питатели в разных полуформах; *г* — часть коллектора расположена в нижней полуформе и от нее отведен питатель

обратно пропорциональна толщине питателя $\delta_{\text{п}}$; ее рассчитывают по формуле [57]

$$h = \frac{2\sigma}{\delta_{\text{п}}\rho_{\text{с}}g} \cos \varphi, \quad (1)$$

где σ — поверхностное натяжение расплава; φ — краевой угол смачивания.

Минимальные величины напора h алюминиевого расплава в коллекторе, необходимые для преодоления сил поверхностного натяжения в зависимости от толщины питателя $\delta_{\text{п}}$, рассчитанные по формуле (1) при $t_{\text{зал}} = 700^\circ\text{C}$; $\rho_{\text{с}} = 2400 \text{ кг/м}^3$; $\sigma = 0,82 \text{ Н/м}$ [34] и $\varphi = 180^\circ$ (полное несмачивание расплавом формы), приведены ниже:

$\delta_{\text{п}}$, мм . . .	3	4	5	6	10	12	14
h , мм . . .	23	17	14	12	7	6	5

Близкие к приведенным получают величины напора и для магниевых сплавов при $\rho_{\text{с}} = 1640 \text{ кг/м}^3$ [20] и $\sigma = 0,53 \text{ Н/м}$ [34].

В случае расположения питателей ниже дна коллектора — накладные питатели (рис. 7, *в* и 57, *в*) металл, текущий по дну коллектора, встретив на своем пути канавку, ударяется о ее стенку и преждевременно попадает в питатель. Кроме того, уступы в коллекторе создают крайне нежелательные в этом районе дополнительные возмущения, увеличивающие турбулентность потока в питателях. Поэтому, если это необходимо по условиям формовки, в нижней полуформе размещают часть коллектора (обычно не более 0,2—0,3 его высоты) и от нее уже отходит питатель (рис. 7, *г*).

Как было отмечено, снижение скорости потока в питателях достигается применением расширяющихся систем, т. е. за счет увеличения площади их поперечного сечения. Поскольку высота питателей относительно небольшая (во избежание проникновения шлаков), то увеличение площади достигается за счет их ширины. Поэтому питатели при литье легких сплавов выполняют в виде тонкой и широкой щели. При такой форме значительно уменьшается турбулентность потока вследствие уменьшения гидравлического радиуса канала и возрастания гидравлических сопротивлений при входе в него и обеспечивается меньший разогрев отливки в местах подвода расплава к ней.

Для еще большего замедления скорости потока на входе в форму питатели делают расширяющимися в направлении от коллектора к отливке (рис. 7, а). Однако угол (α) расширения питателя не должен превышать $8-10^\circ$, иначе при больших уклонах возможен отрыв от стенки элементарных струй и их завихрение.

Движение расплава в полости формы. Эта стадия процесса заполнения формы, является последней и в то же время наиболее ответственной, от которой в конечном итоге зависит получение качественной отливки. С характером течения расплава в рабочей полости формы во многом связано загрязнение отливки вторичными шлаками, образование неслитин и других подобных дефектов. Динамика потока расплава в полости формы зависит от скорости вытекания металла из питателей, направления потока, высоты его падения и конфигурации самой полости формы.

При подводе расплава в полость формы выше уровня ее основания (до тех пор, пока не будут перекрыты питатели) вытекающая из них струя при малом скоростном напоре будет стекать по стенке формы, а при большом напоре — свободно падать, отрываясь от стенки, или ударяться о противоположную стенку и стекать вниз. Этот период характерен наибольшей опасностью образования в отливке вторичных шлаков и других включений. В любом из этих случаев заполнение формы сопровождается местным разогревом и размывом ее поверхности. Разогрев отдельных мест формы приводит к замедленному затвердеванию отливки в этих местах и образованию рыхлот, а размыв загрязняет отливку неметаллическими включениями.

Наиболее опасно при вытекании из питателя свободное падение струи между стенками формы, так как оно часто сопровождается разбрызгиванием расплава, образованием открытых вихрей и захватом окислов и воздуха. По мере заполнения формы высота падения расплава уменьшается, и вредное действие свободно падающей струи ослабляется.

Если расплав подводится в полость формы из питателей, примыкающих к нижнему ее основанию (рис. 8) и течет вначале по дну формы, то решающее значение имеет начальный период заливки. В этом случае при высокой скорости потока в питате-

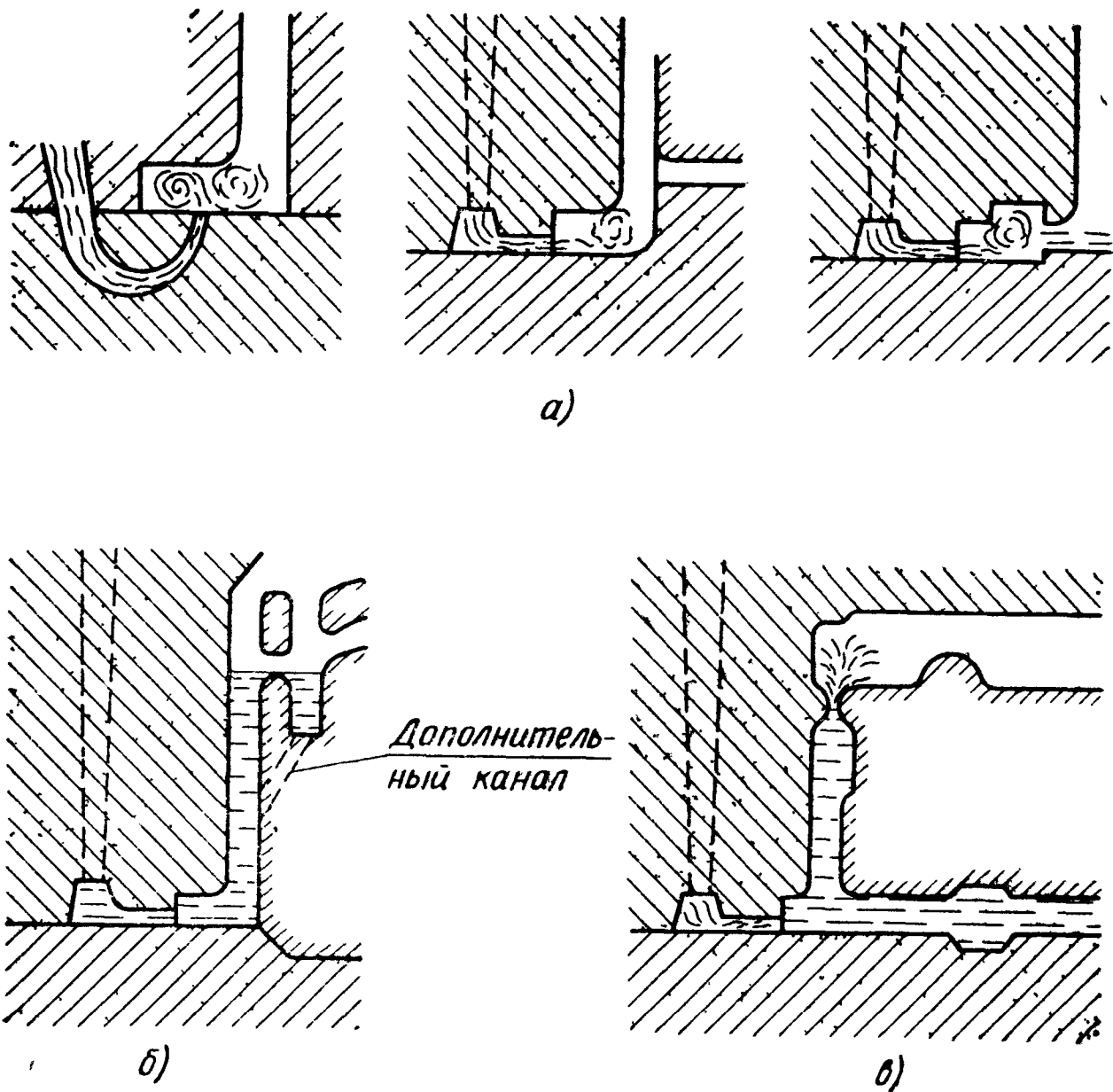


Рис. 8. Некоторые виды потоков, встречающихся в форме при нижнем подводе расплава [62]:

а — образование открытых вихрей при большой скорости поступления расплава; *б* — слив-падение расплава с одного уровня на другой (канал, устраняющий слив, показан штриховой линией); *в* — образование фонтана при переходе от широкого сечения отливки к узкому при большой скорости заполнения

лях или при ударе металла о вертикальные стенки формы возможно образование открытых вихрей, фонтанирование расплава и захват воздуха (рис. 8, *а*).

Высота фонтана, образующегося при входе расплава в форму:

$$h_{\text{ф}} = H - \Sigma h_{\text{п}},$$

где H — напор; $\Sigma h_{\text{п}}$ — сумма потерь напора.

Как видно, для уменьшения высоты фонтана необходимо уменьшить скорость движения расплава на выходе из питателя путем увеличения суммы потерь $\Sigma h_{\text{п}}$, площади сечений $F_{\text{п}}$ или расширения питателей в направлении к отливке (см. рис. 7, *а*). По мере заполнения формы $\Sigma h_{\text{п}}$ возрастает и скорость потока падает, что приводит к уменьшению $h_{\text{ф}}$ и более плавному заполнению формы. Обычно опасность образования указанных выше отрицательных явлений устраняется, как только уровень расплава в форме поднимается выше уровня сечения питателей. Конфигурация рабочей полости формы может вызывать падение, разбрызгивание (см. рис. 8, *б*) или фонтанирование (см.

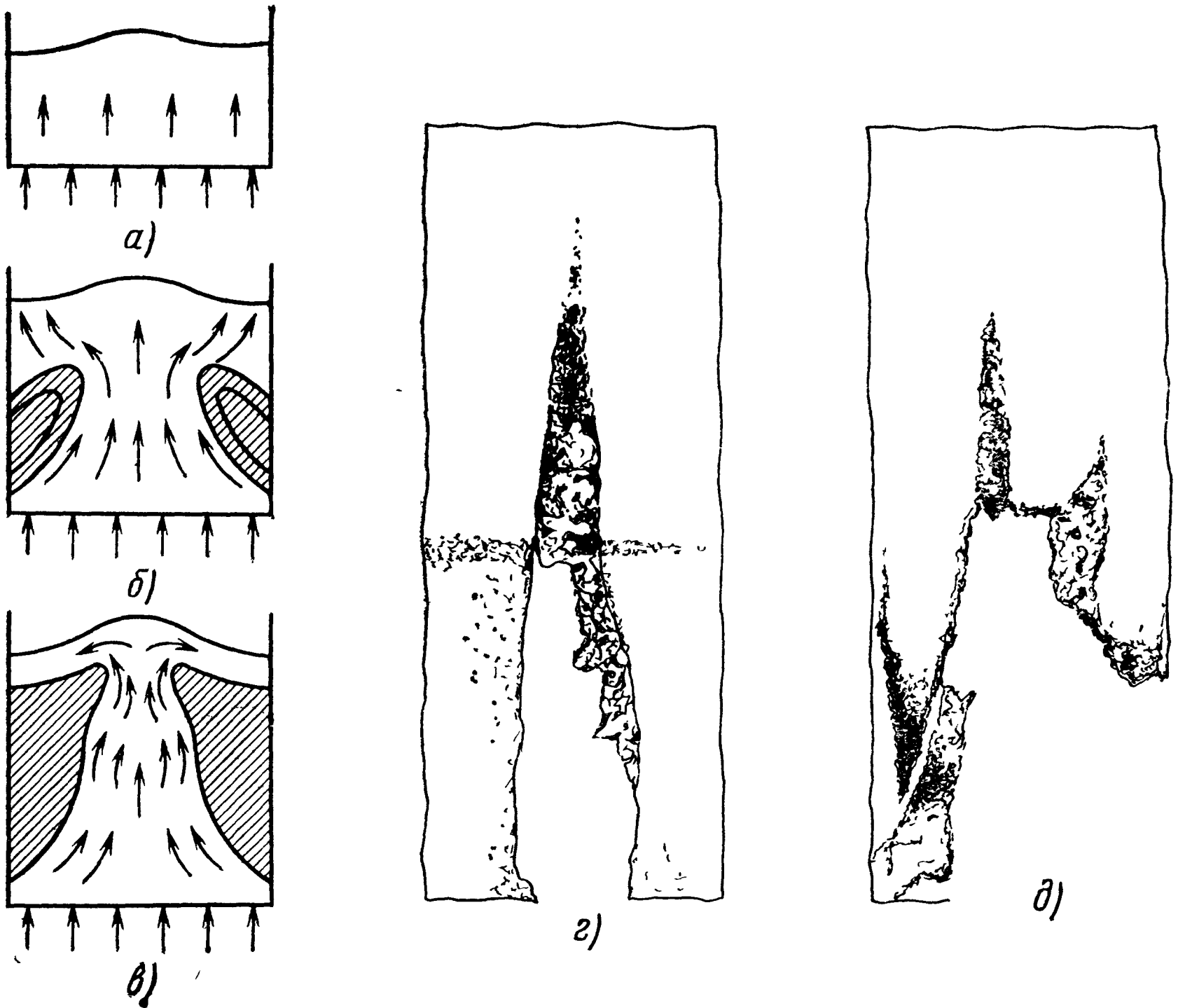


Рис. 9. Образование проточно-поперечного течения при заливке алюминиевым сплавом тонкостенных отливок [80]:

a — в — схемы заполнения отливок пластины $600 \times 500 \times 4$ (6,8) мм; *г, д* — конфигурация отливок пластин после слива жидкого остатка соответственно при рассредоточенном подводе и подводе через удаленные друг от друга питатели

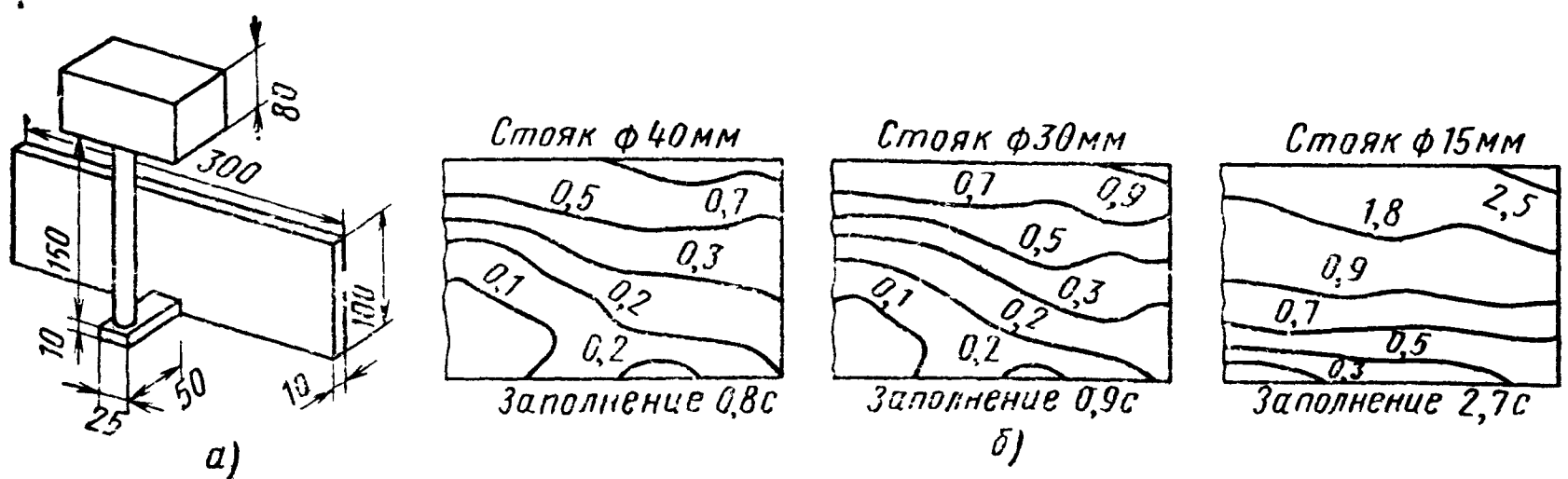


Рис. 10. Схема заливки алюминием при 750°C (*a*) и динамика потока (*б*) при движении расплава в вертикальной плите, залитой через стояки различного диаметра [46]. Цифры на кривых обозначают время (*с*) от начала заполнения рабочей полости формы

8, в) расплава даже в местах, расположенных выше уровня подвода питателей [62].

Специфическая картина наблюдается при заполнении через нижнюю литниковую систему тонкостенных крупногабаритных отливок. В этом случае даже при равномерном подводе расплава по ширине полости имеет место следующий механизм заполнения [55, 80]: первоначально наблюдается простое одномерное течение (рис. 9, а); за ним равномерность движения расплава нарушается и возникает проточно-поперечное течение расплава (рис. 9, б). Экспериментально установлено, что дробление потока начинается при достижении на его фронте температуры ликвидуса; оно происходит в результате местных колебаний скоростей и интенсивности теплоотвода, а также изменения толщины канала на каком-либо участке по ширине. Выйдя на свободную поверхность, металл проходит определенный путь поперек потока (поперечное течение), образуя треугольник растекания, осью которого является ось протока (рис. 9, в). При поперечном течении интенсивность охлаждения потока максимальная, так как расплав соприкасается с непрогретой формой. Поэтому поперечное течение является лимитирующим звеном процесса заполнения и одним из источников дефекта типа неслитин.

При сосредоточенном подводе расплава неравномерность заполнения по ширине отливок наблюдается уже в первоначальный момент заливки, причем даже у отливок со средней толщиной стенки [46].

Как видно на рис. 10, в первоначальный период расплав поднимается в форме на ограниченном ее участке, т. е. участке, прилегающем к питателю. Это приводит к тому, что один и тот же уровень расплава в форме по ее ширине (см. рис. 10, б) при заполнении через стояк диаметром 40 мм достигается расплавом за различное время. С увеличением высоты и скорости подъема расплава в форме (увеличением времени заполнения) происходит выравнивание фронта потока. Очевидно также, что с уменьшением толщины стенки отливки неравномерность продвижения фронта потока по ее ширине при таком подводе (см. рис. 10, а) будет возрастать.

При заливке плоскостных отливок в горизонтальном положении движение расплава в форме характеризуется образованием параллельно движущихся (рис. 11, а) и встречных (рис. 11, б) потоков. Заполнение таких отливок происходит неравномерно (рис. 11, в): входящий в форму поток вначале продвигается узким фронтом к задней стенке и только затем, отбрасываясь от нее, растекается по всей ширине формы, заполнение которой теперь уже осуществляется как прямым, так и обратным течением расплава. Это приводит к тому, что ближайшие к питателю углы плиты заполняются в последнюю очередь.

Таким образом, конфигурация отливки и способ подвода расплава к ней оказывает самое непосредственное влияние на

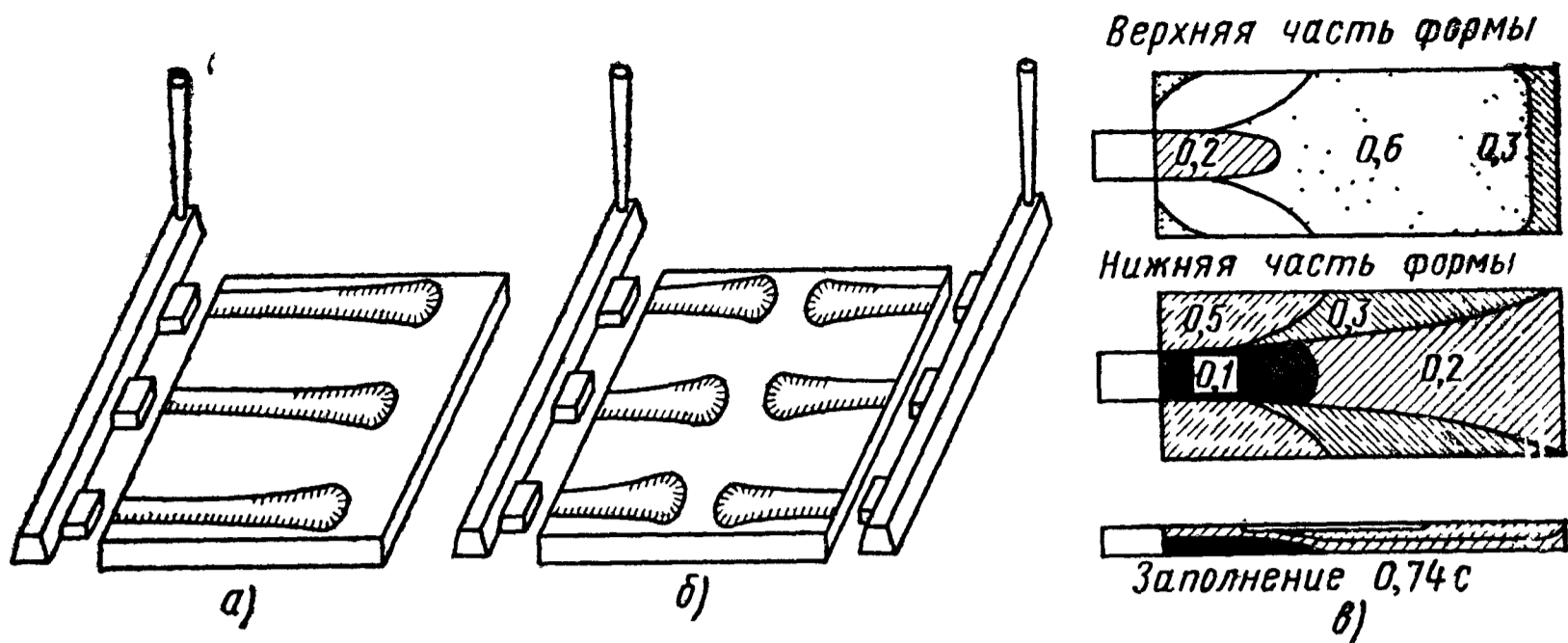


Рис. 11. Заполнение плоскостных отливок в горизонтальном положении: а — параллельно движущиеся потоки; б — встречные потоки; в — движение расплава в плите (200×80×10 мм) в различные периоды [стояк диаметром 30 мм; высота уровня алюминия в чаше 60 мм; $t_{зал} = 750^\circ\text{C}$ [46]; цифры обозначают время (с) от начала заполнения рабочей полости формы]

динамику его потока в форме. В зависимости от этих факторов, кроме уже рассмотренных, возможно образование и других более сложных потоков расплава в форме, что необходимо учитывать при выборе способа подвода расплава к отливке и при рас-

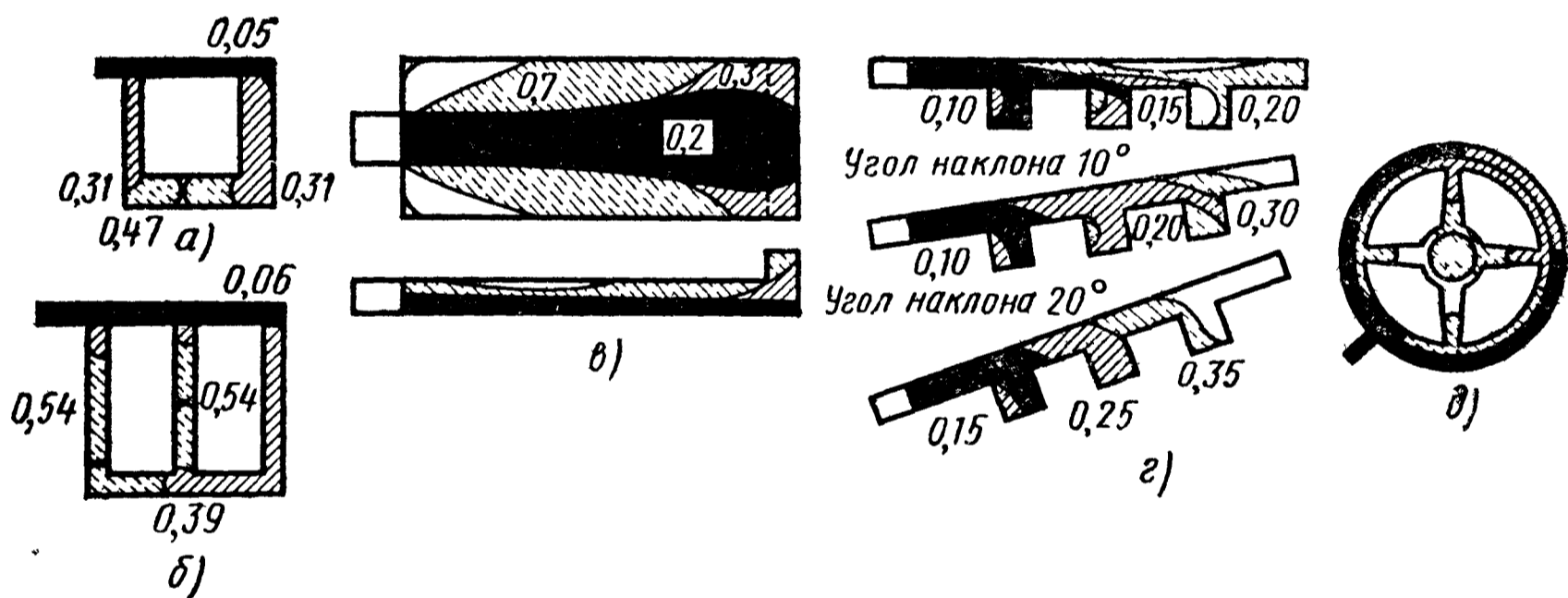


Рис. 12. Виды горизонтальных потоков при заполнении форм алюминиевым сплавом ($t_{зал} = 750^\circ\text{C}$) [46]:

а — квадратные отливки с двумя более толстыми стенками; б — квадратные отливки, разделенные перегородками, в — плиты с прикрепленными к ним фланцами, г — зубчатые отливки; д — колеса [цифрами обозначено время (с) от начала заполнения рабочей полости формы]

чете ее заполняемости (см. п. 5). Некоторые виды горизонтальных потоков, встречающиеся при заполнении форм других конфигураций, показаны на рис. 12 [46].

3. КОЭФФИЦИЕНТ РАСХОДА ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

Одной из важнейших гидродинамических характеристик движущегося в каналах литейной формы потока расплава, числен-

ными значениями которой надо располагать при проектировании литниковой системы, является действительная скорость течения расплава v в том или другом поперечном сечении канала.

Эту скорость определяют по формуле

$$v = \mu v_t = \mu \sqrt{2gH}, \quad (2)$$

где v_t — теоретическая скорость движения металла.

Коэффициент расхода μ учитывает все потери напора в литниковой системе и рабочей полости формы, в зависимости от условий литья он может колебаться в широких пределах (от 0,25 до 0,95). Следовательно, от правильного выбора коэффициента расхода во многом зависит точность расчета действительной скорости потока и в целом литниковой системы.

Расчет коэффициента расхода. Коэффициент расхода литниковой системы можно рассчитать по известной формуле

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \Sigma \zeta_c + \Sigma \zeta_k \left(\frac{F_c}{F_k}\right)^2 + \Sigma \zeta_{\text{п}} \left(\frac{F_c}{F_{\text{п}}}\right)^2}}, \quad (3)$$

где $\Sigma \zeta_c$, $\Sigma \zeta_k$, $\Sigma \zeta_{\text{п}}$ — сумма местных и линейных коэффициентов гидравлических сопротивлений, соответственно стояка, коллектора и питателей, отнесенная к расчетной площади поперечного сечения канала, в данном случае стояка.

Однако на практике выполнение расчетов по формуле (3) в значительной степени затруднено, во-первых, из-за ограниченного количества справочных данных о гидравлических коэффициентах для сопротивлений и режимов, характерных для литниковых систем, во-вторых, из-за трудностей использования самих этих коэффициентов.

В частности, эти трудности связаны со следующими нерешенными вопросами:

1) реальные литниковые каналы имеют небольшую длину. Местные сопротивления их (вход из стояка в зумпф, поворот в коллектор, и из него в питатели и др.) расположены на небольшом расстоянии и поэтому оказывают сильное взаимное влияние. В гидравлике же все коэффициенты получены без учета этого влияния, что снижает точность их применения;

2) для широкой номенклатуры местных сопротивлений гидравлические коэффициенты установлены только для области автомодельного режима движения ($Re > 50\,000$), когда эти коэффициенты не зависят от критерия Рейнольдса. В области режима течения, характеризующегося меньшими числами Рейнольдса ($Re < 50\,000$) и чаще всего наблюдаемого в литниковых каналах, эти коэффициенты изучены недостаточно [50];

3) в гидравлических справочниках отсутствуют коэффициенты местных сопротивлений, характерных только для литниковых каналов (например, вход из стояка в зумпф, а из него в коллектор и др.). Кроме того, полученные в гидравлике коэффициенты

не учитывают влияние теплофизических, физико-химических и других процессов, сопутствующих заполнению литейной формы;

4) различные авторы в гидравлике рекомендуют разные значения коэффициентов для одних и тех же видов местных сопротивлений. Поэтому выбор самих коэффициентов или их расчет требует определенного опыта. Во всяком случае, здесь необходим тщательный анализ условий, при которых получены значения коэффициентов местных сопротивлений, и их сопоставление с конкретным местным сопротивлением литниковой системы, и, безусловно, последующая (после расчета) экспериментальная проверка. Только после проверки на реальных литниковых системах можно использовать взятые из гидравлики коэффициенты для практических расчетов производственных отливок.

С целью уточнения значений коэффициентов местных и линейных сопротивлений применительно к специфическим конструкциям литниковых систем проведено много экспериментов по определению гидравлических потерь в литниковых каналах как при заливке моделей водой, так и при заливке форм жидким металлом.

Однако полученные при этом (в большом количестве) численные значения коэффициентов местных сопротивлений мало систематизированы, часто пригодны только для конкретных условий опыта, и поэтому их практическое использование встречает не меньшие трудности, чем использование коэффициентов, взятых из гидравлики, и не всегда обеспечивает большую точность расчетов.

Кроме того, проведение расчетов коэффициента расхода по формуле (3) усложняется необходимостью применения метода последовательных приближений, поскольку перед началом расчета неизвестны площади поперечных сечений литниковых каналов.

Вместе с тем отметим, что накопление данных о величинах коэффициентов местных и линейных сопротивлений имеет важное значение, так как ускоряет совершенствование точности расчетов литниковых систем [47]. Значение этих коэффициентов следует определять для широкой номенклатуры местных сопротивлений и при режимах течения расплава, характерных для литниковых каналов, с учетом теплофизических условий, как это принято в гидравлике, где подобные коэффициенты постоянно изучаются и уточняются. При экспериментальном определении гидравлических сопротивлений литниковых систем в ряде случаев более целесообразным и обоснованным, очевидно, будет оценка значений суммарных коэффициентов для группы близко расположенных местных сопротивлений, ибо их отдельное изучение невольно искажает динамику потока и влияет на конечные результаты [10].

Экспериментальное определение коэффициента расхода. Для накопления практических данных, необходимых для выполнения

етов, были проведены специальные эксперименты [14, 16] по делению коэффициента расхода опытных конструкций расширяющихся ($F_c < F_k < F_{II}$) литниковых систем (см. рис. 13).
 Размерные характеристики испытанных литниковых систем, мм: высота чаш 70—280; высота стояков 150—1200; диаметр



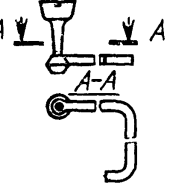
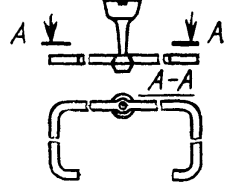
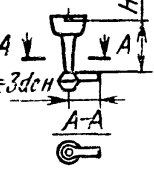
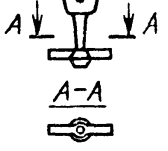
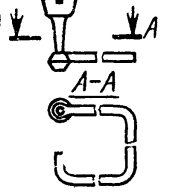
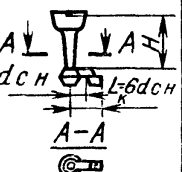
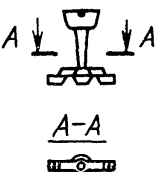
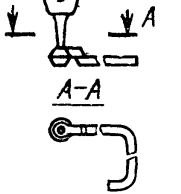
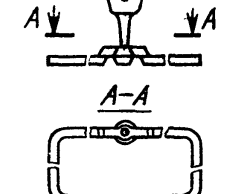
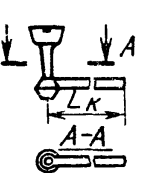
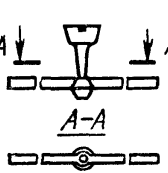
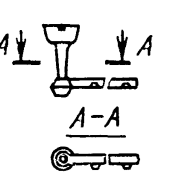
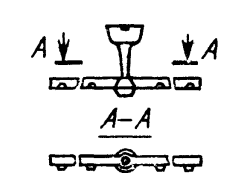
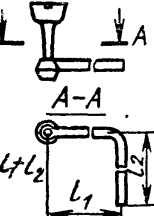
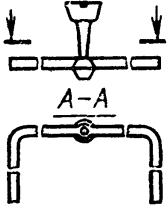
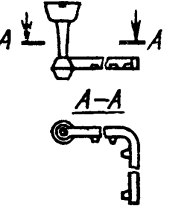
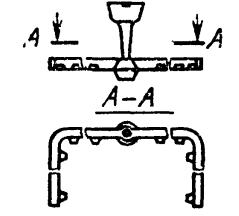
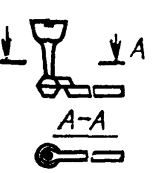
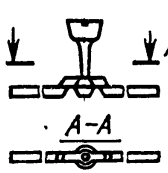
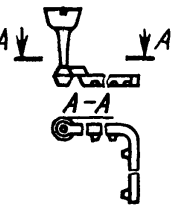
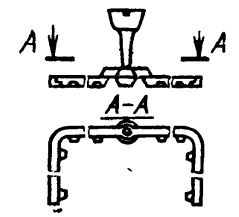
Тип системы	Л-А односторонний коллектор	Л-В двусторонний коллектор	Тип системы	Л-А односторонний коллектор	Л-В двусторонний коллектор
Л-1	 	—	Л-7		
Л-2			Л-8		—
Л-3			Л-9		
Л-4			Л-10		
Л-5			Л-11		
Л-6			Л-12		

Рис. 13. Схемы опытных литниковых систем

стояков 8—30; длина одностороннего коллектора 150—600, длина двустороннего коллектора 300—1200; число питателей 2—12.

Литниковые системы с указанными размерами чаще всего применяются в практике литья легких сплавов и пригодны для получения машиностроительных отливок широкой номенклатуры массой до 500 кг (по алюминию).

Кроме размеров и форм литниковых каналов (гидравлические факторы) изучали влияние на коэффициент расхода состава сплава, его модифицирования и температуры заливки (теплофизические факторы).

Всего таким образом было испытано 23 конструкции литниковых систем (вместе с чашами), что составило около 500 различных вариантов испытания. Конструктивные размеры литниковых каналов (радиусы скруглений острых кромок на входе из чаши в стояк, на выходе из стояка, у питателей, размеры литниковых чаш, зумпфа, стояка и др.) принимали исходя из условий обеспечения минимальных возмущений в них и исключения подсоса воздуха [69].

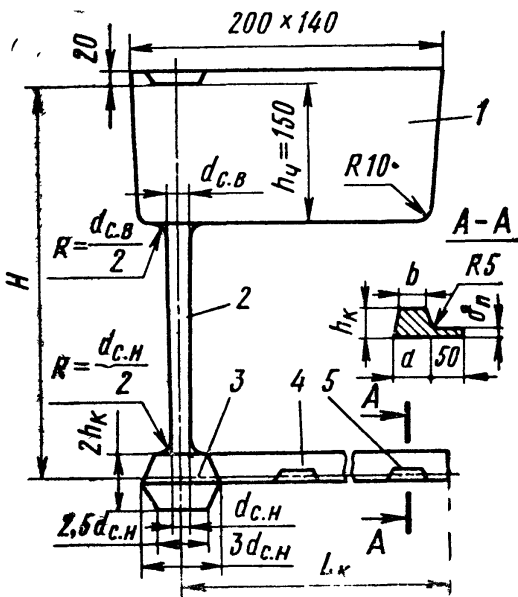


Рис. 14. Конструктивные размеры литниковых систем:

1 — чаша; 2 — стояк; 3 — зумпф; 4 — коллектор; 5 — питатель; $b = 0,8 a$; $h_{к} = 1,2 a$

Поскольку эти размеры оказывают также определенное влияние на гидравлическое сопротивление, при конструировании реальных литни-

ковых систем необходимо придерживаться принятых при этом соотношений между названными размерами, показанными на рис. 14. Опыты проводили на установке и по методике, описанной в работе [14].

Коэффициент расхода μ литниковой системы вычисляли из отношения действительного расхода $Q_{д}$, определяемого по пересчету массы вытекшего металла на объем, к теоретическому $Q_{т}$, т. е. $\mu = Q_{д}/Q_{т}$. Теоретический расход рассчитывали во всех случаях по отношению к нижнему сечению стояка (для литниковых чаш — к выходному отверстию), так как это сечение является наименьшим и расчетным в расширяющихся конструкциях литниковых систем, т. е.

$$Q_{т} = F_{с} \sqrt{2gH},$$

где $F_{с}$ — площадь нижнего поперечного сечения стояка; H — напор над указанным сечением.

Ниже описываются основные результаты экспериментов.

Влияние температуры заливки на коэффициент расхода некоторых типов литниковых систем показано на рис. 15. Если на графике провести к кривым касательные, то они будут иметь примерно одинаковый угол наклона к оси абсцисс. Следовательно

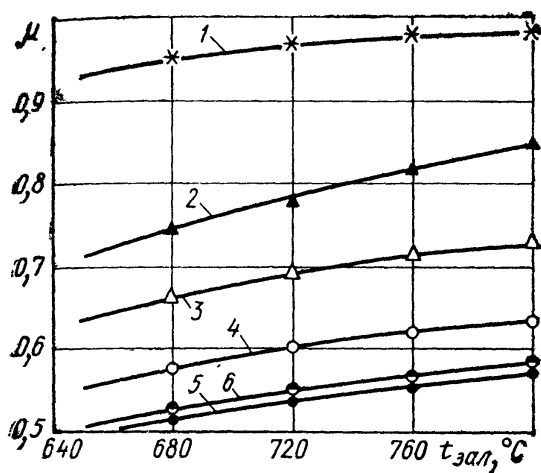


Рис. 15. Зависимость коэффициента расхода от температуры заливки расплава при $H=450$ мм; $h_ч=150$ мм; $d_{с.н}=12$ мм; $L_к=600$ мм; $n=4$; $F_с : F_к : F_п=1 : 2 : 4$;
1—для чаши; 2—Л-1; 3—Л-2А; 4—Л-4А;
5—Л-9А; 6—Л-11А

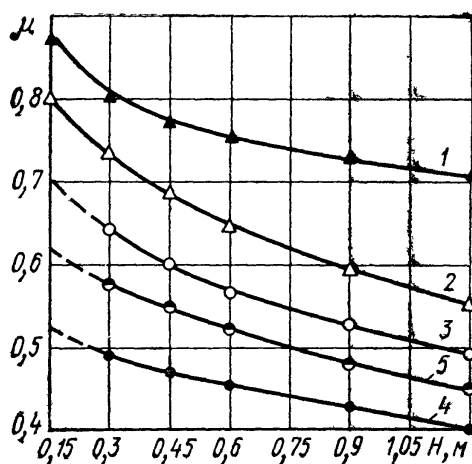


Рис. 16. Зависимость коэффициента расхода от напора H при $t_{зал}=720$ °С; $h_ч=150$ мм; $d_{с.н}=12$ мм; $F_с : F_к : F_п=1 : 2 : 4$; $n=4$; $L_к=600$ мм;
1—Л-1А; 2—Л-3А; 3—Л-4А; 4—Л-9А;
5—Л-11А

но, закономерность изменения μ от температуры заливки сплава тоже примерно одинакова для различных конструкций литниковых систем. При повышении температуры заливки сплава с 680 до 800 °С коэффициент расхода возрастает более чем на 0,1 своей первоначальной величины.

Влияние напора на коэффициент расхода изучали при напорах 70, 110, 150 и 280 мм для литниковой чаши и при напорах 450, 600, 900 и 1200 для всех остальных систем.

На рис. 16 видно, что с увеличением напора от 0,3 до 1,2 м величина коэффициента расхода уменьшается примерно на 0,1—0,175 в зависимости от типа литниковой системы. Изменение высоты литниковой чаши в пределах 0,07—0,28 м не приводит к существенному изменению коэффициента расхода чаши, который находится в пределах 0,985—0,965 (см. табл. 1).

Влияние площади поперечного сечения литниковых каналов на коэффициент расхода изучали путем изменения диаметра стояка в нижнем сечении $d_{с.н}$ (у литниковой чаши — диаметр выходного отверстия d_0). У системы Л-1 $d_{с.н}$ изменяли от 8 до 30 мм. Эту систему испытывали также со стояками прямоугольного сечения. У остальных систем диаметр стояка изменяли от 12 до 30 мм. Как видно из рис. 17, с увеличением площади сече-

Таблица 1

Коэффициент расхода литниковых чаш

Диаметр выходного отверстия чаши, мм	$h_{\text{ч}}$, мм	$t_{\text{зал}}$, °C	$\mu_{\text{ч}}$
12	70	720	0,980
	150 200—280		0,970 0,965
20 30	150	680	0,950
		760 800	0,975 0,980
20 30	150	720	0,975 0,985

ния стояка примерно до $f_{\text{с.н}}=1 \text{ см}^2$ ($d_{\text{с.н}}=10 \text{ мм}$) кривые 2 и 3 круто поднимаются — коэффициент расхода быстро растет. При дальнейшем увеличении $f_{\text{с.н}}$ рост коэффициента расхода замедляется — кривые идут более полого. С уменьшением сечения

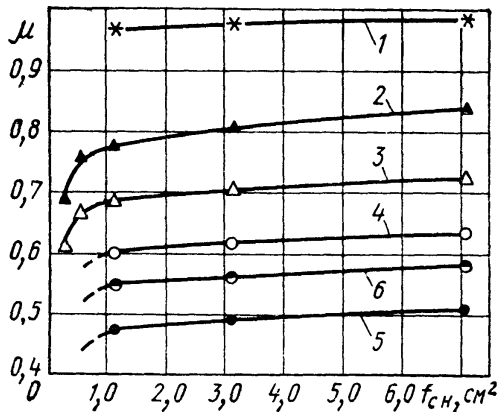


Рис. 17. Зависимость коэффициента расхода от площади нижнего сечения стояка при $t_{\text{зал}}=720 \text{ °C}$; $H=450 \text{ мм}$; $h_{\text{ч}}=150 \text{ мм}$; $L_{\text{к}}=600 \text{ мм}$; $n=4$; $F_{\text{с}}:F_{\text{к}}:F_{\text{п}}=1:2:4$:

1 — для чаши ($d_0=18 \text{ мм}$); 2 — Л-1; 3 — Л-2А; 4 — Л-4А; 5 — Л-9А; 6 — Л-11А

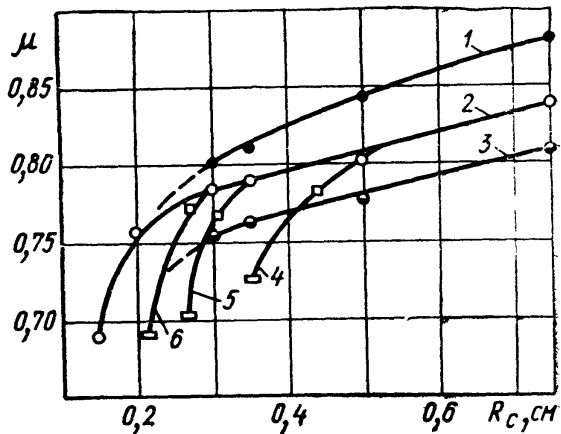


Рис. 18. Зависимость коэффициента расхода системы Л-1 от гидравлического радиуса стояков круглых (кривые 1—3) и прямоугольных (кривые 4—6) сечений при $t_{\text{зал}}=720 \text{ °C}$; $h_{\text{ч}}=150 \text{ мм}$:

1— $H=0,3$; 2— $H=0,45$; 3— $H=0,6 \text{ м}$; 4— $H=0,45$; $f_{\text{с.н}}=3,14$; 5— $H=0,45$; $f_{\text{с.н}}=1,54$; 6— $H=0,45 \text{ м}$; $f_{\text{с.н}}=1,13 \text{ см}^2$

канала увеличивается отношение поверхности к площади сечения (т. е. уменьшается гидравлический радиус канала), а следовательно, увеличиваются потери на трение, что и является при-

ной резкого уменьшения коэффициента расхода в каналах мало поперечного сечения.

Из рис. 18 следует, что у стояков круглого сечения изменение μ в зависимости от площади сечения стояков при постоянном напоре (например, $H=0,45$ м) описывается одной и той же кривой 2, у стояков прямоугольного и квадратного сечения при тех же условиях зависимость $\mu=f(f_{с.п})$ описывается уже тремя кривыми (4, 5, 6), т. е. каждая величина площади поперечного сечения стояка — своей кривой. На рисунке видно также, что коэффициент расхода круглых стояков (кривая 2) выше, чем коэффициент расхода стояков квадратного и прямоугольного

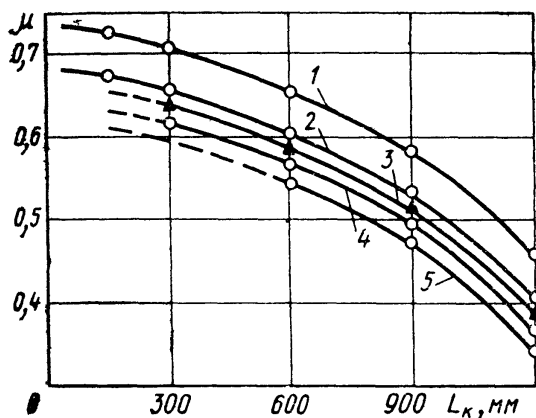


Рис. 19. Зависимость коэффициента расхода от длины коллектора при $t_{зал}=720^\circ\text{C}$; $H=450$ мм; $h_q=150$ мм; $d_{с.п}=12$ мм; $F_c : F_k = 1 : 2$:

1 — Л-4А ($F_c : F_k = 1 : 4$); 2 — Л-4А;
3 — Л-5А; 4 — Л-7А; 5 — Л-9А

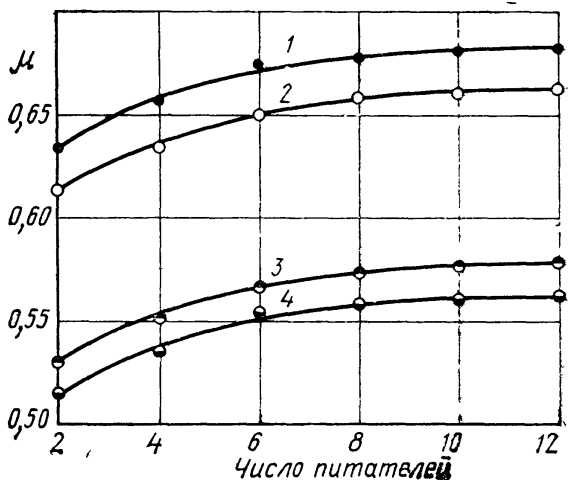


Рис. 20. Зависимость коэффициента расхода от числа питателей при $t_{зал}=720^\circ\text{C}$; $h_q=150$ мм; $d_{с.п}=12$ мм; $L_k=600$ мм:

1 — Л-10В ($H=450$ мм; $F_c : F_k : F_{п} = 1 : 4 : 4$); 2 — Л-10А ($H=450$ мм, $F_c : F_k : F_{п} = 1 : 2 : 4$); 3 — Л-11А ($H=450$ мм; $F_c : F_k : F_{п} = 1 : 2 : 4$); 4 — Л-10А ($H=600$ мм; $F_c : F_k : F_{п} = 1 : 2 : 4$)

сечений (кривые 4—6) при одних и тех же величинах гидравлического радиуса канала и одинаковом напоре. Резкое уменьшение расхода расплава в каналах квадратного и прямоугольного сечений по сравнению с круглыми каналами, по-видимому, объясняется увеличением в первых каналах гидравлического сопротивления за счет сил поверхностного натяжения, особенно проявляющихся в узких каналах. Поверхностное натяжение, очевидно, также не позволяет сплаву заполнить острые углы сечения прямоугольных и квадратных стояков, что является также причиной падения расхода.

Влияние длины и конфигурации коллектора на коэффициент расхода изучали на литниковых системах Л-4—Л-9 с односто-

ронним и двусторонним коллекторами, длину которых изменяли от 150 до 1200 мм. С увеличением длины и усложнением конфигурации коллектора (рис. 19) коэффициент расхода уменьшается. Сравнение работы систем Л-5А и Л-6А показало, что они имеют близкие значения расхода расплава. Это свидетельствует о том, что при повороте потока сверху вниз в коллекторе (система Л-6А) наблюдаются примерно такие же потери напора, как и при плавном повороте коллектора в горизонтальной плоскости (система Л-5А).

Таблица 2

Значения коэффициента расхода

Тип системы	H, мм	μ	
		для плавного поворота	для поворота под прямым углом
Л-5А	300	0,619	0,559
	600	0,553	0,510
Л-7А	300	0,516	0,450
	900	0,443	0,401

В табл. 2 приведены значения коэффициентов расхода для литниковых систем Л-5А и Л-7А, коллекторы которых имели плавный (радиус закругления $R=36$ мм) поворот и поворот под прямым углом. Видно, что литниковая система с плавным поворотом обладает меньшими гидравлическими

сопротивлениями (имеет большее значение μ), чем система с резким поворотом коллектора.

Условия опыта: $t_{\text{зал}}=720^\circ\text{C}$; $h_{\text{ч}}=150$ мм; $d_{\text{с.н}}=12$ мм; $F_{\text{с}}:F_{\text{к}}=1:2$; $L_{\text{к}}=600$ мм (для Л-5А) и 900 мм (для Л-7А)

Влияние числа питателей (от 2 до 12) на коэффициент расхода изучали на системах Л-10, Л-11 и Л-12, причем суммарная площадь поперечного сечения питателей $F_{\text{п}}$ и длина коллектора $L_{\text{к}}$ оставались неизменными. Как видно из рис. 20, с увеличением числа питателей коэффициент расхода увеличивается, а не уменьшается, как следовало бы ожидать, учитывая добавочные местные сопротивления, создаваемые питателями. Рост коэффициента расхода продолжается при увеличении числа питателей до 8; дальнейшее увеличение числа питателей не сказывается заметно на его изменении.

При одинаковой длине коллектора увеличение коэффициента расхода в системах с равномерно распределенными вдоль коллектора питателями (Л-10, Л-11, Л-12) по сравнению с аналогичными системами без питателей (Л-4, Л-5, Л-6) объясняется большими путевыми гидравлическими потерями в коллекторе во втором случае. В системах без питателей весь расплав проходит через всю длину коллектора, а в системах же с питателями через всю длину коллектора проходит только часть расплава, поэтому потери на трение здесь меньше. В то же время потери на местные сопротивления в питателях расширяющихся систем при $F_{\text{п}}/F_{\text{к}} \geq 2$, обеспечивающих относительно невысокие линейные скорости потока, незначительны. Поэтому у данных конструкций

никовых систем путевые потери в коллекторе превышают по-
ри на местные сопротивления в питателях.

Влияние соотношения площадей поперечных сечений ($F_c : F_k :$
 $: F_n$) на коэффициент расхода исследовали на системах Л-5—
Л-12. Отношение F_k/F_c изменяли от 2 до 4, а F_n/F_k от 1 до 3.
Зависимость $\mu = f(F_k/F_c)$ для системы Л-4 приведена на рис. 21,

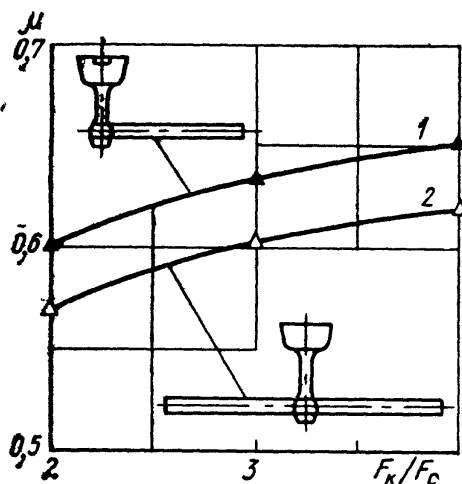


Рис. 21. Зависимость коэффици-
циента расхода от отношения
 F_k/F_c при $t_{зал} = 720^\circ\text{C}$; $H =$
 $= 450$ мм; $h_ч = 150$ мм; $d_{с.н} =$
 $= 12$ мм; $L_k = 600$ мм:
1 — Л-4А; 2 — Л-4В

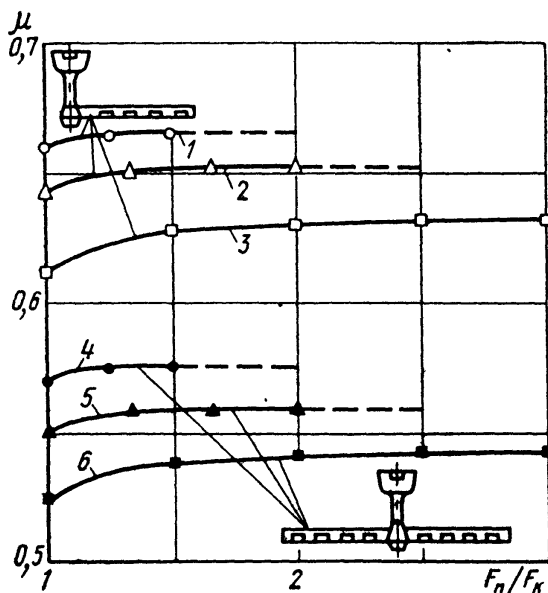


Рис. 22. Зависимость коэффициента
расхода от отношения F_n/F_k для
системы Л-10 при $t_{зал} = 720^\circ\text{C}$; $h_ч =$
 $= 150$ мм; $d_{с.н} = 12$ мм: 1, 2, 3 —
 $H = 450$ мм; $L_k = 600$ мм, $n = 4$, $F_c : F_k$
соответственно 1 : 4, 1 : 3 и 1 : 2;
4, 5, 6 — $H = 600$ мм, $L_k = 900$, $n = 8$,
 $F_c : F_k$ соответственно 1 : 4, 1 : 3
и 1 : 2

а $\mu = f(F_n/F_k)$ для системы Л-10 — на рис. 22. В обоих случаях
с увеличением отношения площади последующего элемента к
площади предыдущего коэффициент расхода увеличивается. Это
увеличение практически прекращается при $F_k/F_c = 4$ в первом
случае и при $F_n/F_k = 1,5-2$ (в зависимости от отношения
 F_c/F_k) — во втором случае. Таким образом, значения коэффи-
циента расхода для отношений F_k/F_c и F_n/F_k , при которых пре-
кращается его увеличение, можно при расчетах использовать и
для всех других отношений, больше указанных.

Влияние состава сплава и модифицирования на коэффициент
расхода изучали на системе Л-1 ($d_{с.н} = 12$ мм, $H = 450$, $h_ч =$
 $= 150$ мм), заливая ее модифицированными и немодифицирован-
ными сплавами АЛ-2 и АЛ-9. Результаты опытов представлены
в табл. 3.

Как видно, нет существенной разницы в значениях μ для
сплавов АЛ2 и АЛ9 как модифицированных, так и немодифи-

цированных. Поскольку вязкость модифицированных сплавов, несколько раз (через 10 мин после рубки в 10 раз, а через 50 мин в 2 раза) выше вязкости немодифицированных сплавов [34], можно считать, что она не оказывает заметного влияния на

Таблица 3

Величина коэффициента расхода системы Л-1 в зависимости от условий заливки

Сплав	Заливка сплавом		
	немодифицированным	модифицированным и выдержанным	
		10 мин	50 мин
АЛ2	0,778	0,780	0,784
АЛ9	0,772	0,770	0,774

Примечание. Отчет времени произведен после замешивания модификатора.

коэффициент расхода литниковой системы поправки, которую для отливок со стенками до 6 мм принимают равной 5—7%, а для отливок со стенками толщиной 7—10 мм — до 5% от коэффициента расхода литниковой системы. При толщине стенок отливок свыше 10 мм, при верхнем подводе металла, а также при определении расхода в начальной стадии заливки, когда металлом заполнена лишь небольшая часть полости формы, сопротивление последней незначительно, и его влияние на коэффициент расхода можно не учитывать.

На основе описанных выше экспериментов и исследований, проведенных другими авторами [48, 90, 95], можно сделать следующие основные выводы о влиянии различных факторов на коэффициент расхода литниковых систем.

1. На величину коэффициента расхода наибольшее влияние оказывают формы и размеры литниковых каналов (гидравлические факторы), а также вид сплава (чугун, сталь, легкие сплавы) и температура заливки сплавов (теплофизические факторы).

2. Основные гидравлические потери литниковой системы сосредоточены в стояке (Л-1), повороте в коллектор (Л-2) и самом коллекторе (Л-3). Сопротивления литниковой чаши при закругленном входе в стояк, питателях, также при плавном сочленении их с коллектором, и рабочей полости формы незначительны [69, 90].

3. Не оказывают существенного влияния на коэффициент расхода такие факторы, как форма и размеры зумпфа, состоя-

коэффициент расхода, значения которого для практических расчетов можно принять одинаковыми для всех алюминиевых и магниевых сплавов.

Влияние сопротивления рабочей полости формы на коэффициент расхода изучали при заливке реальных отливок. Опыты показали, что сопротивление рабочей полости формы зависит в основном от толщины стенки отливки и во всех случаях не превышает 7% от сопротивления литниковой системы.

При расчете общего коэффициента расхода это сопротивление учитывают введением в коэф-

е песчаной формы (сырая или подсушенная), шероховатость поверхности формы, способ подвода расплава к телу отливки параллельно или перпендикулярно стенке, по касательной т. д.), состав заливаемого сплава (Al—Si; Al—Cu; Mg—Al и т. п.) в пределах одного вида сплава (чугун, сталь, легкие сплавы), а также модифицирование сплавов.

4. При литье легких сплавов в реальных сечениях литниковых каналов твердая корочка на их стенках не образуется.

Рекомендации по расчету фактической скорости течения расплава на основе полученных экспериментальных значений коэффициента расхода приведены в гл. III и IV.

4. РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В КАНАЛАХ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

Ламинарный и турбулентный режим движения жидкого металла. В природе существуют два различных вида движения жидкости: 1) слоистое, упорядоченное или ламинарное движение, при котором отдельные слои жидкости скользят друг относительно друга, не смешиваясь между собой; 2) неупорядоченное, так называемое турбулентное (завихренное) движение, когда частицы жидкости движутся по сложным, все время изменяющимся траекториям, и в жидкости происходит интенсивное перемешивание.

Режим (состояние потока) движения жидкого металла в каналах литейной формы зависит от скорости потока, вязкости расплава, формы и размеров поперечного сечения канала. Связь между этими факторами характеризуется критерием Рейнольдса:

$$Re = \frac{4vR}{\nu} = \frac{vd}{\nu}, \quad (4)$$

где R — гидравлический радиус канала в рассматриваемом сечении ($R = F/P$, где F — площадь живого сечения потока, m^2 и P — смоченный периметр канала, m); v — средняя по сечению канала скорость движения металла, m/c ; d — периметр канала, m ; ν — коэффициент кинематической вязкости расплава, m^2/c .

Таким образом, для расчета числа Re помимо размеров литниковых каналов и скорости потока необходимо располагать численными значениями вязкости сплавов.

Известно, что значительное влияние на вязкость сплавов оказывают присутствующие в расплаве твердые неметаллические включения, в первую очередь окислы и шлаки. По данным Е. Г. Швидковского [86], вязкость алюминия после его выдержки в течение нескольких часов при температуре $800^\circ C$ примерно на 30% выше, чем вязкость того же, но неокисленного расплава. Отсюда следует, что вязкость расплавов в производствен-

ных условиях всегда выше вязкости, полученной при экспериментах в условиях, гарантирующих от окисления, из-за наличия в расплавах взвешенных частиц окислов и шлаков. Поэтому при расчетах литниковых систем табличные значения коэффициентов вязкости, приведенные в справочной литературе, следует увеличить на 30%.

По данным работы [1], среднее значение вязкости алюминиевых сплавов в интервале температур 740—760°C (при $\rho_c = 2400 \text{ кг/м}^3$) примерно равно $4,63 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$. Для магниевых сплавов, по данным А. М. Королькова [34] (при $t = 800^\circ\text{C}$ и $\rho_c = 1600 \text{ кг/м}^3$), $\nu \approx 5,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$. Тогда (с учетом увеличения вязкости на 30%) для практических расчетов можно принять $\nu = 6 \cdot 10^{-7}$ для алюминиевых и $\nu = 7 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ для магниевых сплавов.

Тот или иной режим течения жидкости определяется нижним $Re_{кр.н}$ и верхним критическим числом Рейнольдса $Re_{кр.в}$.

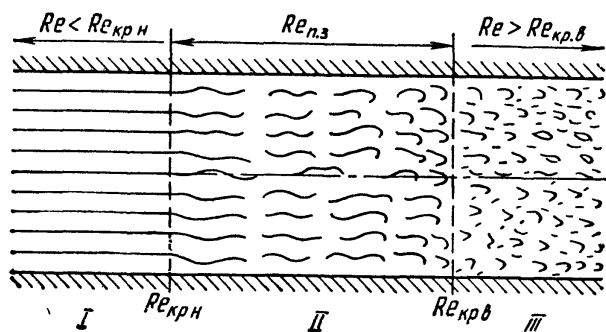


Рис. 23. Структура потока жидкости при переходе от ламинарного режима в турбулентный

На рис. 23 приведена схема, поясняющая картину перехода ламинарного потока в турбулентный. При значениях $Re < Re_{кр.н}$ возможен только ламинарный (I), а при значениях $Re > Re_{кр.в}$ только турбулентный режим (III). В интервале между нижним и верхним критическим числом Рейнольдса, т. е. при $Re_{кр.н} < Re < Re_{кр.в}$ расположена так называемая переходная зона II, в которой возможно существование как ламинарного, так и турбулентного режима.

С ростом числа Re степень перемешивания (степень турбулентности) струек жидкости в переходной зоне постепенно увеличивается, достигая максимального значения при $Re = Re_{кр.в}$. При дальнейшем увеличении числа Рейнольдса степень турбулентности не изменяется [44].

Опыты показывают, что одновременно с переходом ламинарного движения в турбулентное изменяется характер распределения скоростей по сечению потока, а также характер гидравлических сопротивлений.

При ламинарном движении (рис. 24, а) распределение скоростей по сечению канала имеет параболический характер (непосредственно у стенок скорости равны нулю, а при удалении от

них непрерывно и плавно возрастают, достигая максимума на оси канала), а потери напора пропорциональны скорости в первой степени [82].

При турбулентном движении (рис. 24, б) закон распределения скоростей сложнее (в пределах большей части поперечного сечения канала скорости лишь незначительно меньше максимального значения (на оси), но зато вблизи стенок величина скорости резко падает), а гидравлические потери пропорциональны скорости в степени, большей единицы.

Сложный характер распределения скоростей при турбулентном движении обуславливается сложностью структуры самого потока в поперечном сечении канала. У самой стенки канала

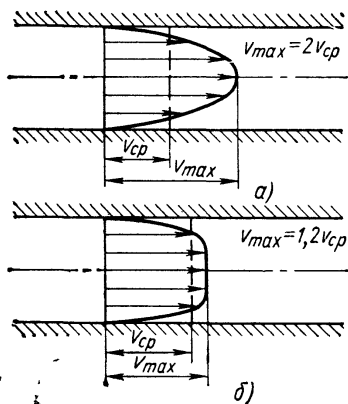
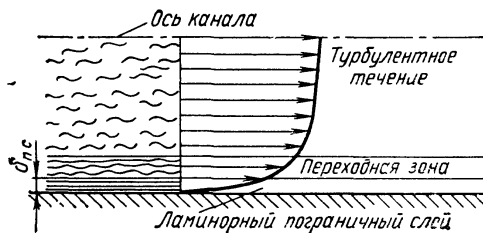


Рис. 24. Распределение скоростей при различных режимах движения жидкости в круглом канале

Рис. 25. Структура турбулентного потока в поперечном сечении канала



(рис. 25) турбулентное перемешивание парализуется наличием твердых границ, здесь образуется весьма тонкий ламинарный пограничный слой (на рис. 25 его толщина $\delta_{п.с}$ преувеличена — показана не в масштабе), где наблюдается быстрое падение скоростей. По мере удаления от стенок частицы у периферии вовлекаются во все большее перемешивание, осуществляемое поперечными составляющими скоростей, формируя переходную зону потока, характеризующуюся более медленным падением скоростей по сечению потока. Ядро потока имеет ярко выраженный турбулентный характер, здесь стенки канала уже не препятствуют непрерывному перемешиванию периферийных частиц с частицами центра потока, обладающих большими скоростями, что приводит к выравниванию скоростей по сечению канала.

Расчет толщины пограничного слоя (для случая движения расплава в литниковых каналах) по известной из гидравлики формуле $\delta_{п.с} \approx \frac{65r}{Re \sqrt{\lambda}}$ (где r — радиус канала, см; λ — коэффициент гидравлического трения, величину которого можно принять равной 0,004 [20]) показывает, что величина $\delta_{п.с}$ составляет доли миллиметра и уменьшается с возрастанием числа Re .

Многочисленными гидравлическими экспериментами установлено, что критические числа Рейнольдса не являются вполне постоянными величинами, а изменяются в довольно широких пределах (особенно $Re_{кр.в}$) в зависимости от различных условий, главными из которых являются условия входа в канал, условия притекания жидкости к этому входу), протяженность канала, его форма и др.

Нашедшее широкое распространение в гидравлике значение нижнего критического числа, равное $R_{кр.н}=2320$, установлено для случая течения воды в круглых прямых трубах постоянного сечения. Для других условий течения получены следующие значения чисел $Re_{кр.н}$ [87]: в области входа в трубу 300; для открытых русел 800—900; для кольцевых щелей 970 и т. д.

Числовое значение верхнего критического числа Re колеблется от 4500 до 50 000 [44, 87]. Так, отдельными исследованиями установлены следующие величины $Re_{кр.в}$: О. Рейнольдсом — 12 300, Л. Шиллером 20 000; В. В. Экманом — 50 000. Приведенные значения чисел $Re_{кр}$ относятся к трубам или каналам достаточно большой протяженности при условии неизменности форм их поперечного сечения и при равномерном движении жидкости. При неравномерном движении, которое характерно для каналов литейной формы, условия могут резко изменяться, а следовательно, будут другими и значения указанных чисел.

На основании изложенного можно полагать, что режим течения металла в каналах литейной формы может быть самым разнообразным (в зависимости от размеров и конфигурации каналов). В рабочей полости формы и питателях, для которых характерно движение металла при небольших скоростях, вероятнее всего ламинарное течение, в стояке и коллекторе течение может иметь различную степень турбулентности.

Известно, что для получения качественных отливок из легких сплавов необходимо стремиться к заполнению литейных форм ламинарными потоками. Однако при заливке форм под напором стояка эта задача в полной мере, видимо, неразрешима. Поэтому одной из важнейших проблем, решение которой необходимо для создания научно обоснованных методов проектирования литниковых систем, является постановка и проведение экспериментов по определению допустимой степени турбулентности потока в литниковых каналах и рабочей полости формы, не приводящей к загрязненности отливки (образование пены, шлаков и др.).

Экспериментальное определение допустимой степени турбулентности потока в каналах литейной формы. Данных о максимально допустимых значениях чисел Рейнольдса (Re_{max}), полученных непосредственно при течении жидких металлов, весьма мало. Так, В. Руфф получил для случая течения в цилиндрическом канале чугуна $Re_{max}=7000$, стали $Re_{max}=3500$. По данным работы [98], для стали и чугуна числа Re_{max} в каналах литейной

формы не должны превышать 20 000, а для обеспечения особо спокойных условий заполнения — 4 000—10 000.

Е. М. Ноткин на основе экспериментов с гидравлическими моделями и алюминиевыми отливками [45] установил, что максимально допускаемые числа Рейнольдса не должны превышать для стояка 10 000, коллектора 7000, питателей 1100 и рабочей полости формы 280 (при расчете чисел Re Е. М. Ноткин принимал $\nu = 2,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$).

С целью определения начала возникновения турбулентности при входе расплава в форму С. А. Черный [75] провел моделирование четырех типов литниковых систем, применяемых для заливки алюминиевых и магниевых сплавов. Литниковые системы, соединенные с резервуаром, имитирующим отливку, заливали водой, возникновение турбулентности оценивали визуально по состоянию потока при входе в резервуар. Результаты приведены в табл. 4. В ней же для сравнения приведены значения чисел

Таблица 4

Максимально допустимые числа Рейнольдса в рабочей полости формы в зависимости от конструкции отливки и литниковой системы

Номера моделей литниковой системы	Характеристика отливок	Схема литниковой системы	Число Рейнольдса	
			при испытании водой	в пересчете на алюминиевые сплавы
1	Длина и ширина отливок больше высоты	Стояк, двухсторонний коллектор и два щелевых питателя	3870	5800
2	Длинномерные отливки, расположенные в форме горизонтально	Стояк, коллектор и щелевой питатель	3980	6000
3	Высота отливки больше длины и ширины	Стояк, вертикальный колодец и вертикальная щель	790	1270
4	Длинномерные отливки, расположенные в форме вертикально	Двухъярусная (и более), каждый ярус является подобием модели 1	790	1270

Рейнольдса для алюминиевых ($\nu = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$) и магниевых ($\nu = 7 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$) сплавов, полученные пересчетом данных по воде ($\nu = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) при константе подобия $C_l = (\nu_{\text{ш}}/\nu_{\text{м}})^{2/3}$.

В работе [75] отмечается, что перестройка литниковых систем с обеспечением режимов заполнения форм, указанных в табл. 4, позволила устранить брак по включениям шлака и пены на отливках из алюминиевых и магниевых сплавов.

Удовлетворительные результаты по задержанию неметаллических включений в коллекторе получены при максимальных

значениях числа Рейнольдса: 12 400 для чугуна, 16 600 для стали и 11 400 для бронзы [96].

Качественное изучение образующейся в литниковых каналах и рабочей полости формы турбулентности проводили многие исследователи, заливая литейные формы холодными жидкостями и расплавленным металлом и применяя различные методы оценки: визуальное наблюдение, съемку на скоростную киноплёнку [9], рентгенографию и др. Цель исследований — выработка рекомендаций по корректировке конструкции и размеров литниковых систем применительно к конкретным условиям литья, обеспечивающим устранение дефектов, связанных с турбулентностью потока.

Обширные исследования причин возникновения турбулентности при течении жидкой стали в каналах литниковой системы

Таблица 5
Условная оценка характера движения жидкости и его признаки

Балл	Движение	Признаки
1	Условно ламинарное	Без возмущений поверхности потока
2	Слабо турбулентное	На поверхности потока слабая рябь или небольшие волны
3	Умеренно турбулентное	Крупная рябь, небольшие воронки, волны большой высоты и кривизны, отдельные пузыри
4	Сильно турбулентное	Крупные воронки, вызывающие инъекцию воздуха, пена, скопление пузырей, волны с острыми гребнями, брызги, выбросы, фонтанирование

и полости формы проведены с помощью метода рентгенофлуороскопии [97]. Литниковую систему изучали по звеньям: входная секция — чаша, стояк, зумпф; распределительная секция — коллектор, шлакоуловители, питатели. Изучали также условия ввода расплава в рабочую полость формы. Полученные данные показали наличие в литниковых каналах и рабочей полости формы различной степени турбулентности, зависящей от конфигурации и размеров литниковой системы и условий ввода расплава в отливку. Установлено, что для уменьшения турбулентности важное значение имеет снижение скорости потока и выбор рациональных геометрических форм сочленений элементов литниковой системы между собой.

Е. А. Ицкович изучал характер движения жидкости в литниковых системах и формах, имитирующих процесс заполнения форм алюминиевыми и магниевыми сплавами [29]. Литниковые системы и формы выполняли в виде прозрачных оболочек и заливали холодными моделирующими жидкостями и сплавами при температуре 700°C. Различные размеры и конфигурации оболочек позволяли получать разнообразные по характеру потоки, состояние которых наблюдали визуально и оценивали рядом признаков.

В табл. 5 приведены данные опытов, которые отражают связь динамики потока жидкости с видимыми признаками: первичными — волнообразная поверхность, вращательное движение с образованием воронок, фонтанирование, выбросы жидкости; вторичными — пузыри и пена. Балл устанавливали как по одному, так и по нескольким признакам соответствующей графы.

Турбулентные потоки наиболее часто наблюдали в литниковых чашах, на резких перегибах в стояках, зумпфах, в шлакоулавливающих устройствах, на местах встречи потоков в форме ударов жидкости о стенки формы; резких переходах и т. п. Отмечено постепенное уменьшение турбулентности при переходе металла из зумпфа в коллектор и далее в питатели, в которых основными очагами возмущений являются различные неровности поверхности каналов.

С целью накопления данных о максимально допустимых числах Рейнольдса при заполнении формы легкими сплавами были поставлены специальные эксперименты [85], основные результаты которых описываются ниже.

Загрязненность (главным образом образование пены) вследствие развития турбулентного движения возникает как в литниковой системе, так и в рабочей полости формы. Изучить движение металла в отдельных звеньях литниковой системы (стояке, зумпфе, коллекторе и т. д.) трудно, так как образование пены может произойти в любом из них. Раздельное же изучение литниковых каналов связано с нарушением динамики потока, характерного для системы каналов. Чтобы избежать этих трудностей, во-первых, режим течения металла в литниковых каналах подбирали таким, чтобы загрязнения могли возникнуть в основном только в исследуемом элементе, что исключало перенос пены в заметном количестве из предыдущего звена в испытуемое; во-вторых, загрязненность металла каждый раз оценивали по одной и той же контрольной пробе (рис. 26), последовательно присоединяемой к испытуемому элементу.

Контрольная проба состояла из двух горизонтальных и одного наклонного участков. Первый по ходу течения участок обеспечивал спокойное поступление металла из испытуемого элемента. Второй, наклонный, участок являлся рабочей частью пробы и был предназначен для оценки загрязненности. Его наклонное расположение по отношению к двум другим участкам должно было обеспечить плавное втекание и вытекание металла из рабочей части пробы, а также ее одновременное заполнение по всему поперечному сечению. Третий участок предназначался для перепуска металла в изложницу.

Подбирая конфигурацию и размеры отдельных элементов литниковой системы, стремились исключить влияние возмущений и подсоса газов. Формы заливали сплавом АЛ9 при температуре 760°C, а загрязненность выявляли рентгенопросвечиванием и оценивали отношением суммарной площади проекций

включений (мм^2) к общей площади рабочей части пробы (см^2). Скорость течения и число Рейнольдса регулировали, подбирая диаметр и высоту стояков, гидравлический радиус коллектора и питателей, а также соотношение $F_c : F_k : F_{\text{п}}$.

При расчете числа Re значение коэффициента кинематической вязкости принимали по данным работы [1] с учетом ее увеличения на 30% [86] за счет окисления расплава (для сплава АЛ9 при 760°C $\nu = 5,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$).

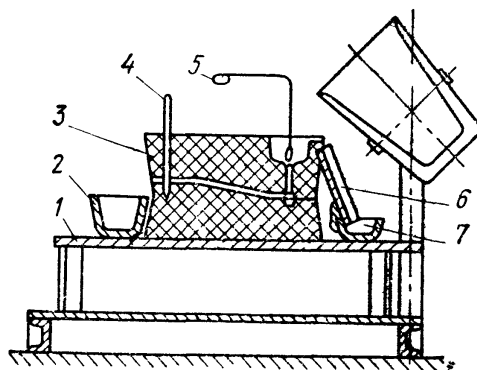
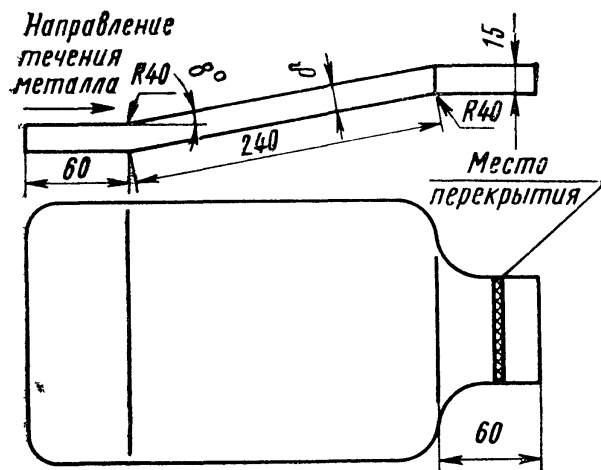


Рис. 26. Схема модели контрольной пробы простой конфигурации

Рис. 27. Установка для заливки металла

Заливку производили на установке, представленной на рис. 27. На стол 1 устанавливали сухую форму 3, в которой выполняли систему испытываемых каналов. После заполнения чаши пробку 5 вынимали и металл через литниковую систему и контрольную пробу вытекал в изложницу 2, а избыток металла из чаши по желобу 6 переливался в изложницу 7. Спустя некоторое время выходной канал перекрывали задвижкой 4 и извлекали охлажденную отливку контрольной пробы.

Поскольку количество пены возрастает с увеличением количества заливаемого металла, его объем в каждом опыте также увеличивали пропорционально росту размеров литниковых каналов и ширины рабочей части формы. Этим самым достигали относительное равенство объемов металла, приходящегося на единицу площади контрольной пробы, и сводили к минимуму влияние на результаты опытов массы протекающего металла.

Для того чтобы исключить влияние начального момента заполнения формы на загрязненность пробы, первую порцию металла, объем которой был равен или превышал суммарный объем всех внутренних полостей формы, сливали в изложницу.

Режимы течения металла в стояке исследовали на системе (рис. 28), у которой диаметр стояка внизу изменяли от 6 до 20 мм, а высоту напора от 100 до 750 мм. Это обеспечивало изменение скоростей в нижнем сечении стояка в диапазоне от 0,84

до 2,54 м/с, а чисел Re_c в том же сечении стояка от 9700 до 78 000.

Режимы течения металла в коллекторе изучали на системе, показанной на рис. 29. Применяли стояки таких размеров, которые не вызывали заметного образования пены в самих стояках и обеспечивали изменение скоростей потока металла в коллекторе от 0,175 до 1,92 м/с, а чисел Re_k от 3740 до 63 500. Режимы течения металла в питателях исследовали с помощью системы (рис. 30), у которой размеры стояков и коллекторов подбирали такими, чтобы обеспечить протекание металла в них без заметного образования загрязнений и их перенос в последующие каналы формы. Скорость течения в питателях изменяли от 0,175 до 1,075 м/с, а число Re_n от 2330 до 18 400. Зависимость загрязненности металла от числа Re для названных трех серий опытов показана на рис. 31.

Фасонные отливки отличаются большим разнообразием конфигураций и трудно выбрать модель хотя бы с частичным учетом возмущений, вызываемых местными сопротивлениями внутренних полостей форм. Поэтому для имитации режимов течения металла в рабочей полости формы применяли две модели: одну (см. рис. 26) применительно к отливкам простой конфигурации (плиты, панели, крышки и пр.), другую (рис. 32) применительно к отливкам сложной конфигурации.

Опыты проводили, используя систему (см. рис. 30), применявшуюся для исследования питателей. Скорость металла в рабочей полости формы изменяли от 0,055 до 0,12 м/с, а число Re_f от 205 до 6020. Зависимость загрязненности от числа Re для рабочих полостей форм приведена на рис. 33.

Анализ полученных данных показывает (см. рис. 31), что при малых значениях чисел Re вплоть до величин, определяемых первыми перегибами кривых 1, 2, 3, загрязненность изменяется незначительно (полагая часть кривых). Режим течения металла в этой области можно отнести к ламинарному или к режиму с не-

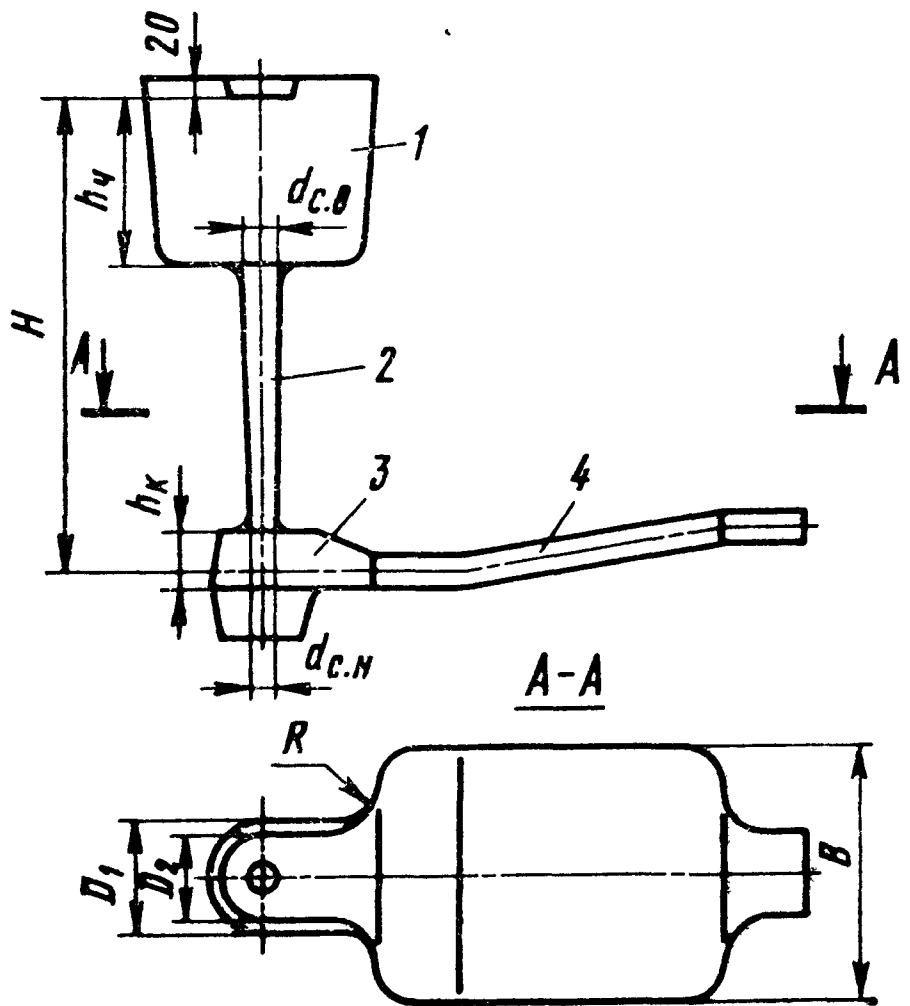


Рис. 28. Система для исследования режимов течения металла в стояке:
 $D_1=3 d_{c.н}$; $D_2=2,5 d_{c.н}$; $R=0,3B$:
 1 — чаша; 2 — стояк; 3 — зумпф; 4 — контрольная проба

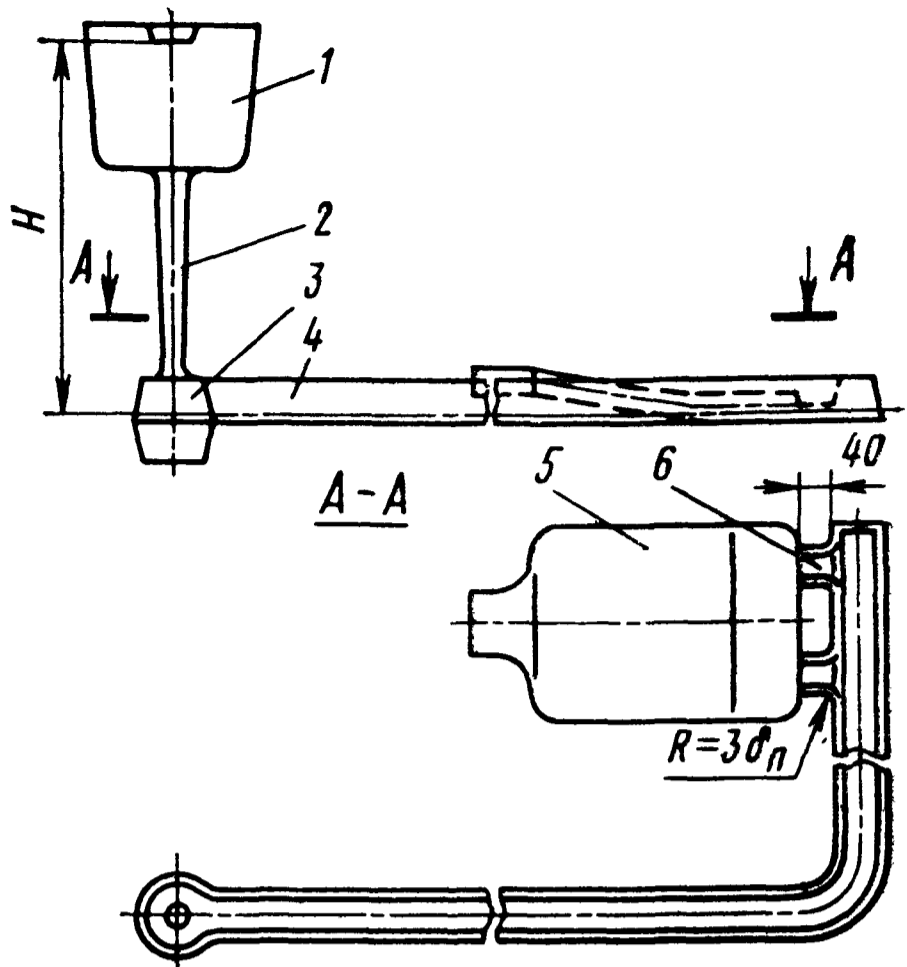
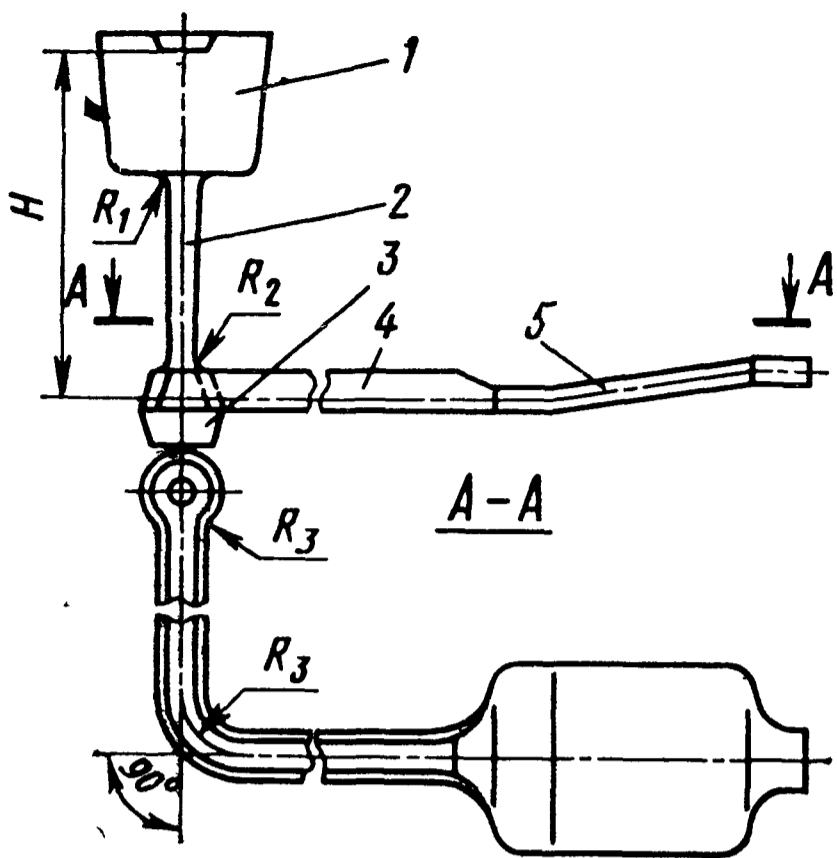


Рис. 29. Система для исследования режимов течения металла в коллекторе: $R_1 = \frac{d_{с.в.}}{2}$; $R_2 = \frac{d_{с.н.}}{2}$; $R_3 =$

$$= 3 d_{с.н.}$$

1 — чаша; 2 — стояк; 3 — зумпф; 4 — коллектор; 5 — контрольная проба

Рис. 30. Система для исследования режимов течения металла в питателях и рабочей полости формы:

1 — чаша; 2 — стояк; 3 — зумпф; 4 — коллектор; 5 — контрольная проба; 6 — питатели

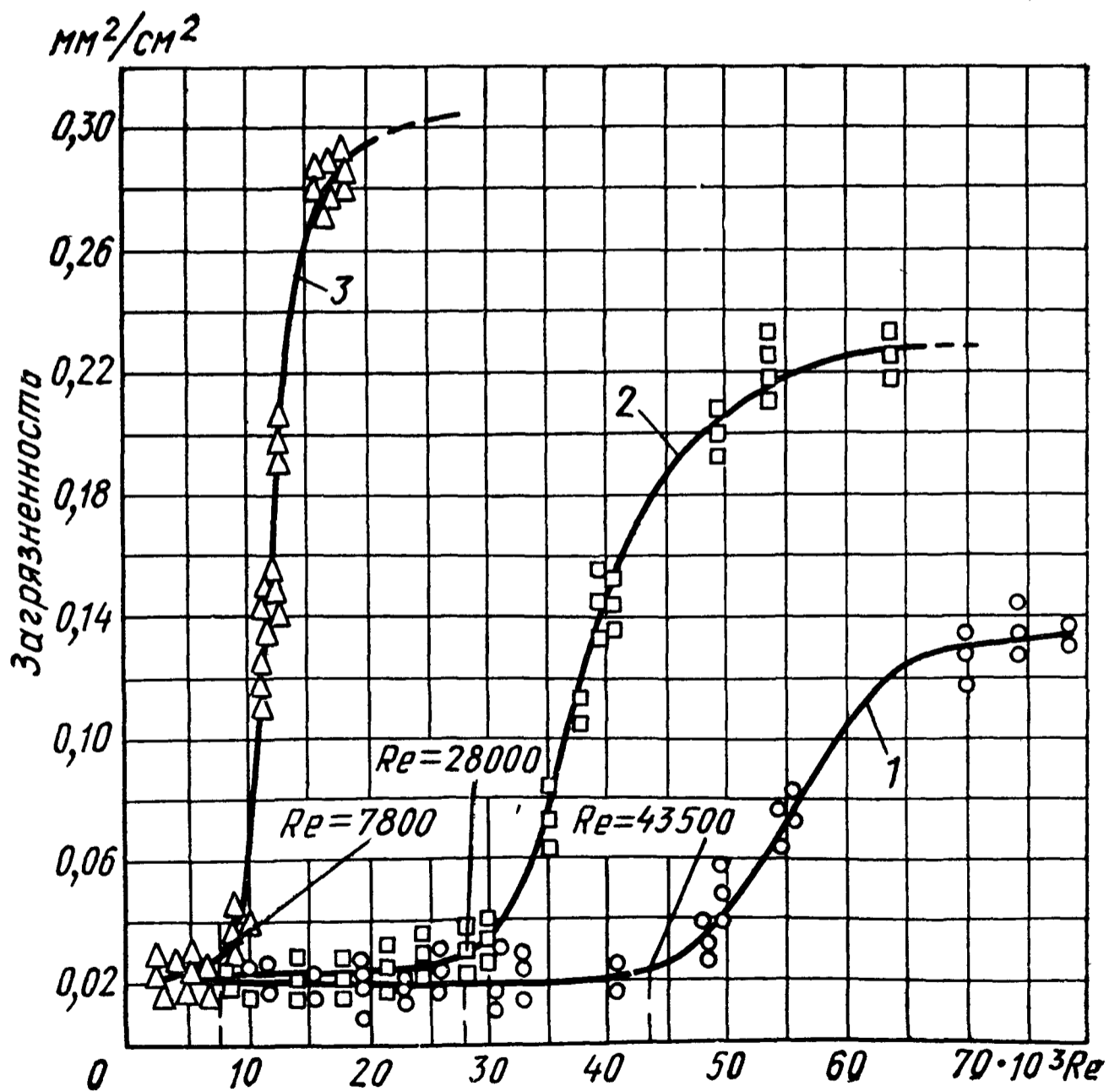


Рис. 31. Зависимость загрязненности от числа Рейнольдса:

1 — в стояке; 2 — в коллекторе; 3 — в питателях

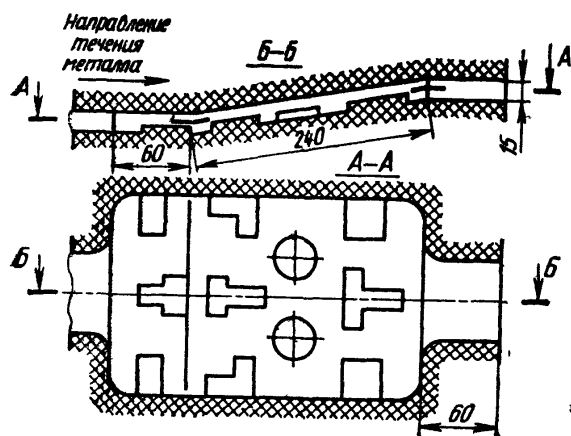


Рис. 32. Схема модели контрольной пробы сложной конфигурации

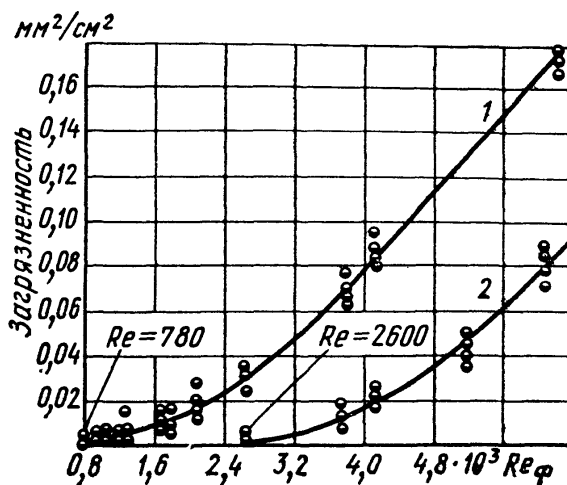


Рис. 33. Зависимость загрязненности от числа Рейнольдса в рабочей полости формы:

1 — сложная форма; 2 — простая форма

значительной турбулентностью. В области значений чисел Re , лежащих выше точек перегиба кривых, наступает интенсивное увеличение загрязненности (кривые 1, 2, 3 круто поднимаются вверх), после чего заметного возрастания загрязненности не наблюдается. Режим течения металла на втором участке (крутая часть кривых) можно отнести к переходному, а на последующем за ним участке (пологая часть кривых) — к турбулентному.

На основании изложенного можно дать следующее объяснение характера зависимостей, приведенных на рис. 31 и 33. При ламинарном течении или течении со слабой турбулентностью возмущения в потоке еще настолько малы, что не приводят к разрыву окисной пленки на поверхности струи (потока) и захвату воздуха (пологая часть кривых). По мере увеличения числа Re возрастают возмущения в потоке, которые становятся способными разорвать окисную пленку и вызвать захват ее и воздуха внутрь потока. При этом окисная пленка на поверхности потока непрерывно обновляется, вновь разрывается и замешивается в расплав. Начиная с этого момента, характеризующегося точками перегиба кривых и их крутым подъемом (см. рис. 31), увеличение числа сопровождается интенсивным ростом загрязненности. При этом преимущественными очагами начала разрушения окисной пленки и образования вторичных шлаков из-за повышенной турбулентности потока являются различного рода неровности поверхности литниковых каналов, в том числе местная эрозия их стенок, а также местные сопротивления отдельных участков литниковой системы. В таких местах возможно «вклинивание» выступов неровности поверхности (через толщину пограничного слоя $\delta_{п.с}$) в турбулентную зону, образование повышенных градиентов скоростей у стенок каналов и отрыв транзитной (проходящей) струи от них.

При дальнейшем увеличении числа Re степень турбулентности потока стабилизируется, что, в свою очередь, приводит к стабилизации загрязненности — кривые становятся полыми.

Исследованные режимы течения металла в рабочей полости формы соответствовали сравнительно небольшим числам Re (≤ 6020). Поэтому кривые 1 и 2 на рис. 33 представляют собой как бы начальные ветви кривых, приведенных на рис. 31.

Как видно из рис. 31 и 33, интенсивность образования загрязненности в зависимости от числа Re неодинакова для различных каналов литниковой системы. Наибольшая загрязненность наблюдается в питателях, наименьшая — в стояке. В рабочей полости формы интенсивное развитие загрязнений наблюдается при образовании потоков, характеризующихся сравнительно невысокими числами Re .

Таким образом, по мере приближения литникового канала к рабочей полости формы степень загрязненности при неизменном числе Re увеличивается, что можно объяснить прежде всего возрастанием возмущений потока, становящегося постепенно турбулентным при усложнении литниковой системы, даже если число Re изменяется мало. Пена сосредоточивается преимущественно в конечных звеньях литниковой системы также в результате частичного переноса взвеси из начальных звеньев.

Существенное значение имеет знак градиента скорости по течению. В испытанных конструкциях литниковых систем на участке от литниковой чаши до нижнего основания стояка скорость течения металла возрастает вследствие образования конфузорного потока, а значит, градиент скорости оказывается положительным. В этих условиях происходит стабилизация потока, и турбулентность возникает при относительно больших числах Re . На участках коллектора и питателей скорость потока уменьшается вследствие расширения сечений этих каналов, и знак градиента скорости изменяется на противоположный. Из гидравлики известно, что в конфузорных потоках критические числа Re значительно (более чем в 10 раз) превышает числа, характеризующие поток в цилиндрических трубах.

Величины чисел Re (см. рис. 31 и 33), отвечающие началу интенсивного возрастания степени загрязненности в литниковых каналах и рабочей полости формы, можно принять в качестве расчетных при определении допустимой турбулентности потока металла в каналах литейной формы. Однако, литейщики в практических расчетах обычно не пользуются значениями кинематической вязкости в основном из-за несоответствия методики ее определения и полученных значений реальным условиям заливки форм металлом.

Как следует из уравнения (4), при постоянном значении ν допускаемая степень турбулентности (режим течения) потока металла определяется значением произведения скорости потока

в канале на его гидравлический радиус, т. е. произведением

$$vR = \frac{Re_{\max} v}{4}.$$

В табл. 6 приведены значения чисел Re_{\max} и vR , полученные экспериментальным путем, а также рассчитанные по данным Е. М. Ноткина [45] (при $v = 6 \cdot 10^{-7}$ м²/с). Эти данные свидетельствуют, во-первых, об удовлетворительном совпадении результатов

Таблица 6

Максимально допустимые значения чисел Рейнольдса

Участок на пути следования потока металла	Re_{\max} по данным		$vR = \frac{Re v}{4}$ см ² /с по данным	
	экспериментов	работы [45]	экспериментов	работы [45]
Стояк	43 500	48 300	65,25	72,5
Коллектор	28 000	33 800	42,0	50,75
Питатели	7 800	5 300	11,7	7,96
Форма:				
простая	2 600	1 350	3,9	
сложная	780		1,17	2,03

разных опытов и, во-вторых, о необходимости понижения допускаемой турбулентности потока в направлении от стояка к форме и, следовательно, о рациональности применения расширяющихся литниковых систем.

Сравнивая допустимые числа Рейнольдса для рабочих полостей формы, полученные в описанных экспериментах (780—2600) и в опытах Е. М. Ноткина (1350), с экспериментальными данными Е. А. Ицковича, приведенными в табл. 4 (1270—6000), видим, что они близки по своим значениям, хотя в каждом из указанных экспериментов применялись формы самых разнообразных конфигураций и различные способы ввода расплава.

Проверка режимов течения металла в заводских условиях при заливке сплавов АЛ2, АЛ4, АЛ5, АЛ9 показала, что если числа Re не превышают указанных в табл. 6 экспериментальных величин и если исключены местные источники образования возмущений в рабочей полости формы, обеспечивается удовлетворительное качество отливок.

Систематизация заводских данных и проведенные расчеты режимов течения при заливке магниевых сплавов показывают, что отливки удовлетворительного качества получают при режимах течения металла в форме, характеризующихся числами Re , значения которых близки к максимальным значениям, приведенным в табл. 6. Это позволяет установленные экспериментальным путем для алюминиевых сплавов максимально допустимые чис-

ла Re рекомендовать для широкой практической проверки в заводских условиях и при литье магниевых сплавов.

5. ЗАПОЛНЯЕМОСТЬ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

Условия заполняемости литейной формы, т. е. условия, при которых происходит возможно полное ее заполнение без образования в отливке неслитин, спаев, недоливов и тому подобных дефектов, непосредственно связаны с теплопередачей и степенью перегрева расплава над точкой нулевой жидкотекучести.

Заполняемость литейной формы будет обеспечена и образование указанных выше дефектов исключено, если средняя фактическая скорость течения (подъема) расплава в форме v_{ϕ} не будет меньше некоторой минимально допустимой для данных условий литья своей величины $v_{\phi \min}$, т. е. будет соблюдено условие $v_{\phi} \geq v_{\phi \min}$. Поэтому на практике расчет формы на заполняемость в основном сводится к расчету v_{ϕ} по известным величинам среднего расчетного напора и расхода расплава через литниковую систему (см. гл. III, п. 1), и сопоставлению ее с $v_{\phi \min}$, определяемой расчетом или выбираемой по графикам или таблицам.

На величину минимально допустимой скорости течения расплава в форме $v_{\phi \min}$ оказывают влияние ряд теплофизических (температура заливки сплава и его удельная теплоемкость, температура формы, свойства материала формы, характеризующиеся коэффициентом теплоотдачи) и гидравлических (конфигурация, высота и толщина стенки отливки, число и расположение прибылей, способ подвода металла к ней и др.) факторов.

Перечисленные факторы действуют комплексно, взаимно влияют друг на друга, притом нередко в разных направлениях (одни уменьшают $v_{\phi \min}$, другие повышают). Теоретически учесть это влияние при решении задачи о нахождении $v_{\phi \min}$ сложно и на данном этапе развития науки о заполнении литейной формы едва ли полностью возможно. Поэтому все известные аналитические решения данной задачи основаны на значительных упрощениях. В зависимости от степени упрощения, а также от физического смысла этого упрощения, различными авторами получен ряд конечных приближенных решений, связывающих $v_{\phi \min}$ с наиболее существенными факторами, характеризующими действительный процесс заполнения форм расплавом.

С точки зрения гидродинамических особенностей процесса заполнения все отливки, в зависимости от их положения в форме и способа подвода расплава к ней, можно разделить на две принципиально различные группы.

К первой группе относят отливки, заливаемые (преимущественно в песчаные формы) в горизонтальном положении (плиты, панели, крышки, бруски и т. п.), заполнение которых практически происходит с постоянной скоростью течения металла в

форме, так как их высота значительно меньше высоты напора.

Ко второй группе относят отливки, заливаемые в вертикальном или наклонном положении. Заполнение отливок этой группы, за исключением заливки сверху, происходит при переменной скорости подъема расплава в форме, так как их высота в положении при заливке соизмерима с высотой напора (подробно см. гл. III, п. 1, табл. 21).

Как правило, теоретические формулы для расчета $v_{ф.м.п}$ получены применительно к потоку, у которого фронт последовательно продвигается по форме и не изменяется во время движения, а скорость течения является постоянной. Такое течение имеет место в сравнительно нешироких каналах постоянного сечения, какими являются, например, пробы на жидкотекучесть, заливаемые при постоянном напоре.

С известным допущением к таким потокам можно отнести заполнение отливок, условно отнесенных выше к первой группе. Применительно к таким отливкам, заливаемым в горизонтальном положении и при постоянной скорости течения, теоретические формулы дают удовлетворительные результаты и при внесении в них определенных коррективов становятся пригодными для практических расчетов. Вместе с тем при заливке именно таких отливок (плиты, панели, крышки, вообще отливки с большими горизонтальными плоскостями) встречаются наибольшие затруднения по заполняемости, так как головная часть потока при течении расплава в плоскостной форме мало освежается (см. рис. 11).

Расчет $v_{ф.мин}$ для отливок первой группы можно вести по формулам, вытекающим из теоретической зависимости [41]:

$$v_{ф.мин} = \frac{Z\beta}{R_{отл} \rho_c \ln \frac{t_{зал} - t_b}{t_{см} - t_{ф}}}, \quad (5)$$

где Z — путь, пройденный потоком от входного сечения до рассматриваемого (опасного) сечения отливки или до слияния с другим встречным потоком, определяемый по рис. 34, м; β — ко-

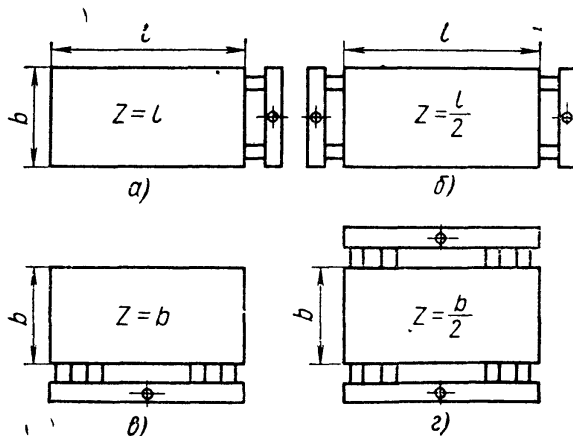


Рис. 34. Схемы для определения величины Z при различном подводе металла в форму (l — длина отливки, b — ширина отливки):

$a, б$ — соответственно односторонний и двусторонний подвод металла по ширине отливки; $в, г$ — соответственно односторонний и двусторонний подвод металла по длине отливки

эффицент теплоотдачи от поверхности металла к форме, величины которого при заливке алюминиевых и магниевых сплавов в песчаные и крашенные металлические формы соответствуют [41] $580\text{--}1800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ [$500\text{--}1500 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С})$]; $R_{\text{отл}}$ — приведенный размер отливки, равный $\delta_{\text{отл}}/2$, м; c — удельная теплоемкость расплава, средняя величина которой для алюминиевых и магниевых сплавов равна $1254 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$ [$0,3 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$]; ρ_c — плотность расплава, $\text{кг}/\text{м}^3$; $t_{\text{ф}}$ — температура формы, $^\circ\text{С}$; $t_{\text{зал}}$ — температура заливки сплава, $^\circ\text{С}$; $t_{\text{см}}$ — температура смыкания потоков расплава (или заданная температура перегрева в конце пути), $^\circ\text{С}$.

Температуру смыкания находят из выражения [41]

$$t_{\text{см}} = t_{\text{кр}} + \Delta t_{\text{пер}} = \frac{t_{\text{л}} + t_{\text{с}}}{2} + \Delta t_{\text{пер}},$$

где $t_{\text{кр}}$, $t_{\text{л}}$, $t_{\text{с}}$ — температуры соответственно кристаллизации, ликвидуса и солидуса сплава, $^\circ\text{С}$; $\Delta t_{\text{пер}}$ — перегрев над температурой кристаллизации.

Специально проведенная экспериментальная проверка показала, что формула (5) дает удовлетворительные результаты при $\beta \approx 520 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ для песчаных форм и $\beta = 800\text{--}1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^\circ\text{С})$, $t_{\text{ф}} = 170\text{--}300 \text{ }^\circ\text{С}$ для металлических форм. Для облегчения расчетов на основе формулы (5) строят графики зависимости $v_{\text{ф min}}$ от относительной длины отливки $Z/R_{\text{отл}}$. Такой график для расчета $v_{\text{ф min}}$ при заливке алюминиевого сплава АЛ9 в песчаные формы (наиболее распространенные для данной группы отливок) приведен на рис. 35.

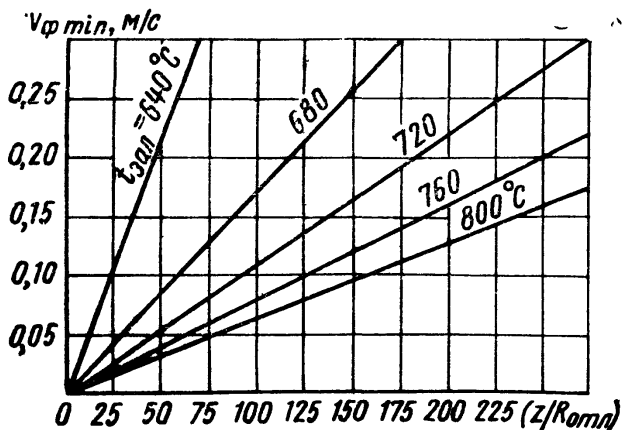


Рис. 35. Зависимость минимально допустимой скорости течения расплава в песчаной форме $v_{\text{ф min}}$ от относительной длины отливки ($Z/R_{\text{отл}}$)

В расчетах принято: $t_{\text{л}} = 620 \text{ }^\circ\text{С}$; $t_{\text{с}} = 577 \text{ }^\circ\text{С}$; $\Delta t_{\text{пер}} = 20 \text{ }^\circ\text{С}$; $t_{\text{ф}} = 20 \text{ }^\circ\text{С}$; $\beta = 523 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$.

Однако, в большинстве случаев литейной практики фасонного литья отливки имеют сложную форму, а их заполнение производится в вертикальном положении при переменной скорости подъема расплава в форме (вторая группа отливок). При таком заполнении простое одномерное течение расплава встречается

редко. Чаще всего струя входящего в форму расплава распадается на отдельные потоки, текущие по различным направлениям (см. рис. 9) и искажающие динамику первоначального потока.

Кроме того, как отмечалось, расплав, протекая по форме, сливается в различные ребра, платики, промежуточные стенки и другие части отливки, часто меняет не только свое направление, но и сечение потока (см. рис. 12). Благодаря этому головная часть потока постоянно освежается, и расплав получает возможность протечь больший путь, нежели при неизменном фронте и сечении потока. Заполняемость таких (сложных по конфигурации) отливок легче обеспечить, так как она достигается при значительно меньших скоростях потока, чем для плоскостных отливок.

Теоретические формулы для расчета скоростей потока второй группы отливок не полностью учитывают указанные выше и другие конкретные гидродинамические особенности заполнения реальных отливок. Рассчитанные по этим формулам скорости подъема, как правило, имеют завышенные (по данным работы [80] в 1,8—2,4 раза) значения по сравнению с фактически наблюдаемыми. Кроме того, расчет осложняется из-за того, что сама скорость в данном случае является переменной величиной. Поэтому на практике надежные результаты по расчетам $v_{\phi \min}$ реальных отливок получают, пользуясь различными эмпирическими формулами, установленными для конкретных условий литья.

Анализ аналитических решений и многочисленных экспериментальных данных по заполнению литейных форм жидким металлом показывает, что минимально допустимая скорость подъема металла при заданных материале формы (песчаная или металлическая) и сплаве в основном зависит от конфигурации, положения в форме, высоты, толщины стенки отливки и температуры заливки сплава.

Обобщая литературные данные и заводской опыт, можно выделить следующие формулы для расчета средней величины минимально допустимой скорости подъема расплава при заливке отливок в вертикальном положении, разработанные различными авторами для конкретных условий литья.

Для плоскостных отливок типа плит:

Формулы Г. М. Дубицкого и Т. А. Лучиной [21]:
при заливке песчаных форм

$$v_{\phi \min} = \left(\frac{h_{\text{отл}}}{2,09\delta_{\text{отл}} + 4,2} \right)^{1,25}; \quad (6)$$

при заливке металлических форм

$$v_{\phi \min} = \left(\frac{h_{\text{отл}}}{1,28\delta_{\text{отл}} + 5,9} \right)^{1,25}, \quad (7)$$

где $v_{\phi \min}$ — средняя по высоте отливки скорость подъема расплава в форме, мм/с; $h_{\text{отл}}$ — высота отливки, мм; $\delta_{\text{отл}}$ — толщина стенки отливки, мм.

Эти формулы установлены при $t_{\text{зал}}=730^\circ\text{C}$ для песчаных и $t_{\text{зал}}=780^\circ\text{C}$, $t_{\phi}=270\div 280^\circ\text{C}$ для металлических форм. Они прошли проверку в заводских условиях при заливке отливок из алюминиевых сплавов АЛ2, АЛ9 при $\delta_{\text{отл}}=4\div 30$ мм и $h_{\text{отл}}$ до 600 мм;

формулы В. В. Чистякова и В. М. Воздвиженского [77]:
для песчаных форм

$$v_{\phi \min} = \left(\frac{h_{\text{отл}}}{\delta_{\text{отл}}} \right)^{0,270 \ln \frac{\sqrt{2gh_{\text{отл}}}}{100}}; \quad (8)$$

для металлических форм

$$v_{\phi \min} = \left(\frac{h_{\text{отл}}}{\delta_{\text{отл}}} \right)^{0,320 \ln \frac{\sqrt{2gh_{\text{отл}}}}{100}}, \quad (9)$$

где $v_{\phi \min}$ — средняя по высоте отливки скорость подъема металла в форме, мм/с; $h_{\text{отл}}$ — высота отливки, мм; g — ускорение силы тяжести, мм/с².

Формулы (8) и (9) установлены для алюминиевых сплавов с учетом их перегрева над точкой нулевой текучести $\Delta t \geq 100^\circ\text{C}$ при $b_{\phi} \leq 1$ кВт·с^{1/2}/(м²·°C) для песчаных и $t_{\phi} \geq 300^\circ\text{C}$ для металлических форм.

Для отливок сложной конфигурации:
Формула Н. М. Галдина

$$v_{\phi \min} = 0,22 \frac{\sqrt{h_{\text{отл}}}}{\delta_{\text{отл}} \ln \frac{t_{\text{зал}}}{380}}, \quad (10)$$

где $v_{\phi \min}$ — средняя по высоте отливки скорость подъема расплава в форме, см/с; $h_{\text{отл}}$ — высота отливки, см; $\delta_{\text{отл}}$ — толщина стенки отливки, см; $t_{\text{зал}}$ — температура заливки сплава, °C.

Эта формула установлена для заливки песчаных форм и прошла широкую заводскую проверку для различных по конфигурации и размерам отливок из сплавов АЛ2, АЛ9, АЛ4 и АЛ5 при $\delta_{\text{отл}}=4\div 30$ мм; $h_{\text{отл}}$ —до 1500 мм и массе отливок до 500 кг;

формула А. А. Лебедева [73]

$$v_{\phi \text{нач}} = \frac{3,0 \div 4,2}{\delta_{\text{отл}}}, \quad (11)$$

где $v_{\phi \text{нач}}$ — начальная скорость подъема расплава в форме, см/с; $\delta_{\text{отл}}$ — толщина стенки отливки, см.

При отношении $h_{\text{отл}}/\delta_{\text{отл}} < 50$ принимают меньшее значение

коэффициента в правой части формулы (11), а при $h_{отл}/\delta_{отл} > 50$ — его большее значение. Формула (11) установлена на основе систематизации заводских данных при заливке в песчаные и металлические формы разнообразных по сложности, толщинам стенок, высоте и массе отливок из алюминиевых и магниевых сплавов;

формулы В. Д. Топорова [67]:

при заливке в песчаные формы

$$\lg v_{ф.опт} = 1,7405 - 0,3338 \lg V - 0,3736 \lg \delta_{отл} + 0,9277 \lg h_{отл}; \quad (12)$$

при заливке в металлические формы

$$\lg v_{ф.опт} = 1,874 - 0,3924 \lg V - 0,393 \lg \delta_{отл} + 1,0391 \lg h_{отл}, \quad (13)$$

где $v_{ф.опт}$ — оптимальная (из условия обеспечения минимального брака) средняя скорость подъема металла в форме, мм/с; $\delta_{отл}$ — средняя толщина стенки отливки и прибылей, мм; $h_{отл}$ — высота отливки с прибылями, мм; V — объем отливки, мм³.

Формулы (12) и (13) получены на основе анализа заливки разнообразных по конфигурации, массе и размерам отливок из магниевого сплава ($\rho = 1640$ кг/м³) через нижнюю литниковую систему применительно к следующим условиям литья: $t_{зал} = 700 \div 770^\circ\text{C}$; $h_{отл} = 80 \div 1100$ мм; $\delta_{отл} = 5 \div 30$ мм и температура подогрева кокиля $t_{\phi} = 250 \div 300^\circ\text{C}$.

Аналогичные по структуре формулы при указанных выше условиях литья установлены В. Д. Топоровым и для заливки отливок через вертикально-щелевую и ступенчатую литниковые системы [67]:

для песчаных форм

$$\lg v_{опт} = 1,9774 - 0,4083 \lg V - 0,4105 \lg \delta_{отл} + 1,0263 \lg h_{отл}; \quad (14)$$

для металлических форм

$$\lg v_{опт} = 1,8059 - 0,4146 \lg V - 0,1515 \lg \delta_{отл} + 0,9194 \lg h_{отл}. \quad (15)$$

Для сопоставления результатов сделан расчет по формулам (6) — (15) и построены графики зависимости скоростей от высоты отливок, имеющих стенки толщиной 5, 15 и 30 мм при заливке в песчаные (рис. 36) и металлические (рис. 37) формы.

Расчет скоростей произведен при следующих постоянных параметрах условий литья: $t_{зал} = 720^\circ\text{C}$ при расчете по формуле (10); ширина отливок при расчете их объема по формулам (12) — (15) принята равной 400 мм.

Анализируя графики на рис. 36 и 37, можно сделать следующие основные выводы. Заливку сложных по конфигурации

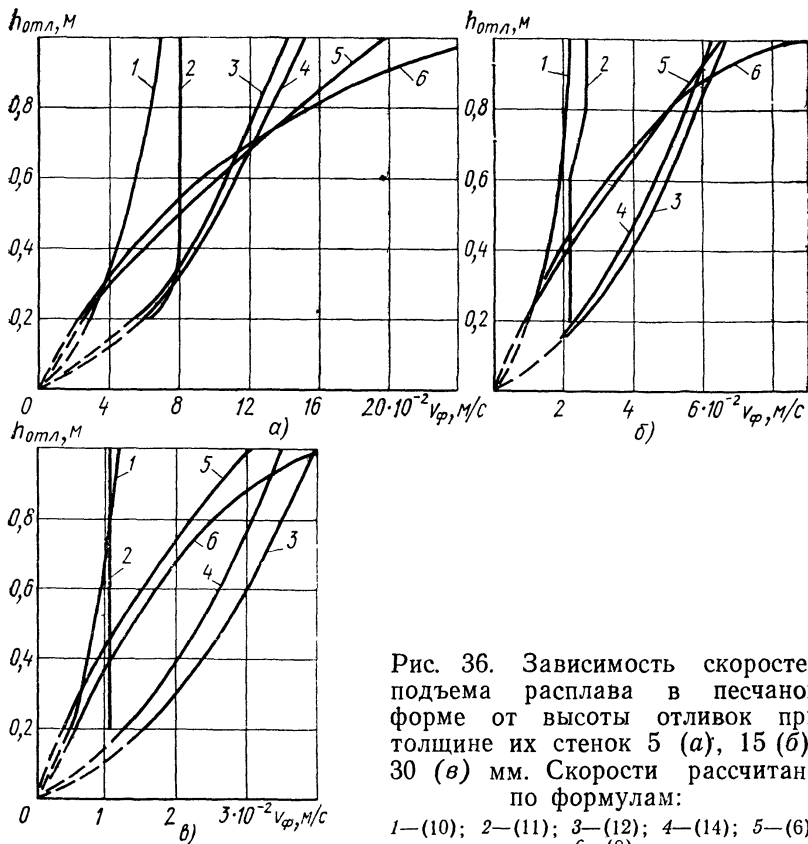


Рис. 36. Зависимость скоростей подъема расплава в песчаной форме от высоты отливок при толщине их стенок 5 (а), 15 (б); 30 (в) мм. Скорости рассчитаны по формулам:
 1—(10); 2—(11); 3—(12); 4—(14); 5—(6); 6—(8)

отливок (кривые 1 и 2), особенно при их высоте более 0,4 м, можно производить при значительно меньших скоростях подъема, чем заливку плоскостных отливок (кривые 5 и 6).

При одних и тех же параметрах литья формулы (6) и (7) дают значения минимально допустимых скоростей, близкие к скоростям, рассчитанным по формулам (8) и (9) при высоте отливок до 0,8 м для песчаных и 0,4—0,5 для металлических форм.

Нет существенной разницы также в величинах скоростей подъема расплава при заливке сплавов в песчаные формы (рис. 36) через нижнюю (кривая 3), вертикально-щелевую и ступенчатую литниковые системы (кривая 4). При литье в металлические формы расхождения между названными скоростями возрастают (см. рис. 37, кривые 2, 4).

Значения скоростей подъема металла, рассчитанные по формулам (6) и (7), установленным для алюминиевых сплавов, не имеют существенного отличия от скоростей, рассчитанных по формулам (12) и (13), установленным для магниевых сплавов, особенно при литье в металлические формы (см. рис. 37, кривые 4, 5). Несколько более высокие скорости подъема металла, наблюдаемые при заливке магниевых сплавов, мо-

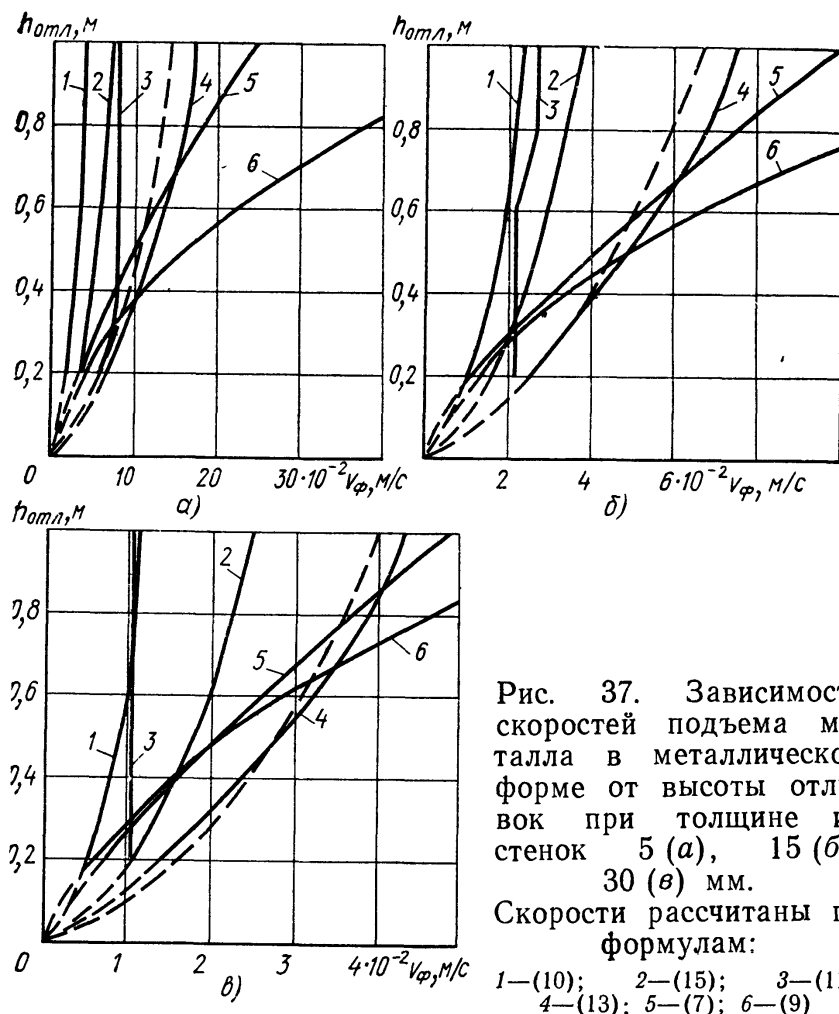


Рис. 37. Зависимость скоростей подъема металла в металлической форме от высоты отливок при толщине их стенок 5 (а), 15 (б), 30 (в) мм.

Скорости рассчитаны по формулам:

1—(10); 2—(15); 3—(11);
4—(13); 5—(7); 6—(9)

гут быть объяснены тем, что формулы (12) и (13) в отличие от формул (6) и (7) дают не минимально допустимые, а оптимальные величины скоростей.

Сравнение скоростей, рассчитанных по формулам (6) и (12) для песчаных форм, со скоростями, рассчитанными по формулам (7) и (13) для металлических форм, показывает, что они в ряде случаев близки по своим величинам при одинаковых условиях литья. Для наглядности на рис. 37 нанесены штриховые кривые 3, перенесенные с рис. 36. Как видно, штриховые линии, построенные по формуле (12), проходят вблизи кривых, построенных по формуле (13). Аналогичная картина наблюдается и при сравнении кривых (рис. 36, 37), построенных соответственно по формулам (6) и (7).

На основании изложенного можно дать следующие рекомендации по расчету $v_{ф.мин}$ для отливок группы II (см. табл. 21), т. е. заливаемых в вертикальном (или наклонном) положении в форме.

Скорости для сложных по конфигурации отливок, имеющих, как правило, фланцы, бортики, приливы, бобышки и т. п. утолщения и заливаемых в большинстве случаев с прибылями, рациональнее рассчитывать по формуле (10). Эта формула, как

уже отмечалось, прошла широкую проверку в заводских условиях на отливках из алюминиевых сплавов при заливке песчаных форм.

По данным В. П. Мальцева, формула (10) дает также надежные результаты и при литье в металлические формы отливок со стенками толщиной 4—8 мм. Учитывая небольшую разницу в скоростях подъема металла сложных отливок для песчаных и металлических форм, а также для алюминиевых и магниевых сплавов, формулу (10) можно рекомендовать для широкой практической проверки для указанных условий литья при толщине стенок не менее 4 мм и высоте отливок до 1,5 м. Значения скоростей, рассчитанные по формуле (10) при $t_{зал}=720^{\circ}\text{C}$, приведены в табл. 7.

Таблица 7

Минимально допустимые скорости $v_{ф. min}$ (см/с) подъема уровня металла в форме для отливок сложной конфигурации

$h_{отл.}$ мм	При толщине стенки отливки, мм										
	4	5	6	7	8	10	12	15	20	25	30
100	2,8	2,2	1,8	1,6	1,4	1,1	0,9	0,8	0,55	0,44	0,37
150	3,4	2,7	2,2	1,95	1,7	1,36	1,13	0,91	0,68	0,54	0,45
200	3,9	3,1	2,6	2,25	1,97	1,57	1,3	1,05	0,78	0,63	0,52
300	4,8	3,9	3,2	2,75	2,4	1,9	1,6	1,28	0,96	0,77	0,64
350	5,2	4,17	3,5	3,0	2,5	2,08	1,74	1,38	1,04	0,84	0,69
400	5,5	4,4	3,7	3,15	2,75	2,2	1,84	1,47	1,1	0,88	0,74
500	6,25	5,0	4,18	3,57	3,1	2,5	2,1	1,67	1,25	1,0	0,83
550	6,5	5,2	4,35	3,7	3,27	2,6	2,17	1,73	1,3	1,05	0,87
600	6,8	5,45	4,55	3,9	3,4	2,7	2,26	1,8	1,36	1,09	0,9
800	7,9	6,3	5,25	4,5	3,9	3,15	2,6	2,1	1,57	1,25	1,05
1000	8,75	7,0	5,8	5,0	4,37	3,5	2,9	2,3	1,75	1,4	1,17
1500	10,7	8,6	7,2	6,15	5,36	4,3	3,58	2,86	2,14	1,71	1,43

Для предварительной оценки, а также при заливке компактных, особенно толстостенных отливок, расчет скоростей можно вести по упрощенной формуле (11).

При заливке плоскостных отливок как из алюминиевых, так и магниевых сплавов скорости следует рассчитывать по формулам (6) и (7). В табл. 8 приведены значения скоростей, рассчитанные по формуле (6).

Поскольку формулы (6) и (7) дают оптимальные значения $v_{ф. min}$ при $t_{зал}=730^{\circ}\text{C}$ для песчаных и $t_{зал}=780^{\circ}\text{C}$ — для металлических форм, при снижении температуры заливки на 30—50 $^{\circ}\text{C}$ величины скоростей следует повышать примерно на 15%, а при повышении температуры заливки на 30—50 $^{\circ}\text{C}$ — понижать примерно на 10% [84].

Как видно из изложенного, на сегодняшний день проблема определения $v_{ф. min}$ разрешена далеко не полностью, так как нет

Таблица 8

Минимально допустимые скорости $v_{ф. \min}$ (см/с) подъема уровня металла в форме для плоскостных отливок

$h_{отл},$ мм	При толщине стенки отливки, мм										
	4	5	6	7	8	10	12	15	20	25	30
100	1,3	1,1	1,0	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,27	0,2	0,17
150	2,2	1,8	1,6	1,5	1,1	0,9	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2
200	3,0	2,3	2,1	1,9	1,6	1,2	1,0	0,9	0,6	0,5	0,4
300	4,7	3,6	3,0	2,5	2,7	1,8	1,7	1,4	1,3	0,8	0,7
350	6,0	4,3	3,7	3,2	3,0	2,3	2,0	1,9	1,8	0,9	0,8
400	7,7	5,4	4,6	3,8	3,5	3,0	2,6	2,4	2,0	1,1	0,9
500	11,2	8,8	7,4	6,0	5,2	3,7	3,4	2,8	2,7	1,5	1,3
550	13,4	11,2	9,4	7,5	5,9	4,5	3,9	3,4	3,0	1,7	1,5
600	15,7	13,3	11,3	9,4	6,6	5,7	4,4	4,0	3,4	1,9	1,6
800	18,0	14,9	13,6	12,3	9,5	7,4	6,2	4,9	3,7	2,7	2,3
1000	23,7	19,7	18,0	16,2	12,5	9,7	8,2	6,4	4,8	3,6	3,1
1500	39,4	32,6	29,7	26,9	20,8	16,2	13,7	10,7	8,1	6,0	5,1

универсальных теоретических или эмпирических формул, пригодных для широкой номенклатуры отливок.

В этой связи необходимы дальнейшие эксперименты по комплексному изучению зависимости $v_{ф. \min}$ от многообразных теплофизических и гидравлических факторов и установлению на этой основе более обоснованных между ними связей.

Хотя проблема выбора $v_{ф. \min}$ осложнена, заводской опыт показывает, что, за исключением тонкостенных плоскостных отливок, заливаемых, как правило, горизонтально, обеспечение заполняемости большинства других типов фасонных отливок на практике не встречает каких-либо серьезных трудностей.

Обобщение многочисленных экспериментальных данных и заводского опыта показывает, что практически для всех отливок с отношением высоты (длины) к толщине стенки $h_{отл}/\delta_{отл} \leq 125$ рекомендуемая по гидравлическим соображениям (из условия допустимой турбулентности, см. п. 4) скорость движения металла в форме оказывается выше минимально допустимой скорости и является определяющей при расчете литниковых систем. Сказанное подтверждается данными табл. 9, в которой приведены значения скоростей, рассчитанные по гидравлическим формулам. Минимальные значения начальных скоростей подъема, получаемые по гидравлической формуле $v_{ф. \text{нач}} = 4/\delta_{отл}$, во всех случаях превосходят значения средних скоростей подъема, получаемых по формуле (10) при средней для алюминиевых сплавов температуре заливки (720°C).

В тех случаях, когда скорость, рассчитанная из гидравлических соображений, оказывается ниже минимально допустимой величины, применяют специальные способы повышения заполняемости. К ним относятся: повышение температуры заливки

Скорость подъема металла в форме (см/с) в зависимости от толщины стенки отливки

$\delta_{отл}$, см	$v_{ф. нач} = \frac{8,04}{\delta_{отл}}$ [72]	$v_{ф. нач} = \frac{7,8}{\delta_{отл}}$	$v_{ф. нач} = \frac{4,0}{\delta_{отл}}$	По формуле (10) при $h_{отл}=0,5$ м; $t_{зал}=720^\circ\text{C}$	$\frac{h_{отл}}{\delta_{отл}}$
0,4	20,1	19,5	10,0	6,25	125
0,5	16,08	15,6	8,0	5,0	100
0,6	13,6	13,0	6,6	4,18	83
0,8	10,65	9,75	5,0	3,1	62
1,0	8,04	7,8	4,0	2,5	50
1,2	6,7	6,5	3,3	2,1	42
1,5	5,36	5,2	2,7	1,67	33
2,0	4,02	3,9	2,0	1,25	25
3,0	2,68	2,6	1,3	0,83	16

сплава, подогрев формы, применение материалов с более низкой теплоотводящей и теплоаккумулирующей способностями, нанесение на рабочую поверхность формы специальных покрытий и др.

Повышать температуру заливки можно только не выше ее определенного значения, так как перегрев легких сплавов выше $760\text{--}810^\circ\text{C}$ нежелателен вследствие их повышенной окисляемости и развития в отливках дефектов газового и усадочного происхождения.

Температуру подогрева металлических форм можно варьировать в широких пределах. Для алюминиевых сплавов формы нагревают обычно до $200\text{--}350^\circ\text{C}$, а при отливке очень сложных изделий больших габаритных размеров до $400\text{--}500^\circ\text{C}$. При заливке магниевых сплавов температура форм должна быть более высокой, чем при заливке алюминиевых сплавов ($300\text{--}400^\circ\text{C}$). Заводской опыт показывает, что и в этом случае температура кокиля может быть повышена до $450\text{--}470^\circ\text{C}$ без ухудшения качества отливок [42].

Значительного улучшения заполняемости форм, как уже отмечалось выше, можно достигнуть также обновлением зеркала расплава, поднимающегося в форме, что обеспечивается применением специальных конструкций (рис. 38) вертикально-щелевых литниковых систем (В. Д. Топоров, авторское свидетельство № 203850, 1971). Такие литниковые системы применяют для заливки в вертикальном положении крупногабаритных тонкостенных плит [40]. Как показывают опыты, они позволяют в 2—6 раз снизить фактические скорости подъема металла в форме (см. табл. 10), по сравнению с рассчитанными по формуле (14).

Рис. 38. Вертикально-щелевая литниково-вая система с фасонным каналом:

1 — вертикальный колодец; 2 — фильтровальная сетка; 3 — вертикальная щель; 4 — отливка; 5 — фасонный вертикальный канал; 6 — чаша; 7 — змеевидный стояк

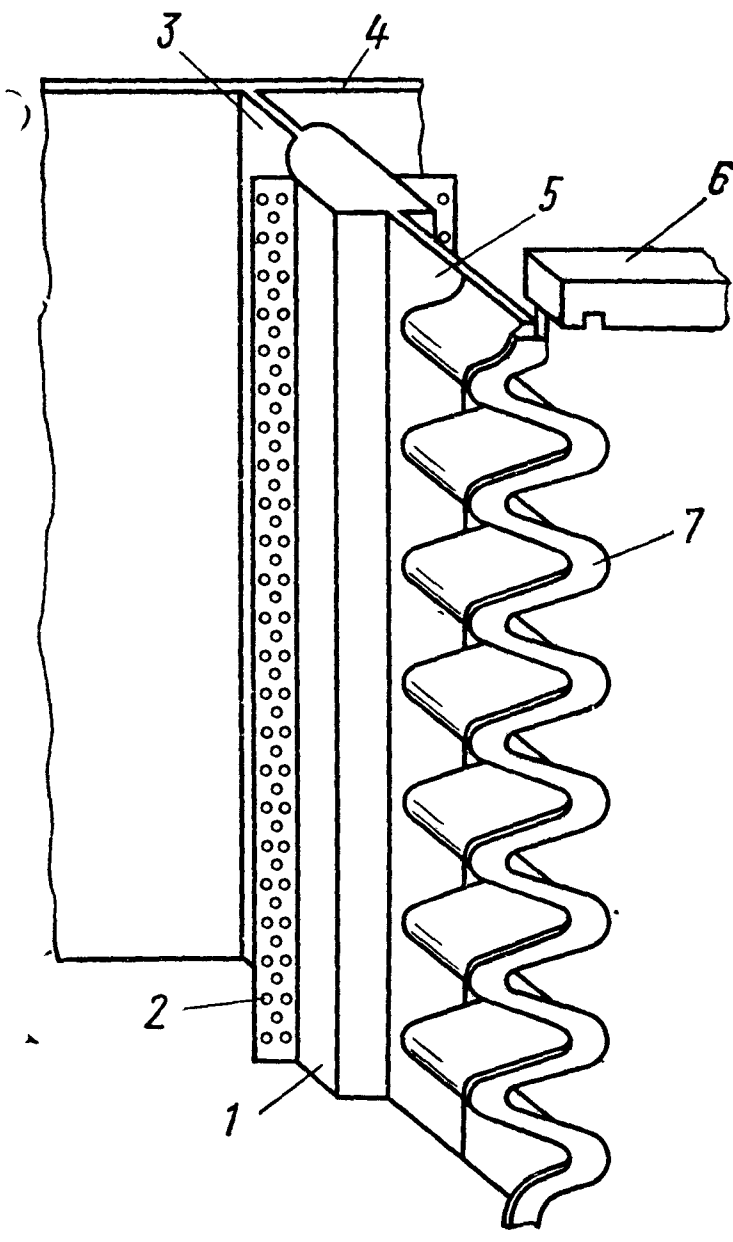


Таблица 10

Результаты опытов по заливке плит с непрерывной подачей металла на зеркало [40]

Размеры плит, мм	Сплав	$t_{\text{зал}}, ^\circ\text{C}$	Скорость подъема металла в форме, м/с	
			фактическая	рассчитанная по формуле (14)
1000 × 400 × 6	АЛ2	790—800	0,033	0,137
1500 × 400 × 6		790—800	0,039	0,1788
1000 × 360 × 3	МЛ5	860—870	0,060	0,243
1500 × 360 × 3		900—910	0,12	0,713

Одним из рациональных средств повышения заполняемости является нанесение на форму различных поверхностных покрытий. Наилучшие результаты при литье легких сплавов в песчаные формы получены при использовании в качестве покрытий ацетиленовой сажи и гексахлорэтана [41]. При этом оптимальную толщину покрытий выдерживают в пределах 0,05—0,2 мм.

Заливать формы, покрытые сажей или гексахлорэтаном, можно расплавом, имеющим температуру на 50—60°С ниже, чем температура расплава при заливке обычных форм, что благоприятно сказывается на прочностных свойствах отливок.

Специально проведенные эксперименты показали также, что минимально допустимые скорости течения металла в формах с покрытиями могут быть снижены на 25—35% по сравнению с аналогичными скоростями в формах без покрытий [3]. Наибольший эффект при этом получают для относительно тонкостенных отливок, у которых $\delta_{\text{отл}} \leq 12$ мм.

6. ШЛАКОТДЕЛЕНИЕ В ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЕ

При литье легких сплавов неметаллические включения (окислы, пленки, флюсы и т. п.), называемые обычно шлаками, всегда присутствуют в готовом расплаве и дополнительно образуются в литниковых каналах в результате турбулентного перемешивания металла при его движении. Для того, чтобы предупредить

попадание шлаков в отливку, необходимо обеспечить их задержание в пределах литниковой системы.

Основными элементами литниковой системы, обеспечивающими задержание шлаковых включений, являются литниковая чаша, стояк и коллектор. Размеры и конфигурация литниковых чаш и стояков выбирают исходя из условия наименьшего разбрызгивания и шлакообразования при поступлении металла в чашу, предотвращения проникновения шлаков из чаши в стояки и устранения инжекции воздуха через стенки формы (см. гл. I, п. 7).

Однако кратковременность процесса заполнения форм и высокие скорости потоков металла даже при самых тщательных мерах не позволяют обеспечить полного задержания шлака в литниковой чаше и тем более в стояке, который промывается расплавом. Кроме того, как отмечалось, шлаки могут образовываться по пути следования металла: в стояке, особенно в его нижней части, на входе в коллектор и частично в самом коллекторе. В то же время шлаковые частицы нельзя допустить к питателям, так как всасывающий эффект и промывание самих питателей металлом неизбежно приведет к проникновению шлака в отливку.

Таким образом, последним элементом литниковой системы на пути следования металла в отливку, где еще возможно обеспечить задержание шлаковых включений, является коллектор, который поэтому и является главным шлакозадерживающим элементом литниковой системы. Для повышения эффективности работы коллектора применяют шлакосборники.

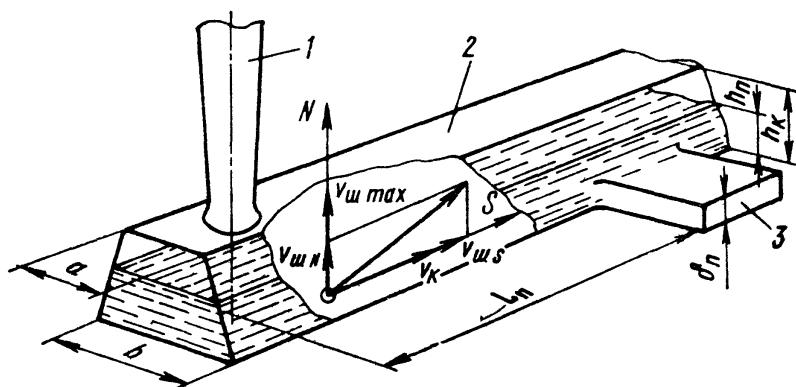


Рис. 39. Схема установления высоты потока в коллекторе в начальный период заливки и движения шлаковой частицы в горизонтальном потоке расплава:

1 — стояк; 2 — коллектор; 3 — питатель

В начальной стадии заливки формы поток металла движется в еще незаполненном коллекторе. В этом случае (рис. 39) в коллекторе сразу устанавливается глубина потока $h_{\text{ш}}$, которую приблизительно можно оценить выражением [82]

$$h_{\Pi} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB^2}} = \sqrt[3]{\frac{v_{\text{к}}^2 F_{\text{к}}^2}{gB^2}}, \quad (16)$$

где B — ширина коллектора, которая для канала трапециевидного сечения равна $(a+b)/2$ (здесь a и b соответственно размеры верхнего и нижнего основания трапеции). Учитывая также, что $F_{\text{к}} = h_{\text{к}}(a+b)/2$, из (16) получим

$$h_{\Pi} = \frac{v_{\text{к}}^2}{g}.$$

Помимо указанных в формуле (16) факторов на величину h_{Π} будут оказывать влияние характер потока (спокойный или бурный), соотношение $F_{\text{с}} : F_{\text{к}} : F_{\Pi}$ и величина напора над узким сечением стояка. При длинном коллекторе и малом напоре влияние этих факторов незначительно. При коротком коллекторе и большом напоре, наоборот, эти факторы могут оказывать существенное влияние на h_{Π} . Поэтому расчет h_{Π} по формуле (16) в коротких коллекторах и при больших напорах должен быть проверен экспериментально.

Очевидно, что для обеспечения задержания в начальной стадии заливки шлаковых частиц, находящихся на поверхности потока, необходимо, чтобы высота потока в коллекторе h_{Π} превосходила толщину питателей δ_{Π} :

$$\delta_{\Pi} < \frac{v_{\text{к max}}^2}{g}, \quad (17)$$

где $v_{\text{к max}}$ — максимальная скорость потока в коллекторе в начальный период заливки.

Выполнение условия (17) можно обеспечить, регулируя высоту питателей и скорость потока в коллекторе. Высоту питателей обычно принимают не меньше 4 мм. Скорость потока в коллекторе не должна превышать максимальной величины, определяемой из условия обеспечения допустимой турбулентности потока, иначе неизбежно образование шлаков в самом коллекторе.

Таблица 11

Высота потока h_{Π} в коллекторе

$F_{\text{к}}, \text{ см}^2$	$h_{\text{к}}, \text{ мм}$	$v_{\text{к max}}, \text{ м/с}$	$h_{\Pi}, \text{ мм}$	$F_{\text{к}}, \text{ см}^2$	$h_{\text{к}}, \text{ мм}$	$v_{\text{к max}}, \text{ м/с}$	$h_{\Pi}, \text{ мм}$
3	18,5	0,98	98	14	39	0,46	22
4	21	0,87	77	16	42	0,43	19
5	23,5	0,78	62	18	45	0,41	17
6	26	0,71	52	20	47	0,38	15
7	28	0,66	44	24	52	0,34	12
8	30	0,62	39	28	56	0,32	10
10	33	0,55	31	56	78	0,23	6
12	36	0,50	25				

В табл. 11 приведены значения высоты потока металла в коллекторе, рассчитанные по уравнению (16), в зависимости от площади поперечного сечения коллектора F_k и максимальной допустимой скорости потока в нем $v_{\text{кmax}}$, найденной из формулы (4) при числе Рейнольдса, равном 28 000.

Из табл. 11 видно, что уже при относительно невысокой скорости течения металла в коллекторе, равной 0,32 м/с (алюминиевые сплавы), в нем устанавливается вполне достаточная высота потока ($h_{\text{п}}=10$ мм), способная перекрыть вход в питатели толщиной до 10 мм. С увеличением скорости потока в коллекторе его высота быстро возрастает, и тогда можно применять питатели большей толщины.

Приведенные в табл. 11 величины скоростей позволяют также обеспечить движение потока с допустимой турбулентностью в коллекторах, имеющих достаточно большую площадь поперечного сечения. Коллекторы с $F_k > 56$ см² применяют крайне редко. Следовательно, условие (17) на практике нетрудно обеспечить, регулируя в известных пределах высоту питателей и скорость потока в коллекторе.

До этого речь шла о задержании шлаковых частиц, находящихся на поверхности потока. Нетрудно показать также, что применение щелевых питателей надежно предохраняет проникновение через них шлаковых частиц, движущихся с первыми порциями металла и находящихся внутри потока, т. е. не всплывших по каким-либо причинам на его поверхность. Затеканию первых, наиболее загрязненных, порций расплава в питатели препятствуют силы поверхностного натяжения, о чем говорилось выше (см. п. 2).

Как было показано (см. стр. 19), для затекания алюминиевого расплава из неполностью заполненного коллектора в питатели толщиной 3 и 6 мм требуются минимальные напоры, т. е. высоты потока в коллекторе соответственно 23 и 12 мм. Такие высоты потока в коллекторе, как видно из табл. 11, достигаются при довольно высоких скоростях потока, величину которых всегда можно ограничить при проектировании коллектора. Кроме того, для затекания металла в коллекторе необходимо создать в питателях дополнительный напор для преодоления сопротивления окисных пленок и местных сопротивлений при входе в питатель. Это упрощает решение задачи по задержанию в коллекторе первых порций металла.

После заполнения коллектора высота потока в нем $h_{\text{п}}$ становится равной высоте коллектора $h_{\text{к}}$. Чтобы задержать шлаковые частицы на этой стадии заполнения формы, необходимо, во-первых, обеспечить всплывание шлаковых частиц на поверхность потока при перемещении расплава на расстоянии от стояка до первого питателя $L_{\text{п}}$ (см. рис. 39); во-вторых, устранить возможность засасывания шлаковых частиц через питатели.

Продолжительность при всплытии τ_v , т. е. вертикального перемещения частиц, зависит от скорости всплывания, которую можно принять за постоянную, и пути вертикального перемещения, который в предельном случае равен высоте коллектора h_k . Предельную скорость всплывания шлаковых частиц $v_{ш.мах}$ в спокойном расплаве можно определить по формуле Б. В. Рабиновича [57]:

$$v_{ш.мах} = 2 \sqrt{\frac{d_{ш}}{3C} \frac{\rho_m - \rho_{ш}}{\rho_m} g}, \quad (18)$$

где $d_{ш}$ — диаметр шлаковой частицы, м; $\rho_m, \rho_{ш}$ — плотность жидкого металла и шлака, кг/м³; C — коэффициент сопротивления, являющийся функцией критерия Re.

Формула (18) учитывает реальные условия всплывания шлаковых частиц, а именно: в коллекторе имеет место турбулентное обтекание частицы потоком (обтекание, образующееся в результате взаимодействия частиц и среды при их относительном движении); диаметр макрочастиц — шлаковых частиц, являющихся объектом улавливания, всегда превышает 1 мм.

Опыты Б. В. Рабиновича показали, что при десятикратном отношении $d_k/d_{ш}$ (где d_k — диаметр литникового канала) скорость всплывания шлаковой частицы близка к скорости всплывания в неограниченной среде, а значение коэффициента C близко к единице в независимости от величины числа Re.

При движении жидкого металла в коллекторе отношение $d_k/d_{ш}$ всегда близко к 10 или более этого числа. Поэтому для практических расчетов скоростей всплывания шлаковых частиц можно принять $C=1$.

Одновременно с всплыванием происходит горизонтальное перемещение шлаковых частиц (см. рис. 39). Скорость частиц в направлении движения потока в коллекторе $v_{шS} = v_k + \omega_{шS}$, где $\omega_{шS}$ — относительная скорость частиц шлака. Экспериментально установлено [57], что

$$v_{шS} = 1,2v_k. \quad (19)$$

В направлении по нормали к потоку $v_k=0$ и, следовательно, абсолютная скорость шлаковой частицы $v_{шN}$ равна относительной $\omega_{шN}$, т. е. $v_{шN} = \omega_{шN}$.

Чтобы шлаковая частица успела всплыть на расстоянии от стояка до первого питателя $L_{п}$, продолжительность ее горизонтального перемещения $\tau_{ш.г}$ должна быть не меньше продолжительности перемещения по вертикали $\tau_{ш.в}$ на расстояние, равное высоте коллектора h_k , т. е. $\tau_{ш.г} \geq \tau_{ш.в}$.

Продолжительность горизонтального перемещения зависит от расстояния $L_{п}$, скорости всплытия шлаковой частицы $\omega_{шN}$, которая для горизонтального канала равна $v_{шмах}$ и скорости потока в коллекторе v_k . С учетом (19), а также при $v_{шN} = \omega_{шN}$ и $v_{шN} = v_{шмах}$ Б. В. Рабиновичем [57] получено вы-

ражение, связывающее между собой переменные величины, входящие в $\tau_{ш.г}$ и $\tau_{ш.в}$:

$$L_{п} \geq h_{к} \frac{1,2v_{к}}{v_{ш \max}}, \quad (20)$$

где $L_{п}$ — расстояние от стояка до первого питателя, м; $h_{к}$ — высота коллектора, м; $v_{к}$ — скорость металла в коллекторе, м/с; $v_{ш \max}$ — максимальная скорость всплывания шлаковой частицы, определяемая по формуле (18), м.

Формулу (20) можно упростить применительно к алюминиевым и магниевым сплавам. Для расчета примем следующие значения величин, входящих в формулу (18). Диаметр шлаковой частицы $d_{ш}=0,002$ м, коэффициент сопротивления $C=1$; среднее значение плотности алюминиевых сплавов в интервале температур $640-760^{\circ}\text{C}$ $\rho_{с}=2400$ кг/м³; магниевых сплавов ($640-800^{\circ}\text{C}$) $\rho_{с}=1640$ кг/м³. Среднее значение плотности шлаков: $\rho_{ш}=1800$ кг/м³ в алюминиевых расплавах (находится в пределах $1500-2100$ кг/м³) и $\rho_{ш}=1350$ кг/м³ в магниевых расплавах (находится в пределах $1200-1500$ кг/м³).

Подставляя указанные значения в формулу (18), получим $v_{ш \max}=0,081$ м/с для алюминиевых и $v_{ш \max}=0,069$ м/с для магниевых сплавов. Тогда формула (20) примет окончательный расчетный вид — для алюминиевых сплавов

$$L_{п} \geq 14,7h_{к}v_{к} \quad (21)$$

и для магниевых сплавов

$$L_{п} \geq 17,4h_{к}v_{к}. \quad (22)$$

Если при расчете литниковых систем требуется определить высоту коллектора по известному расстоянию от стояка до первого питателя, то формулы (21) и (22) соответственно удобнее представить в виде

$$h_{к} \leq 0,0675 \frac{L_{п}}{v_{к}}, \quad (23)$$

$$h_{к} \leq 0,0575 \frac{L_{п}}{v_{к}}. \quad (24)$$

Как видно из (21) и (22), расстояние от стояка до первого питателя должно возрастать с повышением скорости потока металла в коллекторе и с увеличением его высоты, которые можно менять, задаваясь определенным соотношением $F_{с} : F_{к}$.

Следовательно, с точки зрения обеспечения лучшего всплывания шлаковых частиц, выгоднее применять коллекторы небольшой высоты, т. е. плоские коллекторы. Однако при недостаточной высоте коллектора всплывшие на поверхность потока и достигшие зоны действия питателей шлаковые частицы могут проникать в форму вследствие всасывающего эффекта питателей, возникающего из-за вертикального перемещения расплава

над ними и его оттока через питатели. Это поясняет схема, приведенная на рис. 40.

На частицу шлака, попавшую в зону засоса питателя, действуют подъемная сила 1 , уносящая сила потока 2 и уносящая сила (сила засоса) питателя 3 (рис. 40, *а*). Если силы 1 и 2 превосходят силу 3 , то их равнодействующая 4 направлена по ходу течения металла в коллекторе. В этом случае нет опасности, что шлаковая частица попадет в питатель. Поскольку на силу 1 влиять нельзя (в этом районе), необходимо обеспечить

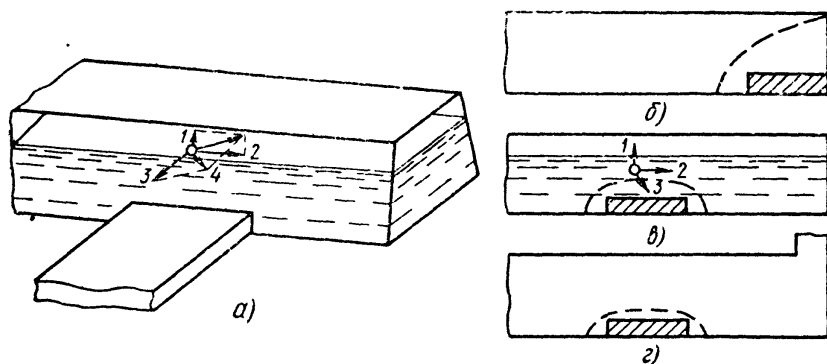


Рис. 40. Область засоса питателя:

а — сложение сил, действующих на частицу шлака в коллекторе; *б* — большая область засоса, питатель расположен вплотную к задней стенке коллектора; *в* — малая область засоса, питатель расположен на некотором расстоянии от задней стенки коллектора; *г* — область засоса меньше, чем в случае *в*, питатель расположен по схеме *в*, над коллектором установлен выпор

преобладание силы 2 над силой 3 . Это достигается лишь в том случае, когда расплав имеет достаточную скорость в коллекторе над питателем.

Если питатель поместить в конце коллектора возле его задней стенки (рис. 40, *б*), область засоса (показана штриховой линией) будет велика, потому что скорость потока здесь близка к нулю. Кроме того, как было показано выше (см. п. 2), у задней стенки коллектора в начальный момент заливки образуется подпор, который также будет способствовать протеканию металла через ближайший к этой стенке питатель. Поэтому питатель помещают на некотором расстоянии от задней стенки (рис. 40, *в*, обозначения сил 1 , 2 , 3 те же, что на рис. 40, *а*), а при необходимости еще больше уменьшить всасывающий эффект и продлить эффект шлакоотделения на конце коллектора устанавливают шлаковыпор на выход из формы (рис. 40, *г*). Тогда металл будет все время течь вдоль коллектора, и подсосывающее действие питателей несколько выровняется. С этой же целью при литье крупных отливок над питателем устанавливают шлакоборники (см. рис. 61, *д*), играющие одновременно роль питающих бобышек.

Для выяснения механизма задержания всплывших к потолку коллектора естественно образующихся и специально введенных в поток расплава шлаковых частиц были поставлены специальные опыты [13]. Через общий стояк (рис. 41) сплавом АЛ9 при температуре 760°C заливали одновременно два коллектора длиной 600 мм с одинаковой площадью поперечного сечения F_k , но с разной высотой h_k (низкий — тип А и высокий — тип Б), которые таким образом заполнялись в одинаковых условиях.

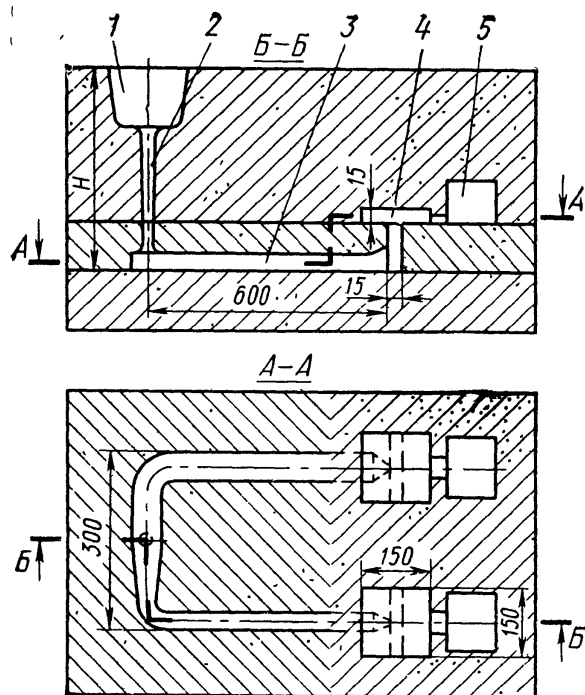


Рис. 41. Опытная форма для изучения шлакоотделения в коллекторе:

1 — чаша; 2 — стояк; 3 — коллектор; 4 — рабочая полость формы; 5 — резервуары для перепуска металла

ствуют одинаково и практически не обеспечивают заметного задержания шлака. Испытание коллекторов с измененными размерами выходных отверстий (рис. 42, б) показало, что они стали лучше задерживать шлак, основная масса которого накапливалась у выхода из коллектора. При этом лучше задерживал шлак коллектор типа Б, у которого отношение его высоты h_k к высоте выходного отверстия h_0 составляло 2,75 (у коллектора типа А оно равно 1,25).

Таким образом, шлак в коллекторе задерживается в основном только вследствие отжима (всплывания) к верхней плоскости коллектора. К потолку же прилипает незначительная часть шлака. Эффективность работы коллектора практически не зависит от размера площади его верхнего основания, а повышается лишь с увеличением h_k/h_0 .

К концам коллектора присоединяли рабочую полость формы Т-образного сечения, вертикальная часть которой предназначалась для ввода металла под затопленный уровень в горизонтально расположенную пластину размером $150 \times 150 \times 15$ мм, являющуюся контрольной пробой для оценки загрязненности. Скорость потока в коллекторах в пределах $0,2-0,96$ м/с и число Re в пределах $550-27\,500$ изменяли, применяя стояки различного диаметра.

Коллекторы (без питателей), у которых высота выходного отверстия была больше высоты основной части (рис. 42, а) несмотря на разные размеры площадей верхних оснований, дей-

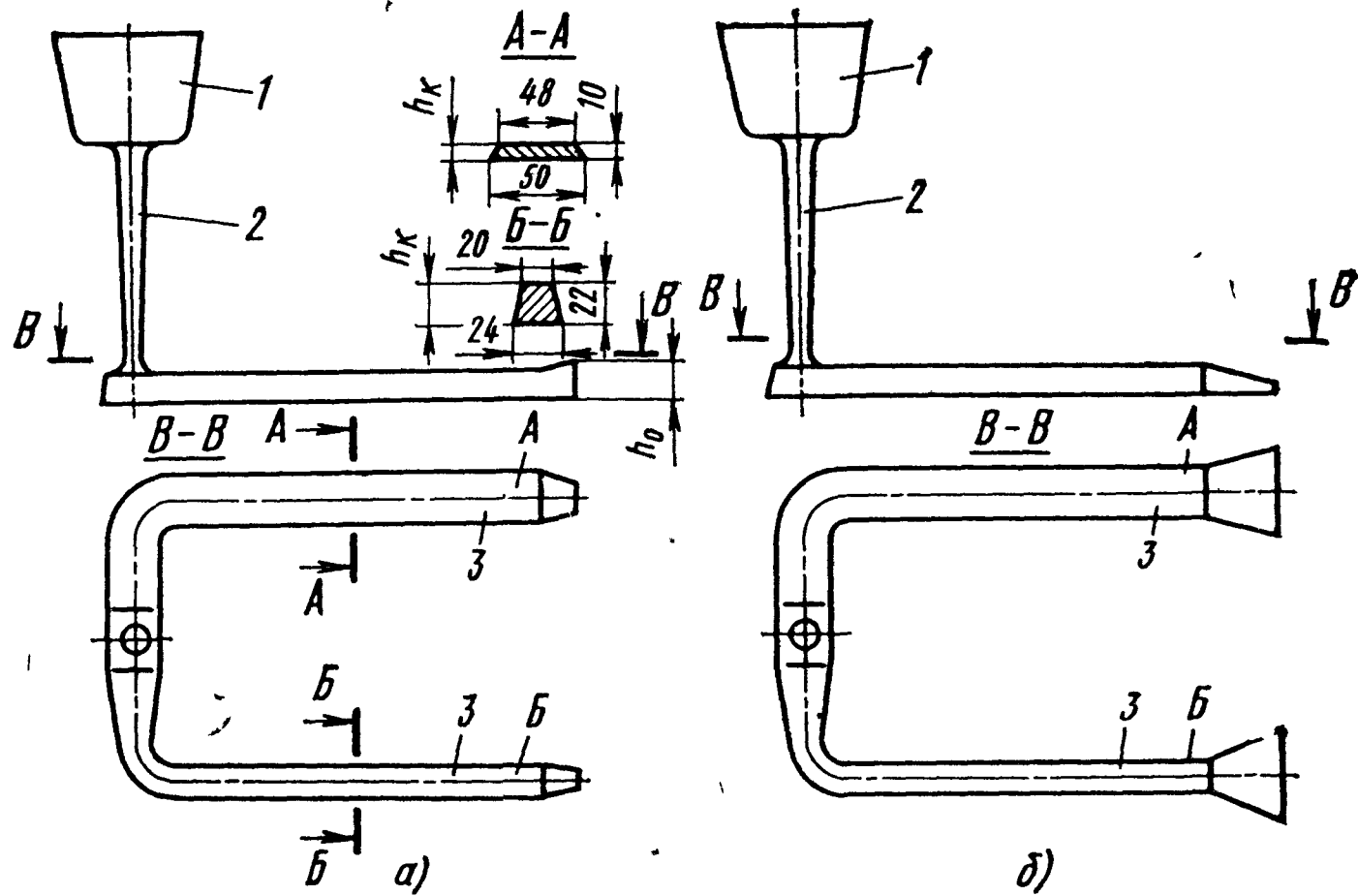


Рис. 42. Схема испытания коллекторов с высоким (а) и низким (б) выходным отверстием:

1 — чаша; 2 — стояк; 3 — низкий (А) и высокий (Б) коллекторы

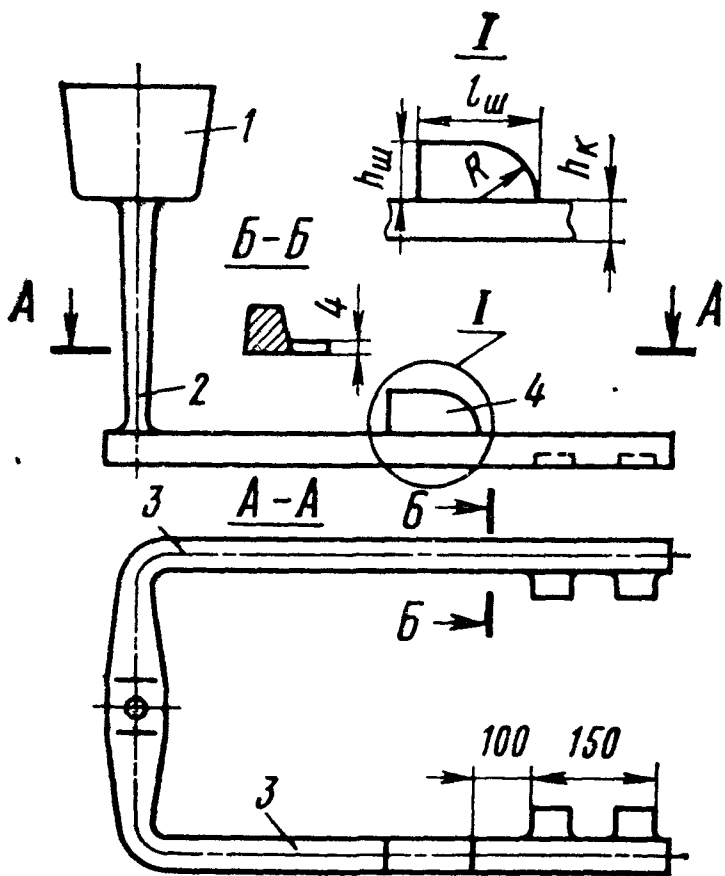


Рис. 43. Схема испытания коллектора со шлакоборником: $l_{ш} = 3,5 h_k$; $h_{ш} = 2 h_k$; $R = 2 h_k$
1 — чаша; 2 — стояк; 3 — коллекторы; 4 — шлакоборник

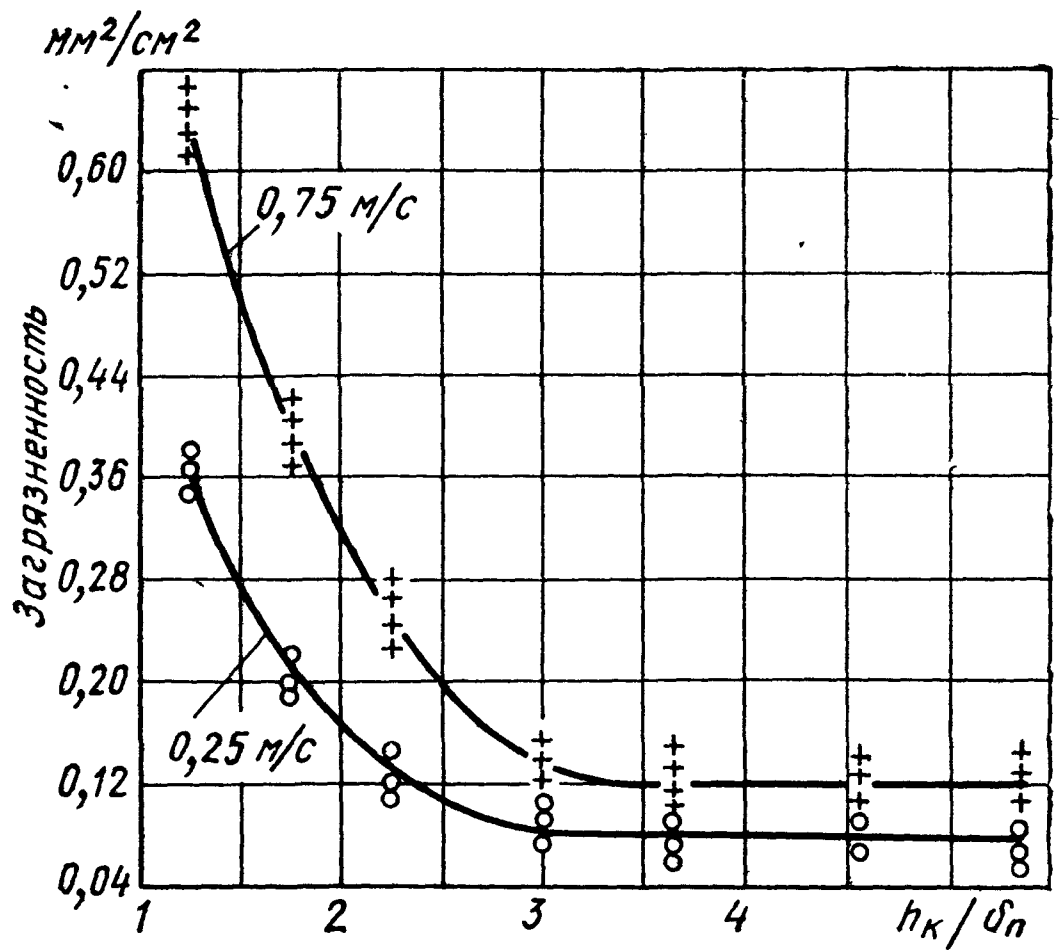


Рис. 44. Зависимость загрязненности металла от отношения h_k/d_n при различных скоростях потока в питателях

Одновременное испытание системы коллекторов со шлако-сборником и без шлакоборника (рис. 43) показало, что шлако-сборник значительно повышает эффективность коллектора в задержании шлака.

Для выяснения влияния отношения $h_k/\delta_{\text{п}}$ (где h_k — высоты коллектора и $\delta_{\text{п}}$ — толщина питателей) на проникновение в отливку шлака испытывали систему с питателями, но без шлакоборников (рис. 43), у которой площади поперечных сечений коллекторов и питателей были постоянными, а изменялись лишь их высоты.

Как видно, на рис. 44, загрязненность практически остается на неизменном уровне независимо от скорости потока металла в питателях, если отношение $h_k/\delta_{\text{п}}$ более 3,25. Это соотношение может быть принято как минимально допустимое. Уменьшение его нецелесообразно из-за опасности засоса шлака через питатели. Тогда условие, предотвращающее проникновение шлака через питатели, будет иметь вид

$$\frac{h_k}{\delta_{\text{п}}} \geq 3,25. \quad (25)$$

На основе проведенных экспериментов, а также опытов других авторов [9, 57, 96] можно сделать следующее заключение о механизме задержания шлака в коллекторе и путях повышения эффективности его работы.

Всплывшие к потолку коллектора шлаковые частицы из-за полной несмачиваемости сплавом формы почти не прилипают к ней и поэтому плохо удерживаются верхней частью коллектора. При высоких скоростях потока эти частицы смываются и проталкиваются в направлении движения металла в конец коллектора, где они скапливаются.

При недостаточной высоте коллектора над питателями, т. е. малом отношении $h_k/\delta_{\text{п}}$, собравшийся в верхней части коллектора шлак проникает в форму вследствие всасывающего эффекта питателей. Чем сильнее турбулентность потока, тем интенсивнее частицы шлака замешиваются в середину потока и тем хуже они отделяются от расплава и всплывают вверх.

На рис. 45 приведен график зависимости загрязненности от числа Re в коллекторе, построенный на основе опытов с литниковой системой, схема которой показана на рис. 43. Как видно, с увеличением числа Re проникновение шлаков в отливку увеличивается. Снижение эффективности коллектора в задержании неметаллических включений (зерен кварца) с увеличением турбулентности потока установлено также при заливке чугуна, стали и бронзы [96]. В частности, отмечено, что коллектор удовлетворительно задерживает включения, когда число Re в этом канале не превышало 12 000—16 000, и работа коллектора становилась мало эффективной, когда число Re находилось в пределах 20 000—40 000.

Таким образом, для успешного всплытия шлаковых частиц следует уменьшить турбулентность потока в коллекторе. Этого достигают применением расширяющихся систем, у которых $F_K/F_C > 2$.

В тех случаях, когда на всем пути следования расплава трудно обеспечить наименьшую турбулентность, необходимо хотя бы отдельные участки коллектора выполнить так, чтобы здесь обеспечивалось спокойное течение расплава и тем самым создавались наилучшие условия для отделения шлака. Система с таким устройством шлакоулавливающих элементов приведена на рис. 46. На участке между зумфом 2 и коллектором 5 расположена камера — шлакоуловитель 3. Квадратное сечение камеры плавно расширяется в направлении потока, что обеспечивает течение расплава с умеренной турбулентностью и способствует отделению и улавливанию шлака. Эффективность такой конструкции шлакоуловителя находится в прямой зависимости от того, насколько удастся снизить число Re до его допустимого значения [96].

Снизить турбулентность потока можно также изменением профиля поперечного сечения коллектора. В качестве примера на рис. 47 приведена система с коллектором, верхнее основание

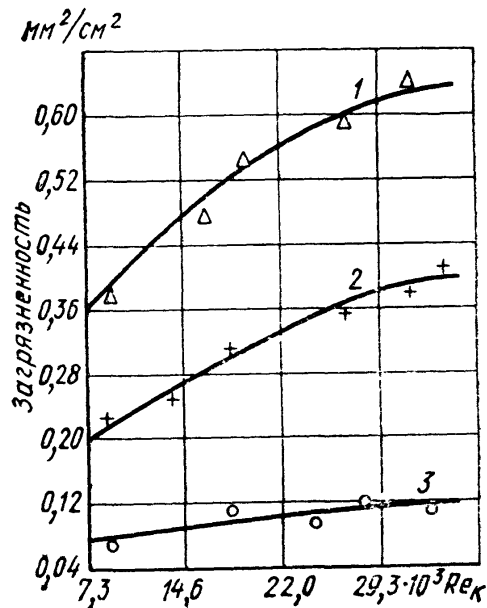
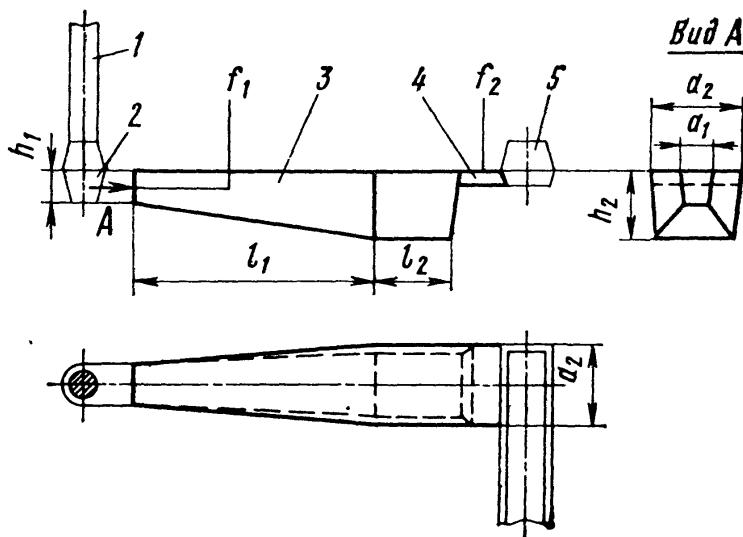


Рис. 45. Зависимость загрязненности от числа Рейнольдса в коллекторе:

1 — $h_K/\delta_{II}=1,25$; 2 — $h_K/\delta_{II}=1,75$;
3 — $h_K/\delta_{II}=3,0$

Рис. 46. Литниковая система с камерой-шлакоуловителем [96]:

$h_1=a_1$; $h_2=a_2$; $l_1=5(a_2-a_1)$;
 $l_2=a_2$; f_1, f_2 — площади сечений соответственно входного отверстия камеры и соединительного канала ($f_1=f_2$)
1 — стояк; 2 — зумф; 3 — камера; 4 — соединительный канал; 5 — коллектор



которого выполнено вогнутым (И. А. Релин, Н. М. Галдин, авторское свидетельство № 454079, 1974). Это позволяет умень-

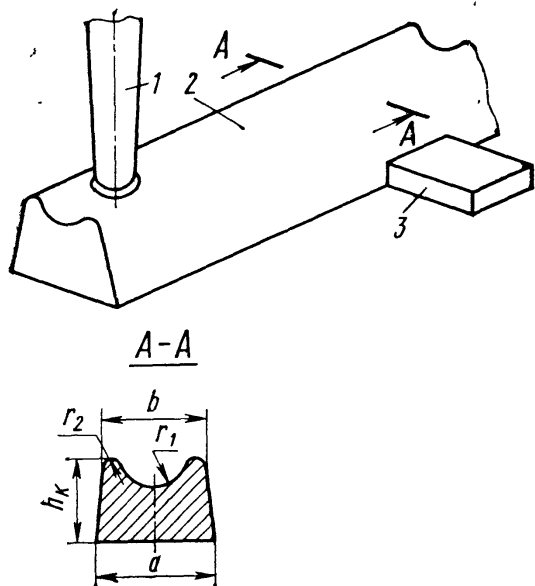


Рис. 47. Литниковая система с вогнутым коллектором:
 $b = (0,7-0,8) a$; $h_k = (1-1,2) a$; $r_1 = (0,5-0,75) b$; $r_2 = 3-5$ мм; 1 — стояк; 2 — коллектор; 3 — питатель

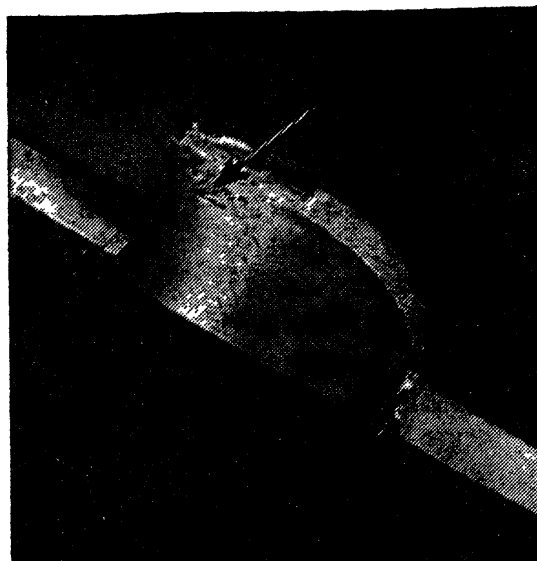


Рис. 48. Снимок с отливки шлако-сборника после его механической обработки. Места скопления шлака указаны стрелкой

шить гидравлический радиус канала, а значит, и число Re в нем. Вместе с тем высоту коллектора можно оставить неизменной, чтобы обеспечить выполнение условия (25). Такой коллектор обеспечивает также меньший расход сплава по сравнению с обычным коллектором трапециевидного сечения.

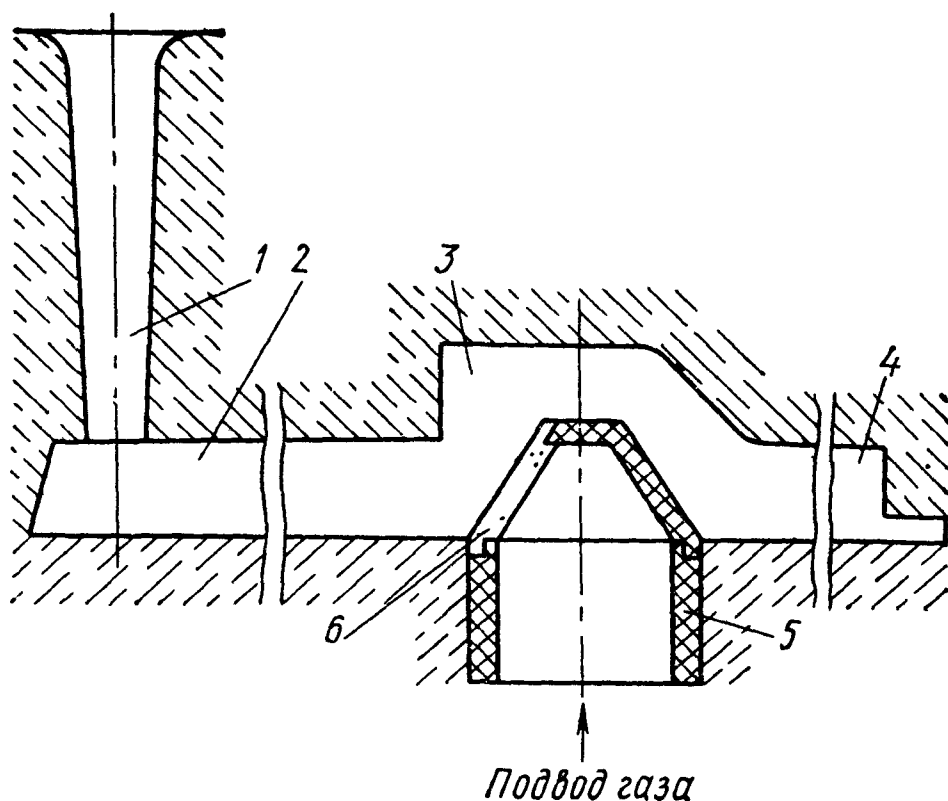
В системах со шлакоборником основное количество шлака скапливается в шлакоборнике (рис. 48), меньшая часть задерживается в зоне, расположенной перед ним, и только незначительная часть проникает в зону над питателями, что в конечном итоге и обеспечивает эффективность таких систем.

Шлакоборник, установленный над коллектором, представляет собой внезапное расширение, которое увеличивает градиент давления вдоль потока. Благодаря этому уменьшается скорость продвижения частиц по течению $v_{шS}$ (см. рис. 39) и увеличивается скорость по нормали $v_{шN}$, а, как следует из уравнения (20), чем меньше $v_{шS}$ и больше $v_{шN}$, тем короче путь, по которому шлак достигает потолка шлакоборника. Для увеличения эффективности работы шлакоборников расплав в них вводят по направлению снизу вверх, при этом создается восходящий поток, в котором высокая скорость движения шлаковой частицы способствует быстрому ее всплытию.

Для еще большего повышения эффекта шлакоотделения используют продувку расплава рафинирующим газом, при которой происходит флотация шлаковых включений и их всплытие в шлакоборник. Все три условия (внезапное расширение, восходящий поток и флотация) обеспечиваются конструкцией литниковой системы, приведенной на рис. 49 (Н. М. Галдин, ав-

Рис. 49. Литниковая система со шлакоборником и устройством для подачи газа:

1 — стояк; 2 — коллектор; 3 — шлакоборник; 4 — питатель; 5 — полая вставка; 6 — наклонная пористая стенка вставки

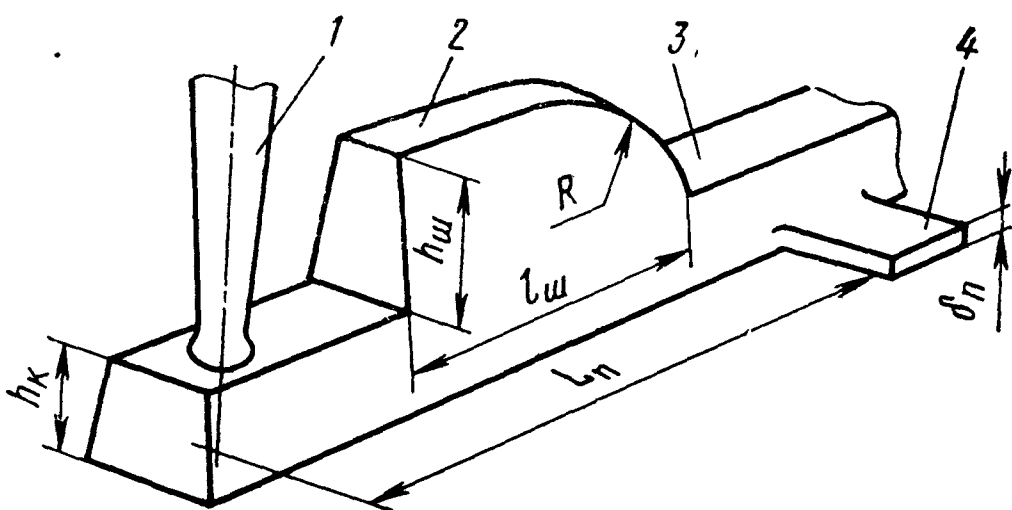


торское свидетельство № 558746, 1977). Частицы шлака, попавшие на наклонную пористую стенку полой вставки, через которую продувается газ, приобретают дополнительную скорость всплывания, что способствует их быстрому подъему к потолку шлакоборника.

Применять шлакоборники целесообразно при заливке крупных отливок, когда в коллекторе скапливается большое количество шлаков и пены. В этом случае зона над питателями очищается от шлака (он поднимается в шлакоборник). В результате уменьшается опасность проникновения шлака в отливку за счет всасывающего эффекта питателей. Конструктивное построение шлакоборника приведено на рис. 50. При установке

Рис. 50. Конструктивное построение шлакоборника:

$h_{ш} = 2 h_{к}$; $l_{ш} = 3,5 h_{к}$; $R = 2 h_{к}$;
1 — стояк; 2 — коллектор; 3 — шлакоборник; 4 — питатель



на коллекторе одного шлакоборника его необходимо помещать перед первым от стояка питателем.

Используемые нередко на практике коллекторы трапециевидного сечения с соотношением нижнего основания к высоте, 1 : 1,2 или 1 : 1,25 являются рациональными не для всех случаев. Высоту коллектора следует выбирать, исходя из условия (25). Поэтому она может быть как меньше, так и больше размера нижнего основания трапеции. Если же условие (25) соблюдено, то необходимо принимать коллектор, у которого раз-

меры нижнего основания и высоты равны ($h_k = a$, см. рис. 72), так как в этом случае будут наименьшие тепловые потери протекающего металла.

7. УСТРАНЕНИЕ РАЗРЯЖЕНИЯ (ВАКУУМА) В ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЕ

Разряжение и инжекция воздуха и газов в литниковых каналах может произойти вследствие недостаточного уклона стояка, приводящего к отрыву струи от его стенок; недостаточной высоты литниковой чаши и нерационального ее профиля, приводящих к образованию вихревой воронки; наличия острых кромок при сочленении элементов литниковой системы между собой (стояка с чашей и коллектором, питателей с коллектором и др.), приводящих к отрыву струи от стенок канала.

Поскольку при свободном падении струи в стояке ее скорость возрастает (по закону $v_c = \mu \sqrt{2gh_c}$), сечение струи постепенно уменьшается сверху вниз. Если вертикальному каналу не придать конусность, то при заливке в стояке будет происходить подсос воздуха через стенки и разъем формы из-за образования разряжения, т. е. отрицательного (ниже атмосферного) давления металла на стенки каналов. При этом самым опасным сечением является верхнее сечение стояка.

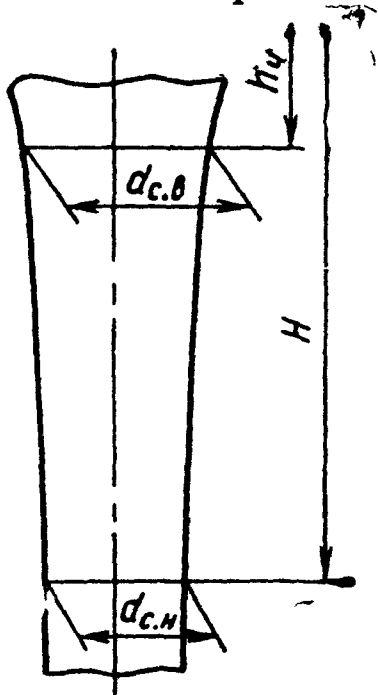


Рис. 51. Идеальный профиль стояка

Необходимое уменьшение площади поперечного сечения стояка по высоте можно определить из уравнения [57], описывающего идеальный профиль стояка (рис. 51):

$$f_{c.в} \geq f_{c.н} \cdot \frac{\mu_c}{\mu_ч} \sqrt{\frac{H}{h_ч}}, \quad (26)$$

где $f_{c.в}$, $f_{c.н}$ — площади стояка соответственно в верхнем и нижнем сечении; μ_c , $\mu_ч$ — коэффициенты расхода системы соответственно в нижнем сечении стояка и литниковой чаши; H — напор над нижним сечением стояка, равный $H = h_c + h_ч$; $h_ч$ — высота уровня металла в чаше; h_c — высота стояка.

Для канала круглого сечения из уравнения (26) получаем

$$d_{c.в} \geq d_{c.н} \sqrt[4]{\frac{\mu_c^2 H}{\mu_ч^2 h_ч}}. \quad (27)$$

На практике идеальный профиль стояка заменяют конусным с уклоном 18—35', который оказывается вполне достаточным, чтобы в верхнем сечении стояка давление было не меньше

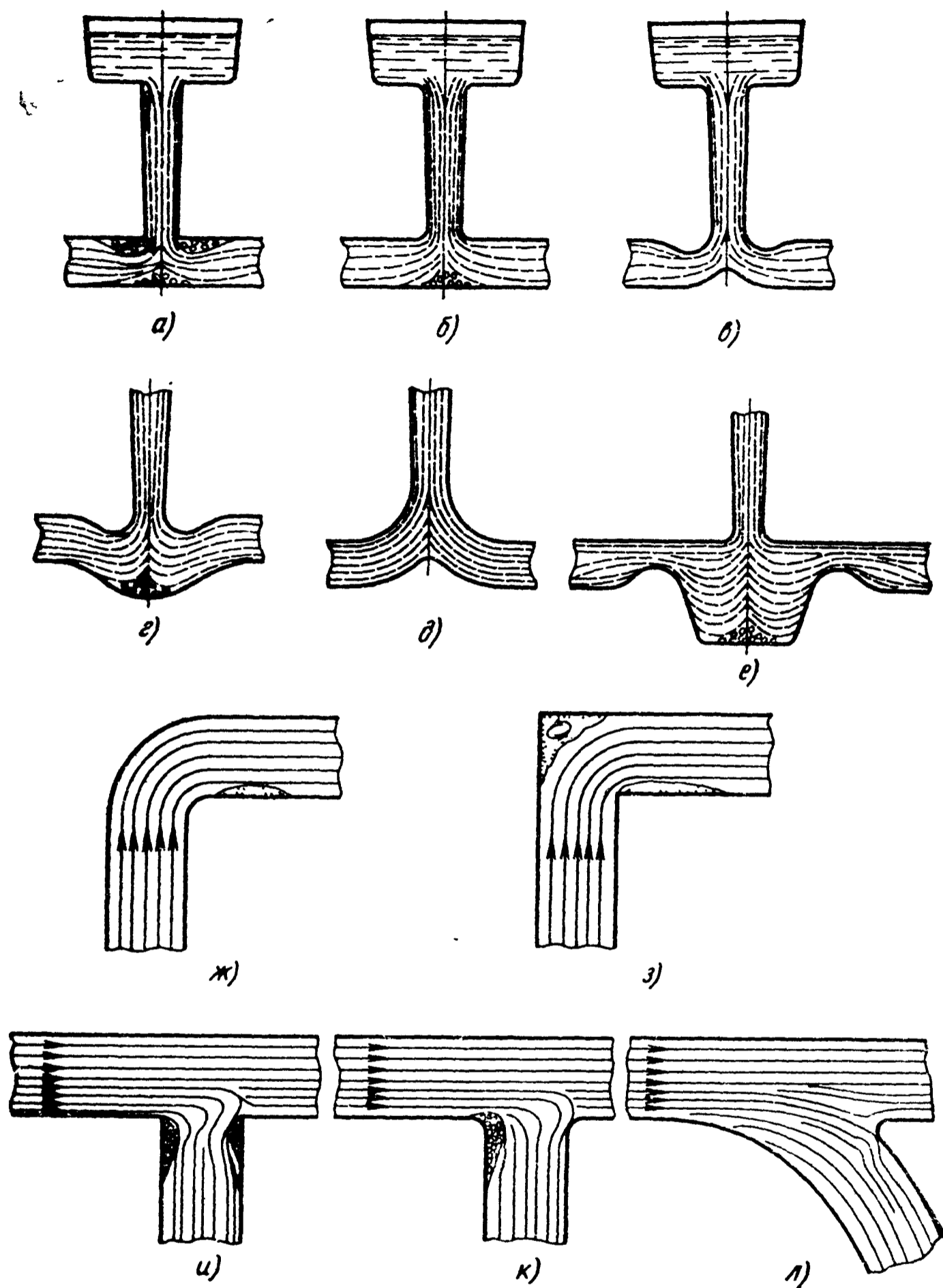


Рис. 52. Характер потока при острых и закругленных кромках соединения элементов литниковой системы между собой:
а — соединения стояка с чашей и коллектором с острыми кромками;
б, в — соединения стояка с чашей и коллектором с закругленными кромками; *г-е* — улучшенные соединения стояка с коллектором;
ж — плавный поворот в коллекторе; *з* — поворот в коллекторе под прямым углом; *и* — соединение питателя с коллектором с острыми кромками; *к* — соединение питателя с коллектором с закругленными кромками; *л* — улучшенные соединения питателя с коллектором

атмосферного, не происходил бы отрыв струи от стенок и подсос воздуха [20]. Поскольку следующие за стояком элементы литниковой системы создают добавочные сопротивления, давление на стенки стояка будет больше, чем в том случае, когда расплав из стояка вытекает прямо в полость формы (атмосфере). Это дает дополнительную гарантию в предотвращении инжекции воздуха через стояк.

В цилиндрических и расширяющихся книзу стояках образуется вакуум по всей их высоте и происходит подсос воздуха. Такие стояки не обеспечивают благоприятных условий для заполнения формы, и их не следует применять.

Образование разряженного пространства и возникновение инжекции воздуха протекающим металлом может произойти также вследствие сужения потока, образующегося из-за наличия острых кромок (рис. 52, *а, з, и*) в местах сочленения элементов литниковых систем между собой (стояка с чашей и коллектором, питателей с коллектором и т. д.).

При закругленных кромках сужение живого сечения потока уменьшается (рис. 52, *б, ж, к*) или полностью отсутствует (рис. 52, *в—е, л*). Каналы такого типа уменьшают опасность окисления, захвата воздуха и, кроме того, в меньшей степени подвержены разрушению вследствие эрозии формы.

Вопросы образования инжекции в других каналах расширяющейся системы: коллекторе, питателях, вертикальных колодцах и щелях — изучены недостаточно, и пока нет четких рекомендаций по устранению этого явления [63]. Опытами с водой на расширяющихся системах установлено, что давление жидкости в коллекторе и питателях увеличивается по мере удаления от стояка. Однако при чрезмерном увеличении отношения $F_{\text{п}} : F_{\text{к}}$ и $F_{\text{к}} : F_{\text{с}}$ давление в верхней части коллектора может упасть ниже атмосферного, вследствие чего возникает опасность захвата воздуха [22].

Устранить инжекцию можно установкой дросселей, которые чаще всего располагают при переходе от стояка к коллектору (рис. 52, *е*) или непосредственно в коллекторе (рис. 53). Однако при литье легких сплавов дросселированием надо пользоваться осторожно, ибо чрезмерное сужение или расширение потока может вызвать его завихрение и образование в отливке окислов и вторичных шлаков.

Как уже отмечалось, причиной захвата воздуха расплавом может быть вихревая воронка, образование которой непосредственно связано с высотой и профилем литниковой чаши. Для предотвращения этого явления чаши и воронки делают прямоугольными (вместо круглых), увеличивают их высоту, разделяют перегородками на две зоны (см. гл. II, п. 7), выполняют в них вертикальные ребра — рассекатели против выходного отверстия, делают порог или углубление в месте удара струи о дно, уменьшающие циркуляцию и завихрение сплава, умень-

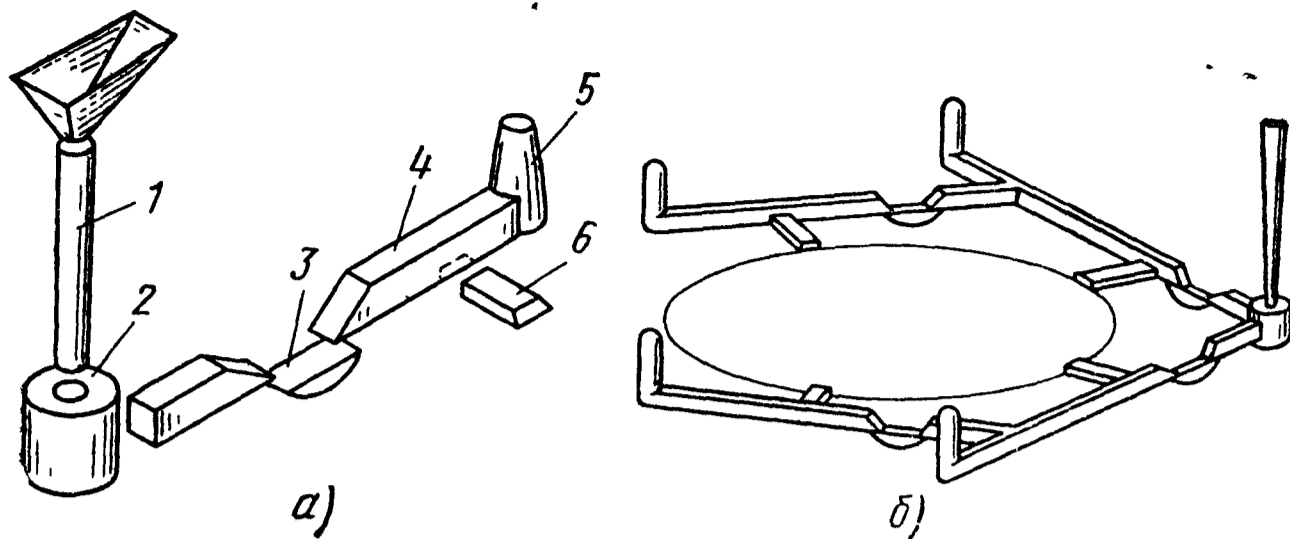


Рис. 53. Литниковая система с горизонтальными дросселями [94]:

а — элементы системы; б — компоновка системы для круглой отливки; 1 — стояк; 2 — зумпф; 3 — дроссель; 4 — коллектор; 5 — шлакоборник; 6 — питатель

шают по возможности высоту падения струи в чашу и т. д. Порог, или местное углубление дна чаши, способствует также задержанию шлака на последней стадии заливки, который остается в этом углублении.

Как следует из уравнения (27), высота уровня металла в чаше $h_{\text{ч}}$ должна быть тем больше, чем больше высота стояка и чем меньше его уклон, т. е. отношение $d_{\text{с.в.}}/d_{\text{с.н.}}$.

8. НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ПИТАТЕЛЕЙ

Одно из условий правильного функционирования многопитательной литниковой системы — равномерное распределение расхода сплава по питателям.

Экспериментальное изучение заполнения расширяющихся конструкций литниковых систем водой и жидким металлом [30], в том числе алюминиевыми сплавами [22, 25, 65], показало, что распределение расхода через питатели зависит от следующих основных факторов: конструкции коллектора и схемы взаимного расположения коллектора и питателей; соотношения площадей поперечных сечений элементов литниковой системы ($F_{\text{с}} : F_{\text{к}} : F_{\text{п}}$); высоты напора, числа питателей, а также расстояния между ними и стояком.

В работах [22, 65] были исследованы применяемые при литье легких сплавов конструкции литниковых систем при истечении жидкости в атмосферу и под затопленный уровень. Системы с соотношением $F_{\text{с}} : F_{\text{к}} : F_{\text{п}}$, равным $1 : 1 : (1 \div 4)$; $1 : 2 : (1 \div 4)$; $1 : 3 : (1 \div 6)$ и $1 : 6 : (2 \div 6)$ заливали водой при высоте напора над узким сечением стояка 0,22 и 0,32 м (высота уровня жидкости в чаше составляла 0,12 м), а системы с соотношением $F_{\text{с}} : F_{\text{к}} : F_{\text{п}}$, равным $1 : 2 : 2$, $1 : 2 : 3$ и $1 : 2 : 4$ — сплавом АЛ2 при 720—730°C и высоте напора 0,2—0,21 м. Коллектор и питатели располагались как в одной (верхней), так и в разных опоках. Число питателей изменяли от 2 до 6.

Неравномерность действия питателей оценивали величиной максимального относительного отклонения $(q_{\max} - q_{\min}) : Q/n$, где q_{\max} и q_{\min} — соответственно наибольший и наименьший расход через питатель; Q — общий расход системы; n — число питателей.

При всех исследованных соотношениях $F_c : F_k : F_{\Pi}$ как при истечении жидкости в атмосферу, так и при истечении под затопленный уровень, наибольшее ее количество проходило через наиболее удаленный от стояка питатель, а наименьшее — через ближайший к нему. Увеличение высоты стояка в пределах от 0,1 до 0,2 м, т. е. изменение напора, не оказывает существенного влияния на расход по питателям.

Изменение максимального относительного отклонения в расширяющихся конструкциях литниковых систем определяется принятым соотношением $F_c : F_k : F_{\Pi}$ и зависит главным образом от отношения F_k/F_{Π} .

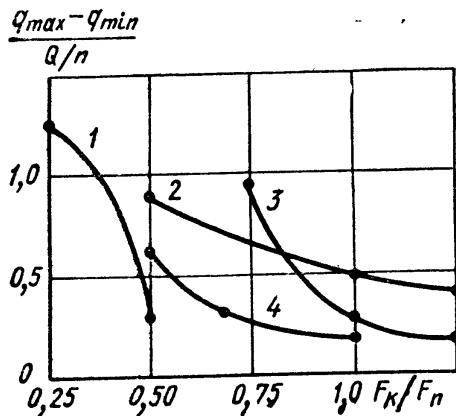


Рис. 54. Зависимость максимального относительного отклонения расхода по питателям (заливка водой при напоре 0,32 м) от отношения F_k/F_{Π} для соотношений $F_c : F_k : F_{\Pi}$, равных [65]:

1—1 : 1 : (2—4); 2—1 : 1,5 : (1—3); 3—1 : 3 : (3—4); 4—1 : 2 : (2—4).

На рис. 54 приведена зависимость максимального относительного отклонения от отношения F_k/F_{Π} . Как видно, наиболее равномерный расход по питателям по мере их удаления от стояка обеспечивают системы, у которых отношение $F_k/F_{\Pi} \geq 1$, и значительно хуже — системы, у которых $F_k/F_{\Pi} < 1$. Из исследованных лучшую равномерность расходов обеспечивают системы с соотношением $F_c : F_k : F_{\Pi}$ равным 1 : 2 (2÷3) и 1 : 3 (2÷3).

Замечено также, что заливка литниковых систем жидким металлом обеспечивает более равномерное распределение расходов по питателям, чем заливка водой. Эта разница увеличивается с уменьшением высоты стояка. Так, для систем с соотношением $F_c : F_k : F_{\Pi} = 1 : 2 : 4$ с четырьмя питателями при высоте напора 0,22 и 0,32 м максимальное относительное отклонение при заливке водой составило 0,5 и 0,65, а при заливке сплавом АЛ2 ($F_c : F_k : F_{\Pi} = 1 : 1 : 4$) при тех же условиях опыта указанное отклонение составило соответственно 0,89 и 0,8 [65].

Расход по питателям вертикально-щелевой системы изучали при заливке ее модели водой [22]. Вертикальный колодец системы соединяли со сливными сосудами тремя одинаковыми по

высоте (0,12 м), но расположенными на разных уровнях щелями: нижней, средней и верхней. Как видно на рис. 55, при одинаковой толщине щели по всей ее высоте (кривая 3) средняя и верхняя части щели имеют примерно одинаковый расход, который значительно превосходит расход через ее нижнюю часть.

На основании проведенных опытов авторы работы [22] рекомендуют для практического применения вертикальную щель, у которой верхняя часть ($\frac{1}{3}$ от общей высоты) примерно в 1,5 раза толще, чем нижняя. При таком устройстве щели расход жидкости возрастает в направлении от нижней части к верхней (кривая 1) примерно в 2 раза, что способствует направленной последовательной кристаллизации. Дальнейшее расширение верхней части щели нецелесообразно, так как оно не приводит к существенному изменению расхода (кривая 2).

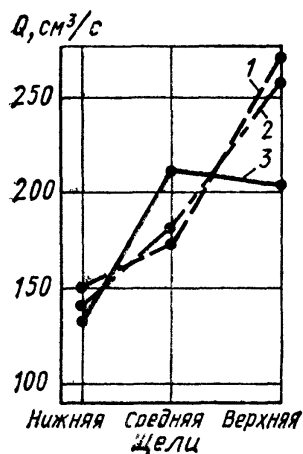


Рис. 55. Изменение расходов через щели в зависимости от соотношения $F_n:F_c:F_v$ (где F_n , F_c , F_v — площадь соответственно нижней, средней и верхней части щели) при разности уровня в чаше и сливном сосуде, равном 0,17 м [22]:

Соотношения $F_n:F_c:F_v$: 1—1:1:1,5; 2—1:1:3; 3—1:1:1

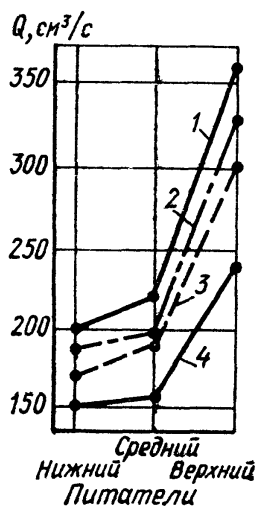


Рис. 56. Изменение расходов через питатели ступенчатой литниковой системы при разности уровня жидкости в чаше и сливном сосуде:

1—0,158 м; 2—0,138 м; 3—0,118 м; 4—0,088 м

Авторы работы [22] изучали также ступенчатую литниковую систему с обратным стояком. Такая система, соединенная тремя питателями со сливным сосудом, обеспечивала последовательное вступление в действие питателей на разных уровнях снизу вверх по мере подъема уровня металла в форме. В такой литниковой системе при истечении из питателей под затопленный уровень верхние питатели действуют значительно интенсивнее, чем нижние (рис. 56). Это создает благоприятный температурный перепад в отливке.

Изменение схемы взаимного расположения коллектора и питателей (рис. 57), хотя и оказывает некоторое влияние на работу питателей, однако не устраняет неравномерность их действия.

Как видно из графика, приведенного на рис. 58, лучшая равномерность расходов у системы с накладными питателями (кривая 3). Однако накладные питатели (рис. 57, в) вызывают

дополнительные возмущения в коллекторе, приводящие к образованию пены (см. п. 2), и поэтому не могут быть рекомендованы к применению. У системы с верхним расположением питателей (рис. 57, г) равномерность распределения расходов по питателям (кривая 1), хуже, чем у системы (рис. 57, а), общепринятой в практике легких сплавов конструкции (кривая 2, рис. 58).

Для повышения равномерности действия питателей в гори-

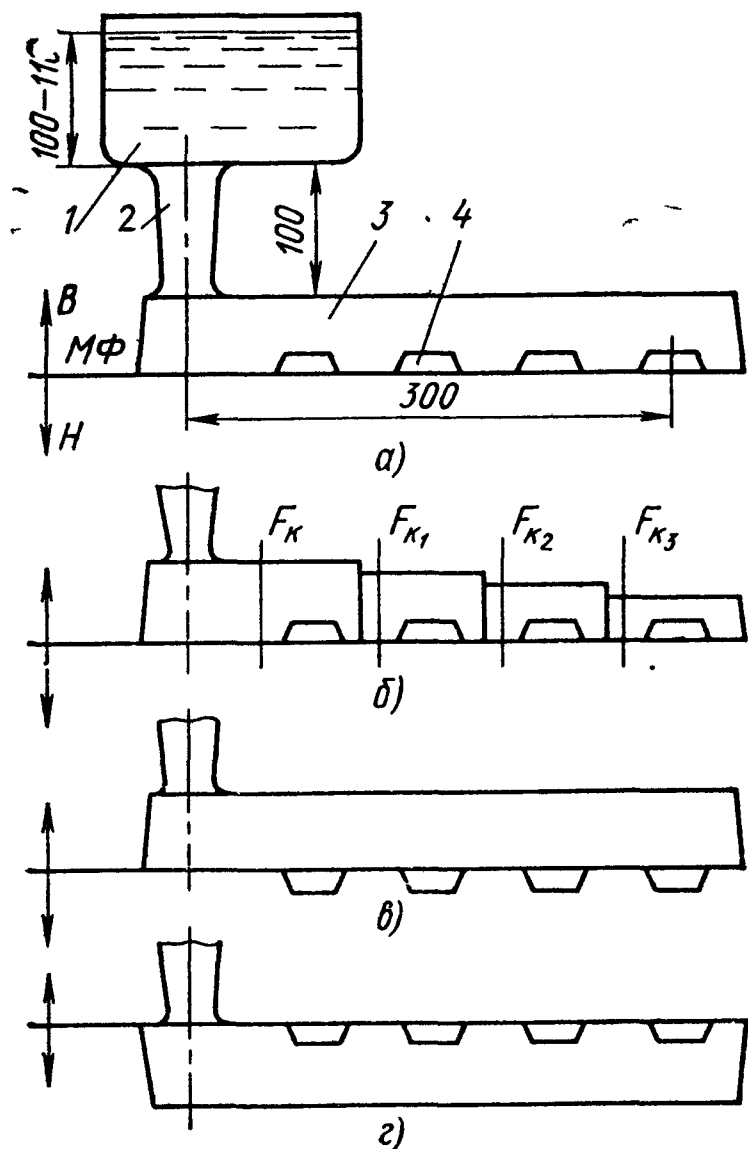


Рис. 57. Схемы литниковых систем с различным расположением питателей и коллектора постоянного (а, в, г) и переменного (б) сечений [22]:

а, б — питатели внизу коллектора, в одной полуформе; в — питатели внизу коллектора, в разных полуформах с ним (накладные питатели); г — питатели вверху коллектора; 1 — чаша; 2 — стояк; 3 — коллектор; 4 — питатели

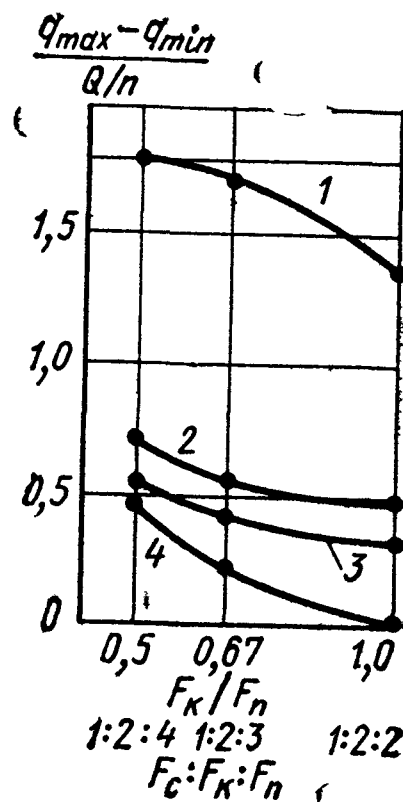


Рис. 58. Зависимость относительного отклонения расхода по питателям от отношения $F_k:F_n$ для литниковых систем с различным расположением питателей [22]:

Кривые 1, 2, 3, 4 — относятся соответственно к литниковым системам, представленным на рис. 57 г, а, в, б

зонтальной многопитательной системе в некоторых работах рекомендуется уменьшать площади поперечного сечения коллектора после каждого питателя [91, 94].

Сравнительные испытания двух систем (рис. 57, а и б) заливкой их сплавом АЛ2 показали [22], что система с суживающимся коллектором (рис. 57, б) обеспечивает более равномерное распределение расходов (кривая 4), чем система с коллектором постоянного сечения (кривая 2, рис. 58) только в том случае, если площадь сечения каждой секции коллектора не меньше суммы площадей сечения питателей, к которым через эту секцию подходит металл.

Таким образом, для системы с четырьмя питателями (см. рис. 57, б) должно быть соблюдено условие

$$F_k \geq 4f_{\text{п}}; F_{k_1} \geq 3f_{\text{п}}; F_{k_2} \geq 2f_{\text{п}}; F_{k_3} > f_{\text{п}}$$

где $f_{\text{п}}$ — площадь поперечного сечения одного питателя.

Уменьшение площади поперечного сечения коллектора можно обеспечить либо последовательным после каждого питателя снижением высоты коллектора, либо аналогичным сужением его ширины. Для уменьшения турбулентности потока изменять сечение коллектора необходимо не ступенькой, а плавно от одной секции к другой (рис. 59).

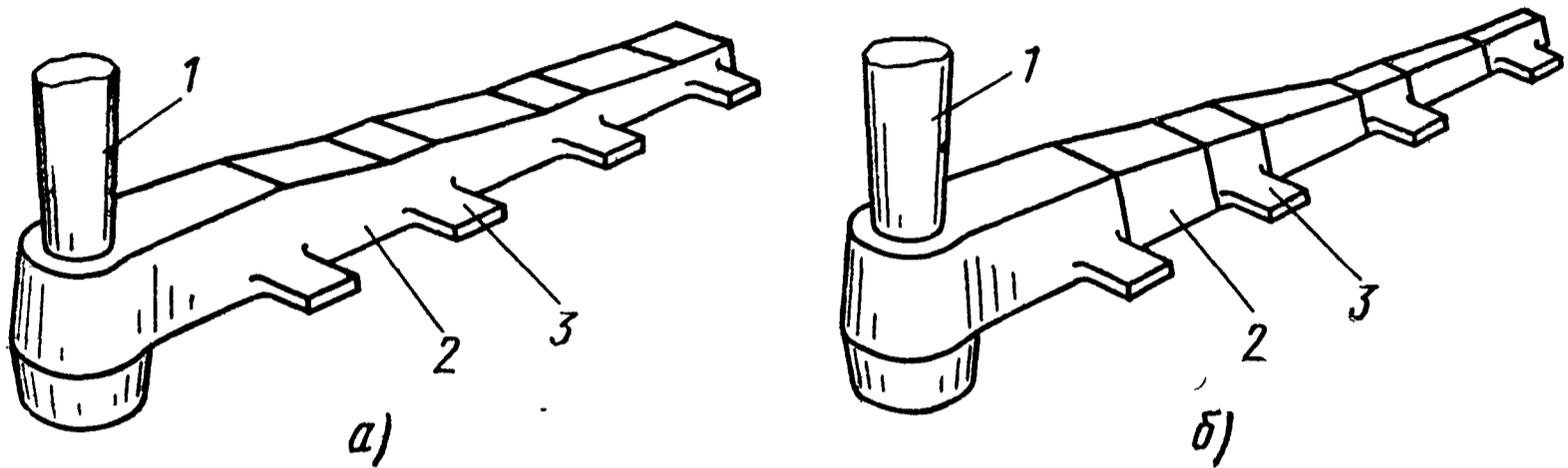


Рис. 59. Схема литниковой системы с суживающимся коллектором по высоте (а) и по ширине и высоте (б):

1 — стояк; 2 — коллектор; 3 — питатели

Однако, применяя сужающийся коллектор, необходимо иметь в виду, что при литье легких сплавов он является основным шлакозадерживающим элементом литниковой системы. Уменьшение же поперечного сечения коллектора, особенно у крайних питателей, может привести к увеличению турбулентности потока в нем вследствие увеличения скоростей и их пульсации при переходе из одной секции коллектора в другую. В таком потоке условия всплытия и задержания шлаковых включений ухудшаются по сравнению с равномерно движущимися потоками. Кроме того, при уменьшении поперечного сечения коллектора за счет его высоты увеличивается опасность засоса шлака через питатели.

Таким образом, вопрос об изменении поперечного сечения коллектора с целью улучшения распределения расплава по питателям необходимо решать с учетом влияния этого изменения на турбулентность потока и шлакозадержание в литниковой системе.

Следует отметить также, что помимо указанных факторов на расход металла по питателям могут оказать влияние также и такие, пока малоизученные факторы, как расстояние между питателями, скорости потока в коллекторе и, особенно, конфигурация коллектора. Опыты показывают, что, изменяя конфигу-

рацию коллектора (разделение потока на части, применение поворотов, утолщений — для гашения кинетической энергии потока и др.), можно добиться более равномерного распределения металла по питателям даже в расширяющихся системах.

К сожалению, экспериментальных данных о таком комплексном (с учетом неравномерности действия питателей, турбулентности потока и шлакозадержания) изучении работы коллекторов (как постоянного, так и переменного сечений) пока нет. Недостаточно экспериментальных данных и о неравномерности действия питателей для рекомендуемых и широко используемых при литье легких сплавов соотношений $F_c : F_{\Pi} : F_k$ применительно к другим, по сравнению с рассмотренными, условиям литья: напорах выше 0,3 м; литниковых системах с металлоприемником, изогнутых коллекторах и т. п.

Необходимо отметить, что вопрос о неравномерности действия питателей заслуживает самого серьезного экспериментального изучения, так как неравномерное поступление металла в форму может служить одной из причин местного перегрева отливок и подсоса воздуха через мало действующие питатели.

Более обоснованными и легче реализуемыми на практике являются рекомендации Ж. В. Токарева [64] по обеспечению равномерности расхода металла путем последовательного, начиная от стояка уменьшения площади поперечного сечения питателей.

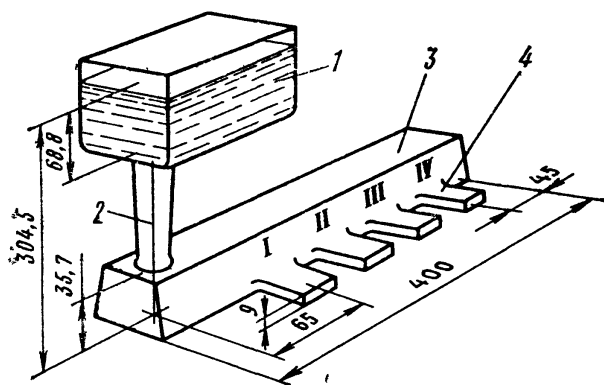


Рис. 60. Схема литниковой системы с уменьшающимися поперечными сечениями питателей:

$I-f_{\Pi}=2,5; v_{\Pi}=0,9; II-f_{\Pi}=2,1; v_{\Pi}=1,25; III-f_{\Pi}=2,03; v_{\Pi}=1,28; IV-f_{\Pi}=1,95 \text{ см}^2; v_{\Pi}=1,38 \text{ м/с}; F_c=5; F_k=10; F_{\Pi}=8,58 \text{ см}^2; F_c : F_k : F_{\Pi} = 1 : 2 : 1,72; 1 - \text{чаша}; 2 - \text{стояк}; 3 - \text{коллектор}; 4 - \text{питатели}$

На рис. 60 показана схема опытной литниковой системы с последовательно уменьшающимися площадями поперечных сечений питателей, построенная по данным работы [64]. В табл. 12 приведены результаты экспериментальной проверки этой системы в сравнении с обычной системой, питатели которой имели одинаковую площадь поперечных сечений.

Как видно, система с уменьшающимися питателями обеспечивает более равномерное распределение металла по питателям, чем обычная ($F_c : F_k : F_{\Pi}=1 : 2 : 2$). В системе с уменьшающимися питателями последовательно возрастает скорость потока v_{Π} . Величина v_{Π} в последних двух питателях примерно

X2 Экспериментальные данные о работе литниковой системы с питателями постоянной и переменной площади поперечных сечений [64]

$F_c:F_k:F_{II}$	Заливка	Расход через питатели, см ³ /с				Общий расход, см ³ /с
		I	II	III	IV	
1:2:1,72	Водой	265	270	270	275	1080
1:2:1,72	Сплавом АЛ2	240	255	260	270	1025
1:2:2	Водой	200	240	285	320	1065

на одну треть выше, чем в первом от стояка питателе. Возрастание скорости в питателях — во всех случаях нежелательное явление, а неравномерность скоростных потоков, входящих в рабочую полость формы, может привести к их перемешиванию и образованию вторичных шлаков.

Все это показывает, что решать проблему обеспечения равномерности расходов через питатели необходимо в комплексе с другими проблемами, о чем говорилось выше. В противном случае будут нарушены гидродинамические характеристики потока, и вместо положительного эффекта можно получить отрицательный.

Следует иметь в виду также, что неравномерность работы питателей не во всех случаях является отрицательным явлением. Иногда в известных пределах ее можно использовать для лучшей заполняемости отливок. Это касается прежде всего отливок с неравномерно распределенной по периметру массой металла. Чтобы обеспечить равномерный подъем уровня металла в таких отливках и исключить перетекание металла из одной зоны отливки в другую, необходимо повысить подачу металла в более массивные части отливки. Эту задачу как раз и может выполнить литниковая система с неравномерно работающими питателями, расход металла через каждый из которых, а также площадь их поперечного сечения можно заранее рассчитать.

Глава II

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

1. ОСНОВНЫЕ ДЕФЕКТЫ ОТЛИВОК И ПРИЧИНЫ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ ФОРМ

Неправильно выбранный режим заполнения формы и ошибки в построении литниковых систем приводят к возникновению в отливках следующих основных дефектов [24, 31, 37, 39]: неслитин, спаев и недоливов; неметаллических включений в виде пены, шлаков, окисных плен и газовых раковин; усадочных раковин, рыхлот, пористости, трещин и коробления; ужимин, пригара и других аналогичных дефектов, возникающих вследствие неравномерного прогрева формы; механического разрушения (разрыва) поверхности форм и стержней и их смещения, вызываемых динамическим и тепловым воздействием струи расплава.

Дефекты типа неслитин и недоливов непосредственно связаны с заполняемостью формы. Заполняемость формы, как уже отмечалось (см. гл. I, п. 5) зависит от температуры перегрева заливаемого расплава, условий его ввода в рабочую полость формы и скорости протекания расплава в ней.

Не представляется возможным выбрать такие режимы заполнения формы (течения расплава), которые обеспечивают полноту заполнения и одновременно исключают образование в отливке перечисленных выше дефектов. Образование дефектов зависит не только от режимов заполнения и конструкции литниковой системы, но также от физико-химических и литейных свойств расплава, свойств материала формы и конструкции отливки. В зависимости от названных условий некоторые из этих дефектов получают преимущественное развитие, другие выявляются слабо или полностью отсутствуют.

Особенность литейных алюминиевых и магниевых расплавов, влияющая на выбор режимов заполнения форм, — их высокая химическая активность к кислороду, а также к влаге воздуха и формы. Поверхность потока расплавов легких сплавов, как уже отмечалось, мгновенно окисляется. Течение же расплавов открытой струей или по каналам литейной формы проходит в оболочке из окисной пленки, имеющей при высоких температурах незначительную механическую прочность. Высокая скорость

и резкое изменение направления движения потока расплава, характерные для литниковых каналов, вызывают разрыв окисной пленки, дополнительное окисление и загрязнение расплава продуктами окисления — неметаллическими включениями.

Неметаллические включения в отливках из легких сплавов являются одним из самых распространенных дефектов, а их устранение — одной из труднейших задач.

Причины образования неметаллических включений: турбулентное движение расплава по каналам литейной формы; каскадный сброс расплава в рабочую полость формы; инжекция воздуха и газов через стенки и разъем формы; проникновение из заливочного ковша всегда присутствующих в готовом расплаве окислов и шлаков.

Турбулентное течение, вызывающее интенсивное перемешивание расплава и разрыв окисной пленки, приводит к увеличению контакта поверхности расплава с воздухом, газами и влагой формы, а также к механическому замешиванию окислов, воздуха и газов внутрь потока. Вследствие этого в отливках образуется пена — один из наиболее характерных видов неметаллических включений в легких сплавах. Этот дефект на производстве обычно называют вторичным шлаком.

Условия возникновения возмущений в каналах литейной формы, приводящие к образованию пены, оцениваются экспериментальными значениями чисел Рейнольдса (см. гл. I, п. 4) и поэтому полностью зависят от размеров и конструкции литниковой системы.

Каскадный сброс расплава в рабочей полости формы возникает чаще всего при верхнем подводе расплава в форму и достаточно большой скорости его ввода в форму. Наилучшее средство борьбы с каскадным сбросом — это применение нижней литниковой системы и уменьшение скорости потока расплава в питателях.

Инжекция воздуха и газов через стенки и разъем формы, как было показано, становится возможной при наличии в каналах литниковой системы отрицательного давления. В этом случае воздух и газы, проникая в поток расплава, вызывают его дополнительное окисление и приводят к образованию в отливках окисных и газовых включений. Образование отрицательного давления в литниковых каналах непосредственно связано с их формой и размерами. Оно устраняется применением литниковых чаш надлежащей конструкции и высоты, стояка с уклоном, плавных переходов от одного канала к другому и некоторыми другими приемами, о которых говорилось выше (см. гл. I, п. 7).

Проникновение шлаковых и окисных включений из заливочного ковша в рабочую полость формы становится возможным, если размеры и конструкции основных шлакозадерживающих элементов литниковой системы — чаши и коллектора, не обе-

спечивают задержание шлака и пропускают его через питатели в отливку.

Таким образом, неправильно спроектированная литниковая система, создающая турбулентное движение, каскадный сброс расплава, отрицательное давление металла на стенки каналов, и необеспечивающая задержание шлаковых включений, может оказаться причиной возникновения в отливках неметаллических включений в виде пены, шлака, окисных плен и газовых раковин.

Усадочные раковины, рыхлоты, пористость, трещины и коробление возникают вследствие усадки расплава и неблагоприятного распределения температур в охлаждающейся отливке, которые зависят не только от недостатков литниковой системы, но и от ряда других факторов, не связанных с процессом заполнения. К этим факторам относятся: теплофизические свойства сплава и формы; температура вливаемого в форму расплава, приведенный объем отливки на отдельных ее участках, механическая прочность формы и некоторые другие. Поэтому меры, предупреждающие образование названных дефектов, должны быть комплексными, всегда направленными на регулирование теплоотвода от формы с обеспечением последовательной кристаллизации отливки.

Литниковая система может внести расстройство в последовательный ход затвердевания отливки при локальном прогреве формы в районе питателей и всей нижней части отливки при нижней литниковой системе. Этого можно избежать, если выбрать тип литниковой системы в соответствии с конкретными условиями литья и местом подвода расплава в форму, а также если применять специальные средства — прибыли, холодильники, технологические напуски (местные утолщения) на отливке и т. п., регулирующие тепловой режим отдельных частей формы.

Ужимины, пригар и другие дефекты, вызываемые взаимодействием расплава с формой, образуются в отливках главным образом вследствие неправильного подбора формовочных и стержневых материалов. Неравномерное распределение температур в отливке во время ее охлаждения, которое, как уже отмечалось, в некоторой степени зависит от конструкции литниковой системы, места и способа подвода расплава в форму, может способствовать развитию названных дефектов. Устранение этих дефектов при литье легких сплавов не вызывает особых трудностей, так как в этом случае формовочные и стержневые материалы не подвергаются большому тепловому воздействию.

Механическое повреждение поверхности форм и стержней и их смещение возникают вследствие динамического и теплового воздействия входящей в форму при больших скоростях струи расплава. Этот дефект не является характерным при литье

легких сплавов, так как относительно невысокие температуры заливки и малая плотность сплавов не вызывают заметного разрушения материалов форм и стержней. Этого дефекта можно избежать, если литниковая система будет обеспечивать рас-средоточенный подвод расплава к полости формы и невысокие скорости вытекания его из питателей.

2. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ

Приведенный выше анализ дефектов и причин их возникнове-ния в отливках из легких сплавов показывает, что режим заполнения форм расплавом надлежит регулировать таким об-разом, чтобы произошло полное заполнение рабочей полости формы и чтобы в нее не проникали пена, шлаки и другие неме-таллические включения, вызывающие загрязнение отливок.

Регулируя режим заполнения, необходимо также иметь в виду, что от него в большей или меньшей мере зависит обра-зование таких дефектов, как усадочные раковины, пористость, трещины, коробление, ужимины, пригар, т. е. дефектов, связан-ных с тепловыми условиями затвердевающей отливки и взаи-модействием расплава с материалом формы.

Таким образом, для заполнения формы в указанном режиме литниковая система должна обеспечить [15, 45, 71, 100]: 1) за-полняемость формы; 2) ламинарное или с минимально допусти-мой турбулентностью течение расплава по каналам литейной формы; 3) положительное давление металла в каналах литей-ной формы; 4) задержание неметаллических включений; 5) ра-циональное распределение температур в охлаждающейся от-ливке.

Режим заполнения форм расплавом регулируют выбором надлежащей конструкции литниковой системы и расчетом раз-меров ее основных элементов, способствующих заполнению формы с заданной скоростью потока.

Выполнение первой (обеспечение заполняемости) и третьей (обеспечение положительного давления) функций литниковой системы главным образом зависит от ее размеров и в меньшей мере от ее конструкции. Выполнение второй (обеспечение ла-минарности потока) и четвертой (обеспечение шлакозадержа-ния) функций в одинаковой мере зависит как от конструкции, так и размеров литниковой системы. Пятая функция (обеспе-чение рационального распределения температур) главным образом зависит от конструкции литниковой системы.

Таким образом, выполнение основных функций литниковой системой зависит как от конструкции, так и размеров ее основ-ных элементов.

Многообразие функций литниковой системы и ее влияние на технологию изготовления литейной формы предъявляют к ней

довольно большие требования, которые можно сформулировать в виде двух основных [63]. Во-первых, литниковая система должна выполнить свои основные функции, т. е. обеспечить качество поступающего в форму расплава и создать наилучшие условия для формирования здоровой отливки после заполнения формы. Во-вторых, литниковая система должна быть простой по конструкции и небольшой по объему, чтобы обеспечить высокий выход годного и наименьшие трудовые и материальные затраты, т. е. обеспечить экономичность изготовления отливки.

3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ [15, 45, 71, 101]

Как было показано, рассчитывать и конструировать литниковую систему применительно к литью легких сплавов необходимо в основном с учетом: 1) заполняемости формы; 2) минимально допустимой турбулентности потока; 3) задержания шлаковых включений; 4) положительного давления металла в каналах литейной формы.

Последнюю задачу, как правило, решают выбором чаши надлежащей конструкции и необходимой высоты, а также приданием литниковым каналам соответствующих закруглений в местах их сочленений и конусности стояку (см. гл. I, п. 7). Для этого вносят дополнительные коррективы в уже установленные размеры поперечных сечений элементов литниковой системы. Первые же три задачи являются взаимосвязанными; их решают параллельно регулированием скорости потоков расплава в литниковых каналах и рабочей полости формы. Рассмотрим это решение.

Для обеспечения заполняемости формы скорость течения расплава в форме v_{ϕ} не должна быть меньше минимально допустимой ее величины $v_{\phi \min}$ для данных условий литья (см. гл. I, п. 5). Для обеспечения режима течения с допустимой турбулентностью скорости течения расплава в форме, стояке, коллекторе и питателях, как это следует из уравнения (4), не должны быть больше максимально допустимых значений этих скоростей для данного канала: формы $v_{\phi \max}$, стояка $v_{с \max}$, коллектора $v_{к \max}$ и питателей $v_{п \max}$.

Следовательно, значение скорости течения расплава в форме v_{ϕ} , одновременно удовлетворяющее названным выше двум первым условиям, должно определяться из неравенства

$$v_{\phi \max} \geq v_{\phi} \geq v_{\phi \min} \quad (28)$$

или

$$Q_{\phi \max} \geq Q_{\phi} \geq Q_{\phi \min},$$

так как сечение формы задано.

Для задержания шлака скорость течения расплава в коллекторе $v_{к}$ должна быть не выше значения некоторой предель-

ной скорости течения для данного канала $v_{к пр}$ [определяемой из (20)], при которой еще возможно шлакоотделение.

Таким образом, значения скоростей течения расплава в каналах литниковой системы, одновременно удовлетворяющие второму (ламинарности потока) и третьему (задержание шлака) требованиям, следует находить из условий

$$v_c \leq v_{c \max}, \quad (29)$$

$$\left. \begin{aligned} v_k &\leq v_{k \max} \\ v_k &< v_{к пр} \end{aligned} \right\}, \quad (30)$$

$$v_{п} \leq v_{п \max}. \quad (31)$$

Выполнение условий (28)—(31) является критерием надежности любых методов расчета литниковых систем.

На основании изложенного, основные принципиальные положения, на которых должно основываться проектирование литниковой системы для легких сплавов, можно сформулировать в следующем виде:

1) выбранная величина скорости течения расплава в рабочей полости формы должна обеспечивать хорошую заполняемость формы при минимально возможной для данной конкретной отливки турбулентности потока;

2) форму и размеры литниковых каналов необходимо выбирать такими, а их соединение производить таким образом (основываясь на учении гидравлики и представлении об их металлургических функциях), чтобы обеспечивалось последовательное снижение степени турбулентности потока в направлении от стояка к рабочей полости формы и задержание шлаковых включений. Эта задача успешнее реализуется в случае применения расширяющихся литниковых систем;

3) поскольку поперечное сечение и марка сплава каждой конкретной отливки заданы, управлять турбулентностью потока в рабочей полости формы возможно главным образом регулированием скорости движения металла в ней, т. е. изменением величины расхода (так как $Q_{\phi} = v_{\phi} F_{\phi}$ и $F_{\phi} = \text{const}$), и, в меньшей мере, изменением температуры заливки сплава, от которой зависит величина его кинематической вязкости. Значит, выбирать величину расхода расплава Q_{ϕ} через рабочую полость формы необходимо с учетом конфигурации отливки;

4) регулировать режимы течения металла в литниковых каналах можно изменением как скорости потока, так и величины гидравлического радиуса, т. е. форм и размеров поперечных сечений каналов, поскольку эти параметры не заданы и определяются в ходе проектирования самой литниковой системы;

5) поскольку заполняемость формы и ламинарный режим течения в ней обеспечиваются изменением величины расхода в противоположных направлениях (для улучшения заполняемости

необходимо повышать, а для обеспечения ламинарности, наоборот, — понижать расход Q_{ϕ}), при выборе величины расхода в ряде случаев необходимо принимать компромиссное решение: применять средства, повышающие заполняемость, или допускать повышенную турбулентность;

б) если есть возможность, размеры литниковых каналов необходимо делать меньших размеров, а конструкцию системы упрощать, чтобы снизить расход сплава и трудовые затраты на изготовление отливки.

Поскольку для выполнения условий (28) — (31) требуется последовательное снижение скоростей потока расплава (см. данные о допустимых числах Re в табл. 6), то поперечные сечения каналов литниковых систем, построенных на основе изложенных принципов, должны быть также последовательно расширяющимися в направлении от стояка к питателям, т. е. между площадями поперечных сечений стояка, коллектора и питателей имеет место неравенство $F_c < F_k < F_{\Pi}$.

Таким образом, данные принципы построения дают логическое обоснование расширяющимся конструкциям литниковых систем, преимущества которых над сужающимися ($F_c > F_k > F_{\Pi}$) системами (применяемыми в основном для чугунного литья) при литье легких сплавов подтверждены многолетней отечественной и зарубежной практикой.

На основе изложенного проектирование литниковой системы для легких сплавов в основном можно свести к следующему [15]:

выбору конструкции литниковой системы и расчету размеров ее основных элементов, обеспечивающих близкое к ламинарному (или с допустимой турбулентностью) течение расплава в форме и задерживающих в литниковых каналах образовавшиеся при заполнении или занесенные из ковша пену и шлак;

проверке соответствия системы условиям удовлетворительной заполняемости формы, исключающим образование в отливке неслитин и недоливов и, в случае необходимости, внесение корректив в ее конструкцию и размеры;

выбору конструкции, высоты литниковой чаши, определению конусности стояка и внесению в уже установленные размеры литниковых каналов необходимых корректив для придания плавности переходам от одних элементов к другим с целью устранения образования отрицательного давления в них и подсоса воздуха.

Расчет литниковой системы состоит в отыскании площадей поперечных сечений и линейных размеров ее основных элементов: стояка, коллектора и питателей (а для вертикально-щелевой системы дополнительно колодцев и щелей). При этом сначала рассчитывают наименьшее — расчетное, т. е. регулирующее расход сечение литниковой системы, обычно стояков; а затем, исходя из принятых соотношений $F_c : F_k : F_{\Pi}$, определяют площади суммарных поперечных сечений остальных элементов.

Наименьшее поперечное сечение литниковой системы независимо от принципов ее построения рассчитывают по одной и той же формуле, известной из гидравлики и представляющей собой уравнение расхода жидкости

$$F_c = \frac{Q_{\phi}}{v_c}, \quad (32)$$

где F_c — искомая площадь поперечного сечения стояков; Q_{ϕ} — объемный расход расплава; v_c — фактическая скорость течения расплава в стояке, определяемая по формуле (2):

$$v_c = \mu \sqrt{2gH_p},$$

где H_p — расчетный напор.

Таким образом, для расчета F_c по уравнению (32) необходимо определить расход расплава Q_{ϕ} и коэффициент расхода системы, так как H_p становится известным из чертежа отливки, положения ее в форме и размеров последней.

Коэффициент расхода для заданной конструкции литниковой системы выбирают на основе экспериментальных данных (см. гл. I, п. 3) или рассчитывают по формуле (3), используя коэффициенты гидравлических сопротивлений. Числовые значения параметров Q_{ϕ} и v_c , входящих в формулу (32), выбирают таким образом, чтобы литниковая система обеспечила наилучшим образом выполнение своих основных функций.

В зависимости от содержания поставленной задачи возможны различные подходы к выбору величин Q_{ϕ} , v_c и в целом к расчету литниковой системы. На практике чаще всего так и поступают, выбирая величины Q_{ϕ} и v_c исходя из особенностей заливаемого сплава и конкретных условий литья.

4. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

Важнейшей характеристикой, определяющей режим заполнения формы, с выбора которой, как правило, начинают расчет наименьшего сечения литниковой системы по формуле (32), является расход расплава Q_{ϕ} через систему, а значит, и рабочую полость формы. Необходимую величину расхода сплава определяют на основе теоретических зависимостей, характеризующих процесс заполнения форм, накопленного опыта и специально проведенных экспериментов [1, 45, 61, 62].

Анализ существующих методов расчета целесообразно провести именно с позиций того, что положено в том или другом методе в основу расчета расхода расплава, т. е. какой физический и технологический смысл положен в основу выбора величины Q_{ϕ} . Рассмотрим наиболее известные методы расчета литниковых систем.

Метод, при котором расход расплава определяют исходя из оптимальной продолжительности заливки. Вначале по извест-

ным формулам определяют оптимальную продолжительность заливки τ или, что то же самое, оптимальную скорость подъема (течения) расплава в форме v_{ϕ} , так как эти две величины связаны между собой высотой отливки $h_{отл}$, которая всегда известна, т. е. $\tau = h_{отл}/v_{\phi}$. Затем производят расчет расхода по формуле

$$Q_{\phi} = \tau F_c.$$

Под оптимальной понимают такую (промежуточную между высшим и низшим пределами) продолжительность заливки, при которой должно обеспечиваться наилучшее качество отливки [20]. Высший предел продолжительности заливки (максимально допустимая продолжительность) чаще всего ограничивается возможностью незаполнения формы. Низший предел ограничен различными факторами в зависимости от конкретных условий литья: вида сплава, материала литейной формы, требований к отливке и др.

При определении оптимальной продолжительности заливки необходимо учитывать свойства, которым должна удовлетворять изготавливаемая отливка, влияние различных факторов на процесс заливки и качество отливки. Следовательно, оптимальная продолжительность заливки должна быть функцией многих переменных.

Как уже отмечалось, при нахождении $v_{\phi \min}$ (см. гл. I, п. 5), одновременно теоретически учесть влияние многих переменных на процесс заливки трудно. Поэтому аналитического решения задачи определения оптимальной продолжительности заливки пока не найдено. Теоретическое же решение задачи с учетом только того или иного требования дает такую формулу, по которой может быть определено время заливки, удовлетворяющее именно это требование, но вовсе не получение качественной отливки.

Большая часть аналитических формул для определения времени заливки отливок из легких сплавов получена применительно к простым (плоскостным) формам, исходя из условия обеспечения их заполняемости и, следовательно, дает не оптимальное, а максимально допустимое время заливки (или минимально допустимую скорость подъема расплава в форме $v_{\phi \min}$). В качестве примера можно назвать аналитические решения А. Р. Рабиновича [55], Б. С. Чуркина и Г. М. Дубицкого [23, 83], В. В. Чистякова и В. М. Воздвиженского [79]. По своей структуре эти формулы близки к формуле (5), уже рассмотренной при анализе решений о заполняемости формы (см. гл. I, п. 5).

А. А. Рыжиков [60] применительно к литью черных сплавов предложил определять оптимальную продолжительность заливки из ряда неравенств, каждое из которых учитывает допусти-

мую максимальную продолжительность заливки с учетом того или иного требования:

$$\tau < \tau_{\text{н}}, \tau > \tau_{\text{газ}}, \tau < \tau_{\text{обг}},$$

где $\tau_{\text{н}}$ — допустимая максимальная продолжительность заливки, при которой еще не происходит образования неслитин и недоливов; $\tau_{\text{газ}}$ — допустимая минимальная продолжительность заливки, при которой воздух и газы успевают удалиться из формы; $\tau_{\text{обг}}$ — допустимая максимальная продолжительность заливки, при которой не образуются поверхностные дефекты, являющиеся продуктами теплового воздействия металла на материал песчаной формы. Каждую из этих величин рекомендуется определять опытным путем или рассчитывать аналитически.

В этом направлении в последнее время выполнен ряд экспериментальных и исследовательских работ, которые, с одной стороны, подтверждают актуальность данной проблемы и целесообразность такого подхода к ее решению, а с другой — позволяют накапливать ценный практический материал [6, 51, 67, 68, 78, 84].

Таким образом, на практике оптимальную продолжительность заливки определяют по эмпирическим или полуэмпирическим формулам. Чаще всего в технологической литературе для определения времени заливки (τ , с) рекомендуется эмпирическая формула, устанавливающая его связь с массой отливки (G , кг):

$$\tau = AM^n, \quad (33)$$

где A и n — постоянные, числовые значения которых по данным различных исследователей находятся в широких пределах (см. табл. 13).

Таблица 13

Значения постоянных в формуле (33)

A	n	Сплав	Автор
1,63—2,2	0,5	Чугун	Г. Дитерт
1,50—2,35	0,5	Сталь	Ю. А. Нехендзи
1,11	0,5	Сталь	С. В. Руссиян
1,00—1,35	0,417	Сталь	Б. В. Гуляев
3,7	0,38	Чугун	Б. В. Рабинович
2,4	0,387	Алюминиевый, заливка в песчаные формы	Г. Дроссель, М. Роланд
0,06	0,717	Алюминиевый, заливка в кокиль	Г. Дроссель, М. Роланд

Примечание. При $A=0,06$ и $n=0,717$ массу отливки необходимо выражать в граммах.

В ряде технологических руководств и монографий приводится иная формула, устанавливающая связь времени заливки

(с) с преобладающей толщиной стенки ($\delta_{отл}$, мм) и массой отливки (кг)

$$\tau = B\delta_{отл}^m M^n. \quad (34)$$

Числовые значения коэффициентов B , m и n по данным различных авторов приведены в табл. 14.

Таблица 14

Значения постоянных в формуле (34)

B	n	m	Сплав	Автор
2,0 1,7—3,0	0,334 0,334	0,334 0,334	Чугун Алюминиевый, заливка в песчаные формы	К. А. Соболев Г. М. Дубицкий
2,2—4,0	0,334	0,334	Алюминиевый, заливка в кокиль	Г. М. Дубицкий
2,3—4,5	0,334	0,334	Магниевый, заливка в песчаные формы	Г. М. Дубицкий
2,3—4,4	0,334	0,334	Магниевый, заливка в кокиль	Г. М. Дубицкий
1,25	0,35	0,35	Алюминиевый, заливка в песчаные формы	Г. Дроссель, М. Роланд
0,025	0,68	1,0	Алюминиевый, заливка в кокиль	Г. Дроссель, М. Роланд

Примечание. При $B=0,025$, $n=0,68$ и $m=1,0$ массу отливки необходимо выражать в граммах.

Таким образом, формулы (33) и (34) устанавливают разную функциональную зависимость времени заливки, а значения их постоянных (см. табл. 13 и 14) находятся в широких пределах. Поэтому величины времени заливки, полученные по данным формулам, значительно отличаются друг от друга и не являются оптимальными для каждой конкретной отливки. Время заливки, рассчитанное по этим формулам, скорее всего является средней величиной наблюдаемого на практике фактического времени заливки для определенных групп отливок, марок сплавов и условий литья.

Так, например, указанные в табл. 13 и 14 величины коэффициентов по Г. Дросселю, М. Роланду [92] характеризуют среднюю (между фактически наблюдаемыми минимальным и максимальным значениям) величину времени заливки для алюминиевых отливок массой 0,05—103 кг, со стенками толщиной 4—22 мм, заливаемых в песчаные формы, и массой 0,036—3,45 кг, заливаемых в кокиль.

Как уже отмечали Е. М. Ноткин [45], А. А. Рыжиков [60], Г. Ф. Баландин [5] и др., эмпирические формулы не имеют физического смысла и какого-либо технологического обоснования.

Очевидно, что применительно к литью легких сплавов, время заливки должно быть оптимальным как в гидравлическом отношении (обеспечивая спокойное заполнение формы распла-

вом), так и в термическом (предупреждая образование в отливке неслитин и недоливов). Следовательно, оптимальное время заливки (τ) должно быть выбрано, исходя из условия (28), которое (учитывая, что $\tau = h_{отл}/v_{\phi}$) можно записать в виде неравенства

$$\frac{h_{отл}}{v_{\phi \max}} \leq \tau \leq \frac{h_{отл}}{v_{\phi \min}}.$$

Сопоставляя левую и правую части этого неравенства с формулами (33) и (34) и принимая во внимание формулы для расчета $v_{\phi \max}$ (4) и $v_{\phi \min}$ (5)—(15), не трудно убедиться, что формулы (33) и (34) не отражают ни гидравлическую, ни тепловую стороны процесса заполнения формы. Действительно, ни $v_{\phi \max}$, ни $v_{\phi \min}$ не пропорциональны величине массы отливки в какой-либо степени.

Из вышеизложенного понятна безнадежность попыток представить некоторые из названных формул как универсальные, пригодные для всех видов литья. Так, в зарубежной литературе в качестве универсальной часто указывается формула Г. Дитерта $\tau = A\sqrt{M}$, являющаяся частным видом зависимости (33).

В работе Г. М. Дубицкого [20] в качестве универсальной, рекомендуемой для всех видов сплавов, в том числе и для легких, принята известная формула К. А. Соболева [61]

$$\tau = B\sqrt[3]{\delta M}, \quad (35)$$

установленная применительно к определенным группам чугуновых отливок и являющаяся частным видом формулы (34). При этом специфические условия литья легких сплавов предлагается учитывать подбором величины эмпирического коэффициента B . Вряд ли такой подход может быть правильным.

Определение действительно оптимальной продолжительности заливки должно основываться на всестороннем учете тепловых, гидравлических и физико-химических факторов, характеризующих сложный процесс заполнения формы конкретным сплавом и оказывающих непосредственно влияние на качество отливки [5]. Однако физически и технологически обоснованного инженерного решения этой задачи, пригодного для практического использования при расчете литниковых систем реальных отливок, пока не найдено. Но это вовсе не означает, что надо копировать, пусть даже весьма богатый, опыт производства отливок из черных сплавов.

Применение эмпирических формул, устанавливающих функциональную зависимость времени заливки от массы отливок, при литье черных сплавов оправдано тем, что основным требованием, которое учитывают указанные формулы помимо заполняемости формы и которое действительно связано с массой вливаемого в форму расплава, является предотвращение обра-

зования дефектов, связанных с взаимодействием металла с формой.

Данное требование является главным при литье черных сплавов и второстепенным (см. п. 1) при литье легких сплавов. Поэтому использование формулы (35), как и других, подобных ей, для расчета величины расхода Q_{ϕ} применительно к литью легких сплавов нельзя признать технически обоснованным.

Следовательно, необходимо и целесообразно, что подтверждается длительной заводской практикой [1, 37, 39, 43, 71—73, 75], вести расчет расхода через литниковую систему исходя из скорости течения расплава в рабочей полости формы. Величина этой скорости при заданном сплаве и температуре заливки определяет как заполняемость формы, так и условия спокойного протекания расплава в ней, т. е. обеспечивает выполнение двух основных требований к режиму заполнения отливок из легких сплавов.

Метод, при котором расход расплава определяют из условия заполнения формы при минимально допустимой турбулентности потока [15, 45]. В основу расчета расхода сплава в этом методе, как следует из его названия, положено условие обеспечения заполнения формы при таких скоростях течения, которые образуют ламинарные или с незначительной (допустимой) турбулентностью потока, исключаяющие возникновение в них пены.

Поэтому расчетная скорость (см/с) потока в форме v_{ϕ} не должна превышать своего максимального значения найденного из уравнения (4) при допустимых для рабочей полости формы числах Рейнольдса (Re_{ϕ}), определяемых экспериментальным путем (см. табл. 6), т. е.

$$v_{\phi \max} = \frac{Re_{\phi} v}{4R_{\phi}} = \frac{1,2 \div 3,9}{R_{\phi}}.$$

Определив величину $v_{\phi \max}$, находят максимально допустимый (начальный) расход расплава через рабочую полость формы, а следовательно, и литниковую систему:

$$Q_{\phi} = v_{\phi \max} F_{\phi} = \frac{(1,2 \div 3,9) F_{\phi}}{R_{\phi}} = k P_{\phi} \text{ см}^3/\text{с}, \quad (36)$$

где F_{ϕ} , R_{ϕ} , P_{ϕ} — соответственно площадь поперечного сечения формы (см²), гидравлический радиус и периметр этого сечения (см).

Полученную таким образом величину максимально допустимого расхода (Q_{ϕ}) и фактическую (расчетную), образующуюся в первоначальный момент заливки, скорость потока в стояке ($v_c = \mu \sqrt{2gh_c}$) для выбранной конструкции литниковой системы подставляют в уравнение (32) и находят площадь расчетного сечения стояков:

$$F_c = Q_{\phi}/v_c.$$

Площади поперечных сечений коллектора и питателей определяют исходя из принятого соотношения $F_c : F_k : F_n$. При этом фактические скорости (см/с) потока в стояке (v_c), коллекторе (v_k) и питателях (v_n) не должны превышать их максимально допустимых значений, определяемых из уравнения (4):

для стояка

$$v_{c \max} = \frac{Re_c v}{4R_c} \leq \frac{65}{R_c}, \quad (37)$$

для коллектора

$$v_{k \max} = \frac{Re_k v}{4R_k} \leq \frac{42}{R_k}, \quad (38)$$

для питателей

$$v_{n \max} = \frac{Re_n v}{4R_n} \leq \frac{12}{R_n}, \quad (39)$$

где Re_c , Re_k , Re_n — максимально допустимые числа Рейнольдса соответственно для стояка, коллектора и питателей.

Соблюдение условий (37—39) достигают регулированием скоростей потоков (v_c , v_k и v_n), подбирая конструкцию литниковой системы с необходимым гидравлическим сопротивлением, и размеров поперечных сечений (R_c , R_k и R_n) литниковых каналов (величина Q_ϕ при этом остается неизменной).

Установленную из условия ламинарности потока в форме величину Q_ϕ проверяют на условие заполняемости формы. Для этого исходя из величины Q_ϕ определяют фактическую среднюю скорость подъема расплава в наиболее опасном (с точки зрения возникновения неслитин и недоливов) сечении формы и сравнивают эту скорость с минимально допустимой ее величиной. При этом должно соблюдаться условие правой части неравенства (28), т. е. $v_\phi \geq v_{\phi \min}$.

В установленные размеры горизонтальных каналов-коллекторов и питателей при необходимости вносят дополнительные изменения для придания им способности задерживать шлаковые включения. Эти изменения вносят на основе расчетов по формулам (17), (20), (25), характеризующих условия шлакозадержания:

$$\delta_n < \frac{v_k^2}{g}, \quad L_n \geq h_k \frac{1,2v_k}{v_{ш \max}} \text{ и } \frac{h_k}{\delta_n} \geq 3,5.$$

Таким образом, данный метод расчета обеспечивает выполнение всех основных условий (28)—(31), определяющих правильное функционирование и построение литниковых систем на основе изложенных выше принципов. Это достигнуто целенаправленным выбором основных гидродинамических характеристик заполнения формы, а именно расхода расплава Q_ϕ , скоростей потока в рабочей полости формы v_ϕ , стояке v_c , коллекторе

v_k и питателях v_p , а также установлением определенных соотношений (17), (20), (25) между основными шлакозадерживающими элементами литниковой системы.

Этот метод в дальнейшем положен в основу приводимого в данной книге детального метода расчета литниковых систем (см. гл. III).

Метод, при котором расход расплава определяют из условия обеспечения заполняемости формы [55, 78]. В этом случае по известным формулам, графикам, таблицам (см. гл. I, п. 5) находят среднюю величину минимально допускаемой скорости подъема металла в форме $v_{\phi \min}$, при которой в отливке еще не образуются неслитины и недоливы, а затем вычисляют минимально допустимый расход

$$Q_{\phi \min} = F_{\phi} v_{\phi \min}, \quad (40)$$

где F_{ϕ} — площадь поперечного сечения рабочей полости формы.

Площадь поперечного сечения стояков определяют по формуле

$$F_c = \frac{Q_{\phi \min}}{v_c},$$

регулируя при этом скорость течения сплава в них в допустимых пределах за счет изменений гидравлического сопротивления литниковой системы.

Величину F_{ϕ} рассчитывают в зависимости от конкретных размеров, толщины стенки и конфигурации отливки. Так, для отливок, у которых опасность образования неслитин и недоливов невелика (компактные толстостенные отливки или отливки с постоянными по высоте толщинами стенок и площадью поперечного сечения), в расчет берут среднюю по высоте площадь поперечного сечения формы:

$$F_{\phi \text{ ср}} = \frac{M}{\rho_c h_{\text{отл}}},$$

где M — масса отливки, кг; ρ_c — плотность сплава кг/м³; $h_{\text{отл}}$ — высота отливки, м.

Тогда расход будет равен

$$Q_{\phi \min} = \frac{M}{\rho_c h_{\text{отл}}} v_{\phi \min}.$$

Для отливок же с повышенной склонностью к неслитинам и недоливам (тонкостенные отливки сложной конфигурации и с развитой поверхностью, а также отливки, имеющие вертикально и горизонтально расположенные стенки и т. п.) в расчет берут площадь наиболее опасного (где наибольшая вероятность образования неслитин и недоливов) сечения формы.

Опасное сечение формы определяют по чертежу отливки и положению ее при заливке. В этом случае

$$Q_{\phi \min} = F_{\phi \text{ оп}} v_{\phi \min}.$$

Опасными по заполняемости, как правило, являются максимальное горизонтальное сечение формы либо сечение с минимальной толщиной стенки, либо сечение, где действует минимальный напор металла. Поэтому при расчете фактической скорости подъема металла в форме (с целью сравнения ее с $v_{\phi \min}$) на уровне ее опасного сечения необходимо исходить из фактического напора, действующего на уровне этого же сечения (см. гл. III, п. 1). Дальнейший ход расчета литниковых систем по данному методу может быть выполнен в той же последовательности, в которой он изложен и для предыдущего метода.

Поскольку рассматриваемый метод расчета обеспечивает минимальную скорость подъема расплава в форме, ее заполнение будет проходить в то же время ламинарными потоками или потоками с минимальной турбулентностью. Поэтому рассчитанные таким образом литниковые системы будут удовлетворять одному из основных приведенных выше условий, характеризующих правильность их расчета, а именно, условию (28).

Таким образом, по этому методу расчета F_c определяют из условия заполняемости формы, в то время, как по предыдущему методу, из условия ламинарности потока в форме. Поэтому площади сечения стояков, рассчитанные по данному методу, как правило, получаются несколько заниженными (в крайнем случае они могут быть равны, но не больше) по сравнению с аналогичными площадями, полученными для тех же отливок по предыдущему методу.

Разновидностью изложенного метода расчета является расчет расхода, в котором под $v_{\phi \min}$ понимают начальную скорость подъема сплава в форме [73]:

$$Q_{\phi \text{ нач}} = F_{\phi \text{ ср}} v_{\phi \text{ нач}}, \quad (41)$$

где $v_{\phi \text{ нач}}$ — начальная скорость подъема сплава в форме, в большинстве случаев определяемая по формуле (11).

В этом случае расход будет равен

$$Q_{\phi \text{ нач}} = \frac{(3 \div 4,2) M}{\rho c h_{\text{отл}} \delta_{\text{отл}}},$$

а площадь сечения стояков

$$F_c = \frac{(3 \div 4,2) M}{\rho c h_{\text{отл}} \delta_{\text{отл}} v_c}.$$

Так как $Q_{\phi \text{ нач}} > Q_{\phi \min}$ ($v_{\phi \text{ нач}} > v_{\phi \min}$), то площадь сечения стояков, найденная из $F_c = Q_{\phi \text{ нач}}/v_c$ будет больше аналогичной площади, найденной из $F_c = Q_{\phi \min}/v_c$.

Применение описываемого метода расчета в целом на практике оправдано главным образом в следующих случаях. Во-первых, когда, в силу специфических условий литья и требований к отливке, первостепенное значение имеет заполняемость формы, которую трудно обеспечить, например, при заливке тонкостенных крупногабаритных отливок с развитой поверхностью (пане-

ли, крышки, обечайки, кожухи и др.); во-вторых, когда условия литья практически исключают появление других (кроме неслитин и недоливов) видов дефектов: пены, шлаков, окислов и т. п.

5. ВЫБОР ТИПА И КОНСТРУКЦИИ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Как было показано (п. 2), от конструкции литниковой системы зависит практически выполнение ею всех основных функций, а следовательно, обеспечение заданных режимов заполнения форм и получение качественных отливок. Выбор конструкции литниковой системы является начальным и в то же время наиболее ответственным этапом ее проектирования, от успешного решения которого зависит общий конечный результат работы — проектирование рациональной литниковой системы. Поэтому выбору конструкции литниковой системы применительно к конкретной отливке и условиям литья на производстве придают важнейшее значение.

Поскольку выбор конструкции литниковой системы существенным образом связан с положением отливки в форме, рассмотрим сначала общие принципы, определяющие выбор этого положения и выбор литниковой системы.

Положение отливки в форме (верх и низ отливки по положению при заливке) и разъемы формы выбирают из условий обеспечения получения качественной отливки, технических возможностей данного литейного цеха, экономической целесообразности.

Часто эти требования одновременно выполнить трудно. Главным же из них является получение качественной отливки. Поэтому, если отливка сложная и ответственного назначения, то это требование удовлетворяют, несмотря на то, что усложняется формовка, увеличивается число разъемов и стержней и т. д.

Нередко идут также на любые технически обоснованные затраты, связанные с проведением специальных технических мероприятий: изготовление специальных опок, стержней для размещения литниковой системы, средств и приспособлений для заливки в наклонном положении или с кантовкой и др. К этим же приемам прибегают также тогда, когда первоначально выбранные положение отливки в форме и литниковая система не обеспечили получение отливок требуемого качества и выявилась необходимость изменения конструкции литниковой системы и места подвода расплава в форму.

Если же отливка неответственная и допускается заделка дефектов на ее литой и механически обработанной поверхности, то исходят главным образом из экономических соображений: выбирают такое положение ее в форме, которое требует минимальных материальных (формовочных и стержневых материа-

лов, металла на литниковую систему и прибыли) и трудовых затрат.

Во всех случаях, если позволяют сроки освоения, а отливки производятся серийно, первоначально опробуют наиболее простой, но технически обоснованный вариант положения отливки в форме, а затем уже осуществляют его корректировку.

Для лучшего выполнения литниковой системой своих функций и размещения ее элементов положение отливки в форме и ее разъемов выбирают исходя из следующих соображений:

1) обрабатываемые поверхности, особенно отливок типа плит, панелей, располагают внизу, так как сплав в нижних слоях более плотный;

2) массивные тепловые узлы отливок, кристаллизация которых заканчивается в последнюю очередь, располагают сверху, так как в этом случае легче осуществить направленное последовательное затвердевание, пропитать их прибылями и избежать дефектов усадочного характера;

3) развитые плоские поверхности, а также тонкостенные части крупногабаритных отливок стремятся располагать в форме вертикально или наклонно, что улучшает их заполняемость.

Существует большое число способов комбинирования элементов и составления из них литниковых систем для каждого конкретного случая. Для отливок из легких сплавов с успехом применяют различные типы систем и их разновидности. Установившаяся в заводской практике цветного литья классификация систем имеет некоторые отличия от аналогичной классификации для отливок из черных сплавов (см. ГОСТ 18169—72).

В зависимости от места подвода металла к отливке и расположения питателей относительно плоскости разъема формы, применяемые для отливок из цветных сплавов литниковые системы подразделяют на следующие основные типы: верхнюю, нижнюю, боковую, вертикально-щелевую, ярусную и комбинированную (рис. 61).

Выбор того или другого типа литниковой системы зависит от многих факторов, главными из которых являются: 1) положение отливки в форме и наличие разъема формы; 2) габаритные размеры и конфигурация отливки; 3) предъявляемые к отливке требования (ответственная или неответственная отливка); 4) свойства сплава; 5) возможности питания отливки прибылями; 6) удобства удаления питателей от затвердевшей отливки.

Рассмотрим преимущества и недостатки различных типов литниковых систем с точки зрения выполнения ими своих основных функций [73, 89, 98].

Верхняя литниковая система (рис. 61, а) обеспечивает хорошую заполняемость при кратчайшем пути металла до формы, создает наиболее благоприятные условия для последовательной направленной кристаллизации отливки снизу к прибылям; в на-

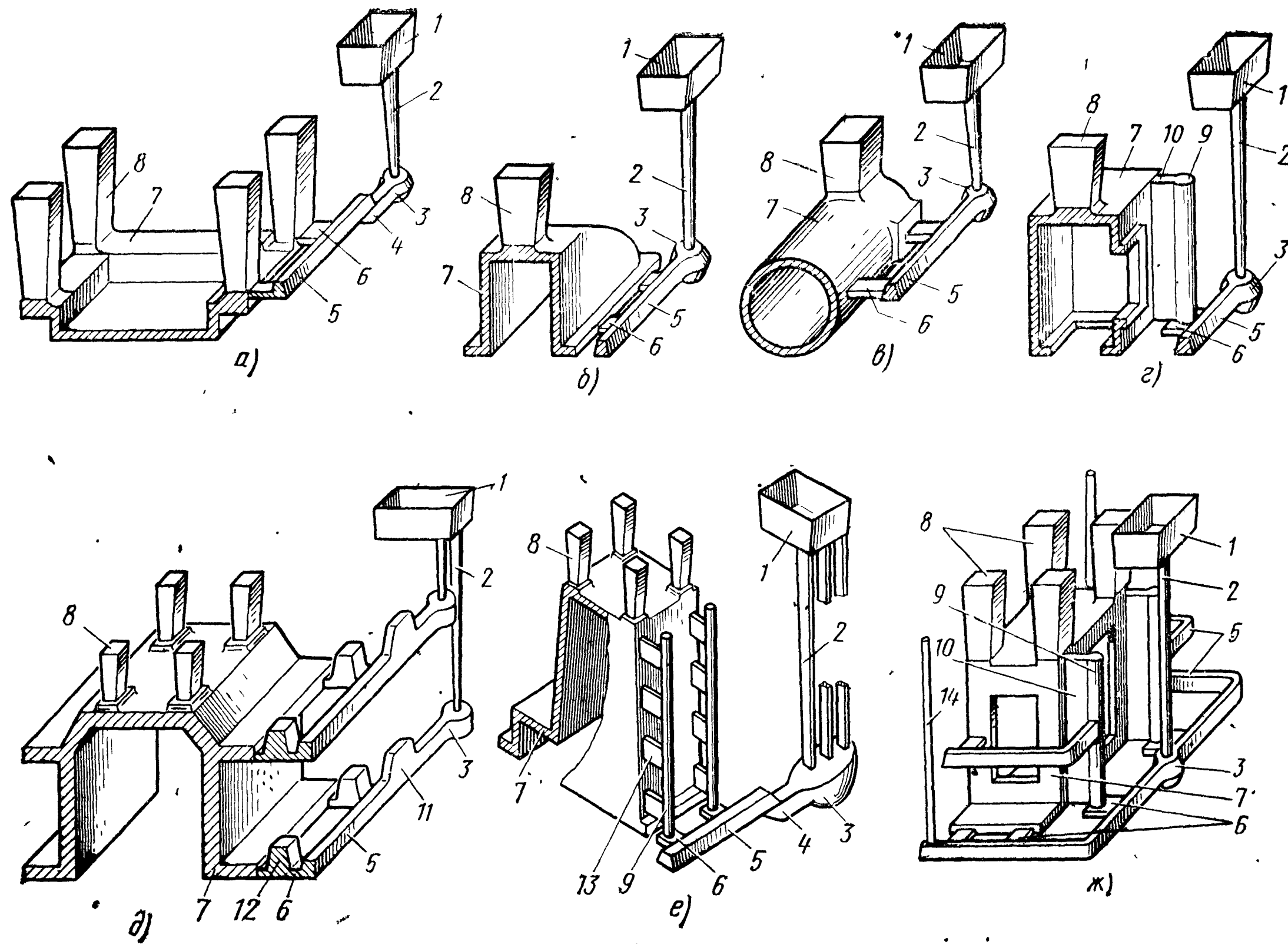


Рис 61. Типы литниковых систем:

а — верхняя; б — нижняя; в — боковая (по разьему); г — вертикально-щелевая; д — ярусная с горизонтально расположенными питателями; е — ярусная с вертикально расположенными питателями; ж — комбинированная; 1 — чаша; 2 — стояк; 3 — зумпф; 4 — металлоприемник (промежуточный канал); 5 — коллектор; 6 — питатель горизонтальный; 7 — отливка; 8 — прибыли; 9 — колодец (обратный стояк); 10 — вертикальная щель; 11 — шлако-сборник; 12 — питающая бобышка; 13 — питатель вертикальный; 14 — выпор

именной степени способствует развитию местных перегревов формы и связанных с этим дефектов. Она наиболее проста по выполнению, легко удаляется при обрубке литья и требует наименьшего по сравнению с другими типами литниковых систем расхода металла за счет уменьшения размеров прибылей.

Основной ее недостаток — каскадный сброс расплава в форму, приводящий к его интенсивному перемешиванию и окислению, захвату воздуха, образованию пены и ее замешиванию внутрь отливки. При верхней литниковой системе ухудшаются также условия задержания шлака в коллекторе, так как питатели большую часть времени заливки не могут работать под затопленным уровнем. Кроме того, верхняя литниковая система создает опасность размыва формы и стержней падающим с большой высоты потоком металла.

Отмеченные недостатки верхней литниковой системы в значительной мере устраняют, применяя заливку форм в наклонном положении или производя заливку с кантовкой формы. Поэтому верхнюю литниковую систему чаще применяют при заливке отливок с высотой до 100 мм, а также для литья мелких деталей в кокиль, кантовка которых обеспечивается значительно проще, чем песчаных форм. Для литья крупных и средних ответственных отливок эту систему не применяют.

Таким образом, верхняя литниковая система выполняет две (заполняемость и рациональное распределение температур в отливке) из четырех названных выше основных ее функций.

Нижняя литниковая система (рис. 61, б) в наибольшей степени обеспечивает спокойное заполнение формы, исключая вспенивание, разбрызгивание и окисление расплава, хорошо задерживает неметаллические включения, находящиеся в расплаве до его поступления в форму; способствует удовлетворительной заполняемости для большинства машиностроительных отливок и последовательному вытеснению воздуха и газов из полости формы. Нижняя литниковая система легко удаляется при обрубке, а расход металла на нее меньше, чем на вертикально-щелевую систему.

Эта литниковая система из-за перегрева нижних слоев формы может расстроить тепловой режим охлаждающейся отливки, нарушив тем самым ход последовательной направленной кристаллизации, что может привести к образованию усадочных раковин и рыхлот. Чтобы этого не допустить, применяют холодильники, устанавливают прибыли увеличенных размеров или производят их доливку горячим металлом. Однако этих мер может оказаться недостаточно при литье сплавов с широким температурным интервалом кристаллизации (Al—Zn, Al—Mg, Al—Cu и др.), склонных к образованию в отливках рассеянной усадочной пористости.

Кроме того, при нижней литниковой системе трудно обеспечить заполняемость тонкостенных высоких отливок с развитой

поверхностью. Поэтому при отношении высоты отливки без прибылей ($h_{отл}$) к ее средней толщине стенки ($\delta_{отл}$) $h_{отл}/\delta_{отл} > 50$ для обеспечения заполняемости применяют вертикально-щелевую или комбинированную систему.

Таким образом, нижняя литниковая система в зависимости от конкретных размеров отливки и условий литья полностью или частично выполняет три (заполняемость, ламинарность, шлакозадержание) из четырех названных выше основных функций. Она в наибольшей степени отвечает требованиям, предъявляемым к литниковым системам, и получила наибольшее распространение при литье легких сплавов. Поэтому, выбирая тип литниковой системы, отдают предпочтение нижней системе и только в обоснованных случаях прибегают к другим конструкциям литниковых систем. Однако многообразие форм и размеров отливок, а также условий литья, к сожалению, не позволяют применить нижнюю литниковую систему во всех случаях.

Вертикально-щелевая литниковая система (рис. 61, *з*) наряду со спокойным вводом расплава в форму обеспечивает хорошую заполняемость форм тонкостенных отливок, задерживает неметаллические включения путем отшлаковывания в коллекторе и вертикальном колодце; создает благоприятные условия для последовательной снизу вверх кристаллизации отливок, обеспечивая подачу горячего металла в верхние слои отливки и прибыль. Таким образом, при тех же достоинствах, что и нижней литниковой системы, она обеспечивает лучший тепловой режим и лучшую заполняемость тонкостенных, высоких отливок.

К недостаткам вертикально-щелевой системы следует отнести возможность вспенивания сплава в начальный момент заполнения формы и опасность возникновения местных перегревов формы в области, прилегающей к вертикальным щелям, приводящим к образованию дефектов усадочного характера, а также сложность ее выполнения в форме и удаления при обрубке.

Вертикально-щелевую литниковую систему наиболее эффективно применяют при литье высоких тонкостенных ($h_{отл}/\delta_{отл} > 50$) отливок цилиндрической и коробчатой формы. Ее с успехом также применяют при литье мелких и средних отливок в кокили, наклоняемые в начальной стадии заполнения для устранения опасности вспенивания расплава в этот период.

Ярусная литниковая система (рис. 61, *е, д*) создает благоприятные условия для заполнения формы и кристаллизации отливки, так как наиболее горячие порции расплава поступают в верхнюю ее часть, а последовательная заливка снизу способствует спокойному заполнению и вытеснению воздуха. Недостаток этой системы — сложность ее изготовления, так как требуется наличие нескольких горизонтальных разъемов формы.

Выполнение ярусной системы не вызывает особых затруднений при литье в кокили с вертикальным разъемом, где она и получает преимущественное применение. Кроме того, ее успеш-

но применяют при литье крупных высоких и тонкостенных отливок в песчаные формы.

Комбинированная литниковая система (рис. 61, ж), сочетающая несколько типов систем (например, нижнюю с вертикально-щелевым подводом), обладает преимуществами этих систем. Она дает возможность спокойно заполнить форму, рационально распределить температуру по сечению отливки, обеспечивая ее последовательную кристаллизацию. Эту систему применяют преимущественно для заливки крупногабаритных отливок сложной конфигурации в песчаных формах, особенно в тех случаях, когда площадь горизонтальных сечений отливки резко меняется с ее высотой. Недостаток комбинированной системы — сложность выполнения и удаления ее при обрубке, а также повышенный расход металла на нее.

Боковая литниковая система (рис. 61, в) обеспечивает заполнение нижней части отливки сверху, а верхней части отливки снизу.

В серийном производстве для выбора типа литниковой системы часто пользуются номограммами, построенными на основе анализа накопленного производственного опыта. Номограммы строят с учетом таких данных, как высота отливки, ее масса, средняя толщина стенки, тип отливки (колеса, рамы, блоки, обечайки и др.); они облегчают задачу лишь в частных, вполне определенных для данного производства условиях. Пример такой номограммы для магниевых сплавов приведен в работе [1]:

6. ВЫБОР СПОСОБА И МЕСТА ПОДВОДА РАСПЛАВА В ФОРМУ

От способа и места подвода расплава в форму существенно зависят: 1) спокойное заполнение рабочей полости формы без вспенивания, разбрызгивания расплава в ней, разрушения формы и стержней; 2) распределение температур по периметру отливки и образование перегрева в отдельных частях; 3) образование проточных и застойных зон, являющихся причиной местного перегрева, а также появления дефектов типа неслитин и спаев.

При одной и той же конструкции (типе) литниковой системы можно выбрать различные места и способы подвода расплава к рабочей полости формы данной конкретной отливки. При этом будет различная динамика потока расплава в форме и как результат — неодинаковое качество отливки [7, 49].

Неудачный выбор способа или места подвода расплава в форму могут свести на нет положительные результаты работы литниковой системы на пути следования расплава от литниковой чаши до питателей.

Для простых по конфигурации отливок выбор способа и места подвода расплава к ним, как правило, не вызывает особых трудностей. Труднее выбрать способ и место подвода для крупногабаритных сложных конфигураций разностенных отливок с массивными тепловыми узлами. В этих случаях окончательному выбору способа и места подвода расплава к отливке предшествует всесторонний анализ различных возможных вариантов этого подвода с оценкой преимуществ и недостатков каждого из них.

На основании заводской практики выработаны рекомендации по выбору способа и места подвода расплава к отливке, основные положения которых сводятся к следующему:

1. Во избежание перегрева отдельных участков необходимо применять рассредоточенный подвод расплава в полость формы, располагая питатели или вертикальные щели по возможности равномерно по всему периметру отливки. С этой же целью расплав надо подводить не в массивные узлы, встречающиеся по периметру отливки, а в более тонкие ее сечения.

2. Для слияния отдельных струй потока, выходящих из питателей, и для предупреждения образования неслитин и других подобных дефектов расстояние между осями питателей l_{π} находят из выражения [8]:

$$l_{\pi} = \frac{P}{n} \leq l_p,$$

где P — наружный периметр отливки в месте подвода расплава или развернутая длина при незамкнутом контуре; n — число питателей; l_p — максимальный радиус действия питателей, при котором еще возможно слияние отдельных струй потока (определяется по опытным данным или расчетом).

3. Для уменьшения разбрызгивания расплава и разрушения формы используют способы подвода, максимально учитывающие особенности конфигурации отливки в месте подвода к ней расплава.

Некоторые из этих способов поясняются схемами, приведенными на рис. 62. При наличии в форме наклонных поверхностей предпочтительнее направлять струю расплава из питателей на нисходящую (рис. 62, а), а не на восходящую (рис. 62, б) поверхность, так как это уменьшает угол (α) встречи струи с поверхностью, а значит, и силу нормального давления на форму или стержень, которая достигает своего минимального значения при $\alpha=0$ [8]. При подводе расплава в полости, содержащие круглые стержни или выступы формы, когда имеет место натекание на стержень или форму, расплав следует направлять по касательной к ним (рис. 62, в, г), что резко уменьшает силу удара струи и обеспечивает сплошное обтекание стержня цилиндрической или шаровой формы. В случае прямоугольных отливок необходимо стремиться направить струю расплава вдоль стенок (рис. 62, д), а не перпендикулярно им [7].

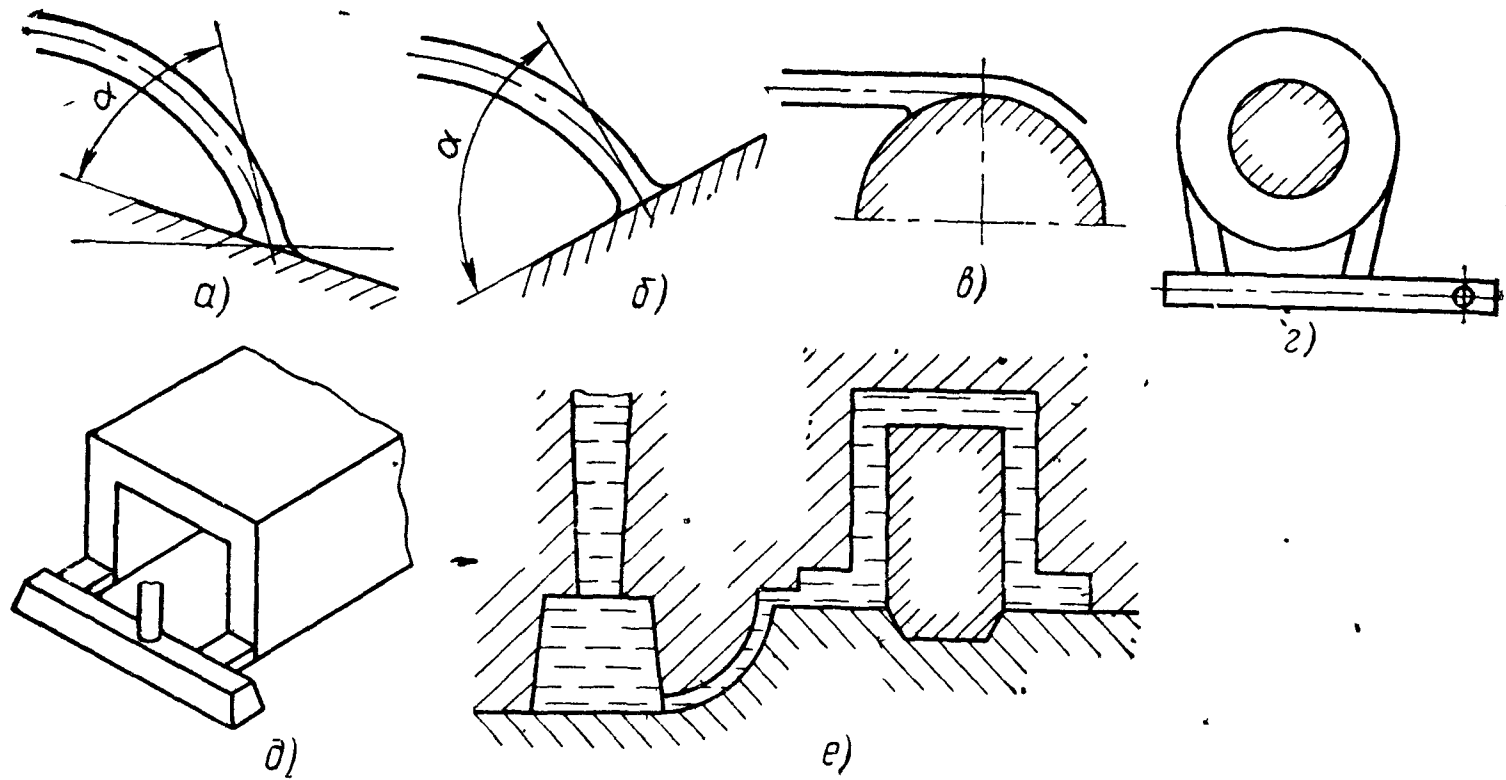


Рис. 62. Различные способы подвода струи расплава в форму:
a — на нисходящую поверхность; *б* — на восходящую поверхность (не рекомендуется); *в* — по касательной к стержню; *г* — по касательной к форме; *д* — вдоль стенок формы; *е* — через наклонные питатели нижней литниковой системы

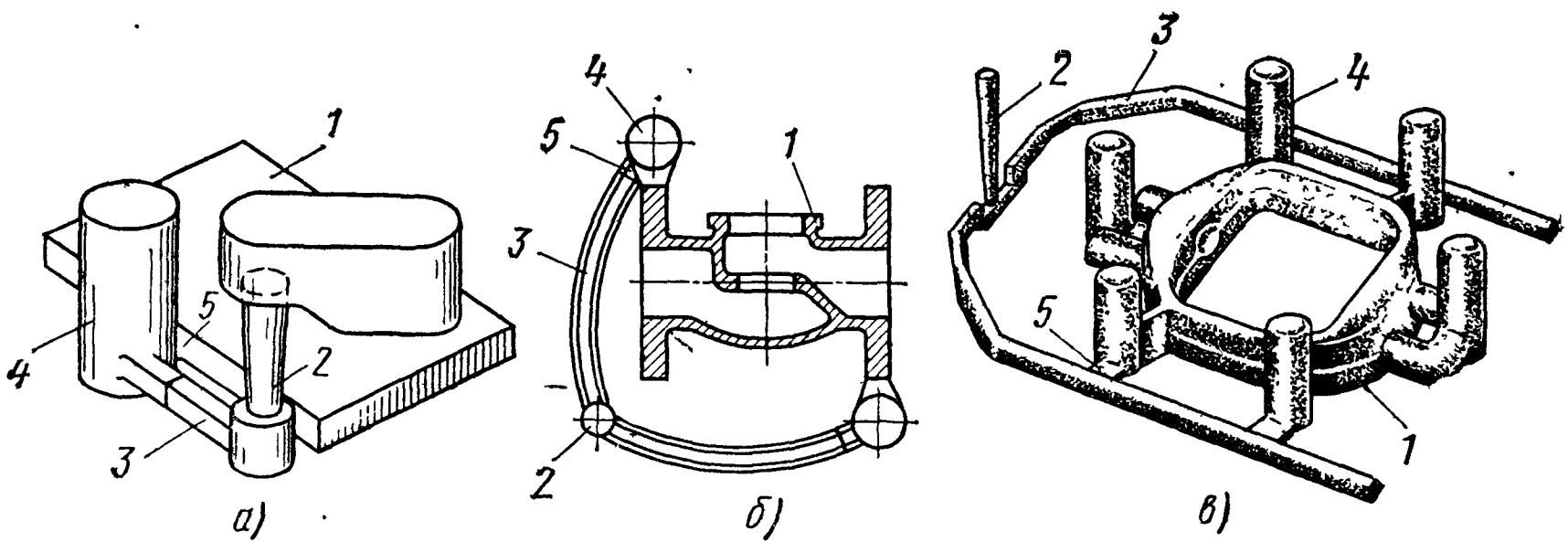
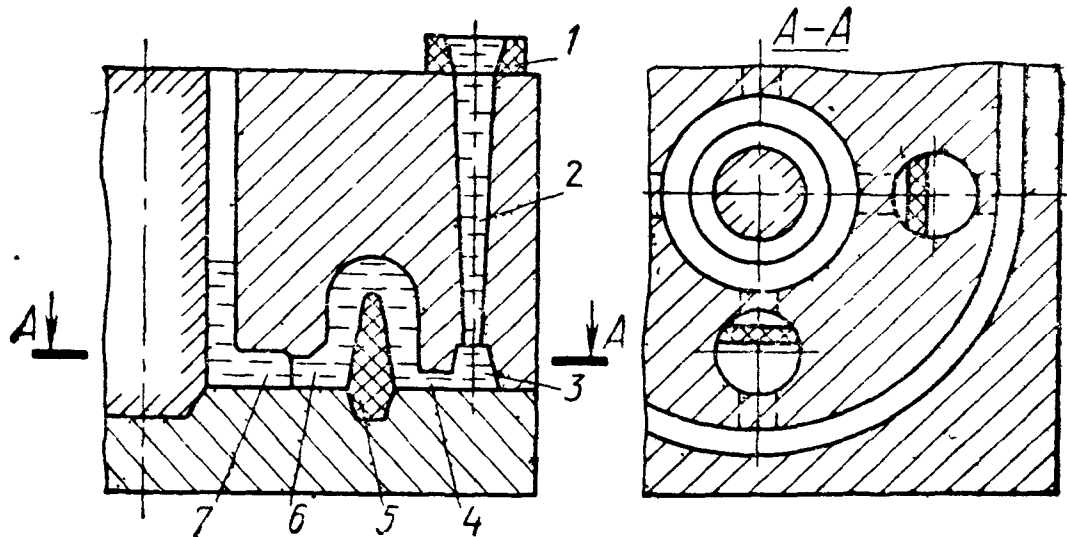


Рис. 63. Способы подвода расплава через отводные прибыли, установленные над коллектором (*a*) и питателями (*б, в*):

a — к плите [101]; *б* — к тройнику [91]; *в* — к корпусу [93];
 1 — отливка; 2 — стояк; 3 — коллектор; 4 — прибыль; 5 — питатель

Рис. 64. Литниковая система с подводом расплава к отливке через прибыли, снабженные перегородками:

1 — воронка; 2 — стояк; 3 — коллектор; 4 — питатель; 5 — перегородка; 6 — прибыль; 7 — отливка



4. Во избежание образования открытых завихрений в начальный момент заполнения формы расплав подводят к форме через наклонные питатели. Этого легче достигнуть при нижней литниковой системе, когда питатели подводят (рис. 62, е) в самый низ формы, и она заполняется по мере подъема расплава в коллекторе.

5. Для питания отдельных частей, особенно находящихся внизу отливки, широко применяют подвод расплава в форму через отводные прибыли, устанавливаемые над коллектором или питателями (рис. 63). Недостатком отводных прибылей обычной конструкции является невысокая их эффективность при заливке высоких отливок. Это происходит потому, что уровень металла в прибыли и отливке поднимается одновременно. Таким образом, к концу заливки расплав в прибыли значительно остывает. Этот недостаток устраняется литниковой системой (Н. М. Галдин, авторское свидетельство № 550220, 1977 г.), прибыли которой разделены перегородками на две части (рис. 64). При заполнении формы расплав все время перетекает через верх перегородки, благодаря чему прибыли заполняются в последнюю очередь, т. е. более горячим металлом.

7. ВЫБОР ЛИТНИКОВЫХ ЧАШ

Литниковая чаша является первым элементом литниковой системы на пути следования расплава из заливочного ковша в форму. Поэтому правильная работа литниковой чаши создает предпосылки успешного функционирования литниковой системы в целом, а значит, и получения качественной отливки.

Литниковая чаша обеспечивает: задержание крупных неметаллических включений, присутствующих в готовом расплаве, а также образующуюся при заливке пену; создает положительное давление расплава в верхнем сечении стояка; гасит динамический напор струи и обеспечивает спокойный ввод расплава в стояк.

Для заливки легких сплавов в зависимости от массы заливаемого в форму расплава применяют литниковые воронки или литниковые чаши.

Литниковые воронки используют для небольших по массе отливок при расходе расплава Q (по алюминию) не более 1,0—1,5 кг/с и подразделяют на малые, у которых $Q = 0,5 \div 1,0$ кг/с, и большие, у которых $Q = 1,0 \div 1,5$ кг/с.

Малые воронки (рис. 65) широко распространены при литье в кокиль мелких и средних отливок. В этом случае коническую воронку выполняют непосредственно в металлической форме.

Модели круглых воронок должны охватывать контур свободно падающей струи (теоретический контур) [57], показанный на рис. 65, а штриховой линией. При этом условии давление

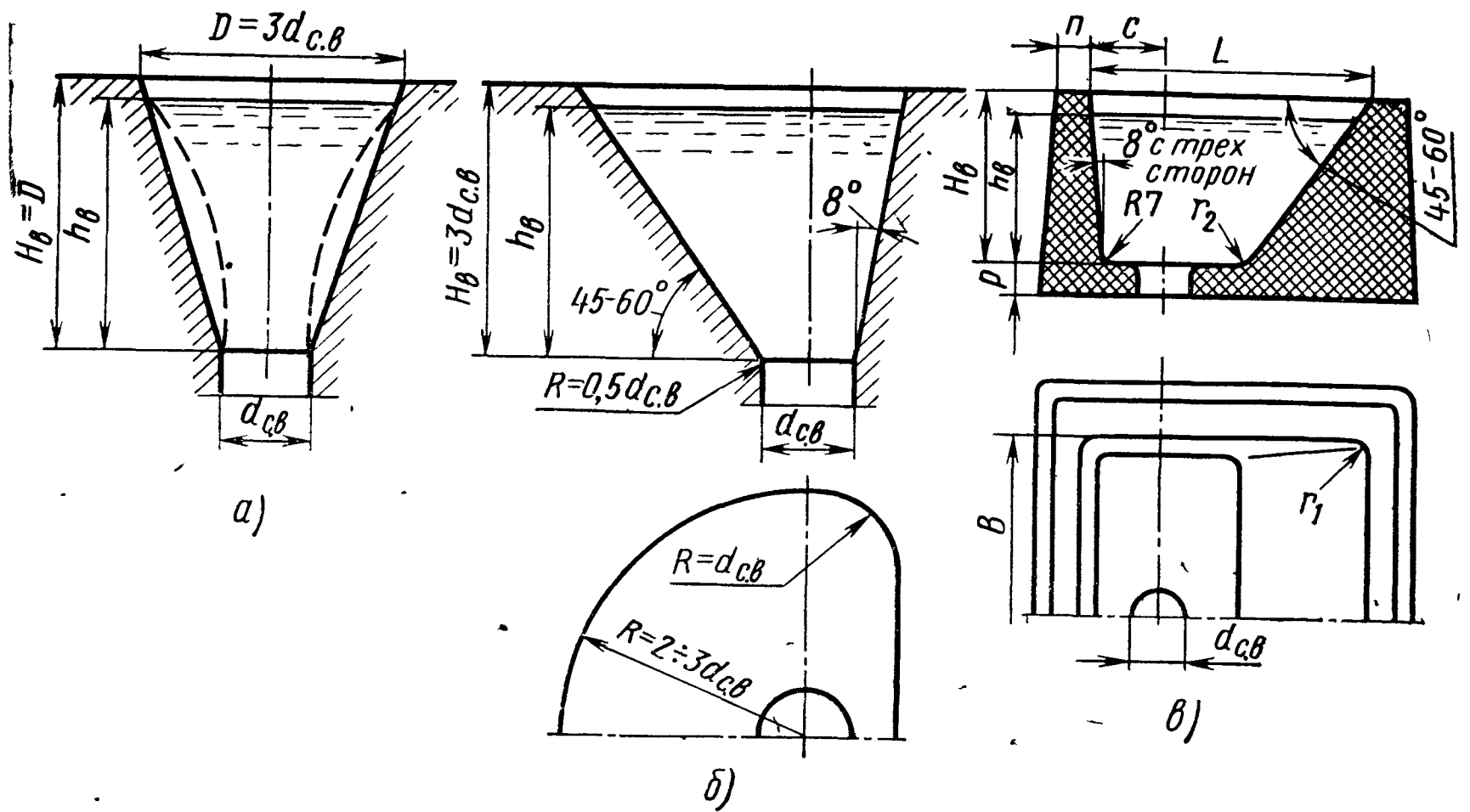


Рис. 65. Литниковые воронки:

а — малая круглая; б — малая овальная с наклонной стенкой; в — большая прямоугольная

расплава, оказываемое на стенки воронки, всегда больше атмосферного и будет исключен подсос воздуха в верхнем сечении стояка.

Более рациональной является воронка овальной формы (рис. 65, б). Такая форма предотвращает вихревое движение расплава. Кроме того, падение струи расплава на наклонную под углом $45-60^\circ$ стенку воронки уменьшает его разбрызгивание и успокаивает входящий в верхнее сечение стояка поток. Размеры воронки принимают исходя из соотношений между диаметром стояка в верхнем сечении $d_{с.в}$ и основными параметрами воронки, которые показаны на рис. 65, б.

Большие воронки используют при заливке средних отливок. Во избежание вращения расплава и связанных с этим отрицательными явлениями воронкам придают прямоугольную форму. Размеры применяемых в практике легкого литья больших воронок (рис. 65, в) приведены в табл. 15.

Диаметр выходного отверстия у всех типов воронок во всех случаях должен соответствовать диаметру стояка в верхнем сечении ($d_{с.в}$).

Литниковые чаши применяют, как правило, при расходе расплава (по алюминию) более $1,5 \text{ кг/с}$ и подразделяют на доливаемые (обычные) и мерные.

Объем доливаемых чаш и воронок выбирают исходя из условия

$$V_{ч} = kQ. \quad (42)$$

Для небольших (по массе) отливок значение коэффициента k берут равным 1,5—2,0, для средних $k=2\div 5$ и для крупных $k=5\div 10$.

Таблица 15

Размеры больших воронок, мм

Номера воронок	H_B	L	B	c	n	p	r	r_1
1	75	125	80	35		15	15	
2	90	150	100	40	15	15	15	10
3	110	170	120	40		20	20	

Объем мерных чаш принимают равным (или несколько больше) объему отливки (с прибылями и литниковой системой).

Наиболее употребительные конструкции чаш при литье легких сплавов: чаши с порогом (или углублением в приемной секции), чаши с порогом и перегородкой и чаша с двумя порогами и перегородками. Приводимые ниже чаши с порогом, а также с порогом и перегородкой имеют некоторые конструктивные и размерные отличия по сравнению с аналогичными чашами, применяемыми в практике чугунного литья [57].

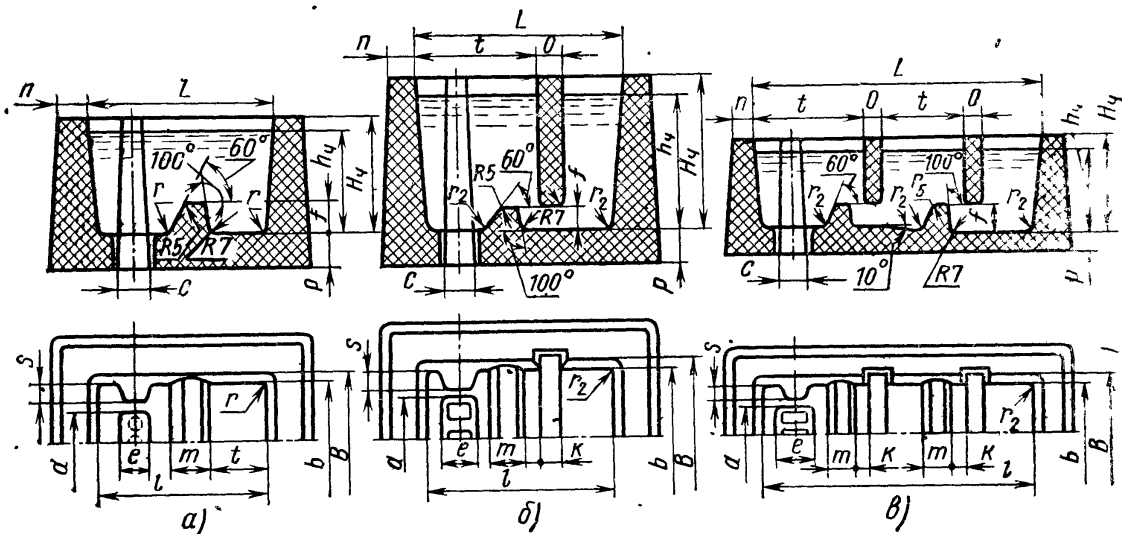


Рис. 66. Литниковые чаши:

а — с порогом; б — с порогом и перегородкой; в — с двумя порогами и перегородками

Чаши с порогом (рис. 66, а, табл. 16) снабжены двумя вертикальными ребрами, которые препятствуют циркуляции расплава под стояком и затрудняют образование вихревой воронки. Порог ограничивает зону падения струи металла, препятствует движению потока непосредственно к стояку, способствует перемещению шлака вверх на зеркало расплава и питанию стояка сверху.

Таблица 16

Размеры чаш с порогом, мм

Номера чаш	H_q	L	l	B	b	a	c	e
1	100	160	140	110	90	50	25	30
2	120	180	160	120	100	55	25	30
3	140	200	180	140	120	70	30	35
4	160	220	200	160	140	90	30	35
5	180	240	220	180	160	110	35	40
6	200	260	240	200	180	130	35	40

Номера чаш	f	m	n	p	t	s	r
1	20	30	25	30	50	15	10
2	20	30	25	30	70	15	10
3	25	35	30	35	80	15	10
4	30	35	30	35	100	20	10
5	35	40	35	40	110	20	15
6	35	40	35	40	130	20	15

Чаши с порогом и перегородкой (рис. 66, б, табл. 17) предназначены для крупных отливок. Перегородка разделяет чашу на приемную и расходную секции, уменьшая турбулентное пе-

Таблица 17

Размеры чаш с порогом и перегородкой, мм

Номера чаш	H_q	L	l	B	b	a	c	e	f	k	m
1	160	220	200	160	140	90	30	35	30	20	35
2	180	240	220	180	160	100	35	40	35	20	35
3	200	260	240	200	180	120	35	40	35	20	40
4	240	300	280	200	180	120	35	40	35	20	40

Номера чаш	n	o	p	s	t	r_2
1	30	25	35		130	10
2	35	25	40		130	15
3	35	30	40	20	135	15
4	35	35	40		150	15

ремешивание металла в последней. При этом обеспечивается лучшее шлакоотделение и более спокойный ввод расплава в стояк.

Чаши с двумя порогами и перегородками (рис. 66, в, табл. 18) применяют (Н. М. Галдин, авторское свидетельство № 425716, 1974 г.) для заливки более крупных отливок ответственного назначения, особенно когда носок ковша не удается приблизить к форме на минимально безопасное расстояние и

Таблица 18

Размер чаш с двумя порогами и перегородками, мм

Номера чаш	H_c	L	r	B	b	a	c	e	f_1	f_2	k
1	160			160	140	90	30	35			
2	200	400	380	200	180	120	35	40	35	25	20
3	240			200	180	120	35	40			

Номера чаш	m	n	o	p	s	t	r_5	r_2
1	35	30	25	35			5	10
2	40	35	30	40	20	130	7	15
3	40	35	30	40			7	15

возникает опасность разбрызгивания и вспенивания расплава. Эти чаши помимо приемной и расходной снабжены также шлакозадерживающей секцией, основное назначение которой — максимально успокоить металл, с тем чтобы создать благоприятные условия для всплытия и задержания шлака и пены. Наклонное дно шлакозадерживающей секции создает восходящий поток, увеличивающий скорость всплытия шлака и пены, что повышает эффективность шлакоотделения.

При необходимости описанные чаши и воронки могут быть и больших размеров, по сравнению с предусмотренными в табл. 15—18.

Основанием для выбора конструкции литниковой чаши или воронки служит масса отливки (расход расплава Q), предъявляемые к ней требования, а также технические возможности литейного цеха.

Объем литниковой чаши должен быть достаточным для поддержания в течение всего времени заливки постоянного уровня расплава в ней при данном расходе.

Высоту литниковой чаши выбирают из условия обеспечения положительного давления металла в верхнем сечении стояка в зависимости от его высоты. При этом за расчетную величину принимают высоту уровня расплава в чаше h_c (см. рис. 65 и 66), которую во избежание разбрызгивания расплава устанавливают примерно на 10—20 мм меньше высоты H_c полости литниковой чаши.

Глава III

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАЛИВКИ ПЕСЧАНЫХ ФОРМ

Как уже отмечалось (см. гл. II, п. 3), рассчитывать литниковые системы легких сплавов следует в основном исходя из обеспечения заполняемости формы; минимально допустимой турбулентности потока; задержания шлаковых включений; положительного давления расплава на стенки литниковых каналов.

Чтобы система могла выполнить эти функции, размеры ее основных элементов следует рассчитывать исходя из следующих условий: размеры литниковых чаш — из условия предотвращения засоса шлака через верхнее сечение стояка и обеспечения положительного давления расплава в нем; размеры нижнего поперечного сечения стояков — из условия обеспечения протекания расплава в них и рабочей полости формы с допустимой турбулентностью, а также заполняемости формы; размеры верхнего сечения стояков — из условия обеспечения положительного давления расплава на их стенки; размеры коллектора и питателей — из условий обеспечения протекания расплава в них с допустимой турбулентностью и шлакозадержания.

Рабочую полость формы рассчитывают на ламинарность потока и подвергают поверочному расчету на заполняемость.

В соответствии с этим предусматривают следующие виды расчетов:

1) расчет суммарных площадей поперечных сечений основных элементов литниковой системы: стояков, коллекторов и питателей, а для вертикально-щелевой системы дополнительно вертикальных колодцев и щелей;

2) расчет числа и определение размеров названных выше элементов;

3) расчет расстояния от стояка до первого питателя;

4) определение размеров литниковых чаш или воронок.

В расширяющихся литниковых системах основным сечением, лимитирующим расход расплава через всю систему, является нижнее сечение стояков F_c . Поэтому расчет элементов литниковой системы начинают с определения F_c по формуле (32):

1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА

На основании чертежа отливки и в зависимости от ее габаритных размеров, массы, конфигурации, средней толщины стенки и предъявляемых к отливке требований определяют положение отливки в форме, а также разъем формы, тип литниковой системы, место подвода питателей к рабочей полости формы и температуру заливки сплава (см. гл. II, п. 5—6).

Для выбранного типа (нижняя, верхняя и т. д.) литниковой системы выбирают схему ее типовой конструкции или, при необходимости, схему литниковой системы с отклонением от типовой. При этом определяют длину и конфигурацию коллектора, месторасположение на нем стояков, число питателей, соотношение суммарных площадей поперечных сечений стояка, коллектора и питателей ($F_c : F_k : F_{\Pi}$), а также диаметр стояка в его нижнем сечении $d_{с.н}$ (или размер $a \times b$ для прямоугольных стояков).

Предварительный выбор соотношения $F_c : F_k : F_{\Pi}$ и диаметра стояка $d_{с.н}$ в зависимости от массы и высоты отливки производят соответственно по табл. 19 и 20, составленных на основе обобщения заводского опыта.

Таблица 19

Рекомендуемые соотношения $F_c : F_k : F_{\Pi}$

Масса отливок (без прибылей), кг		$F_c : F_k : F_{\Pi}$
алюминиевых	магниевых	
До 5	До 3,5	1:2:2, 1:2:3
5—10	3,5—7	1:2:2, 1:2:3, 1:2:4, 1:3:3
10—20	7—14	1:2:3, 1:2:4, 1:3:3, 1:3:4
20—40	14—28	1:2:4, 1:3:3, 1:3:4, 1:4:4
40—70	28—50	1:2:4, 1:3:4, 1:4:4, 1:4:5
70—150	50—100	1:3:4, 1:3:5, 1:4:4, 1:4:5
Свыше 150	Свыше 100	1:4:4, 1:4:5, 1:4:6 и др.

При составлении табл. 19 все отливки в зависимости от их высоты условно разбиты на четыре группы, а именно, высотой до 150, от 150 до 450, от 450 до 750 и выше 750 мм. В соответствии с такой последовательностью, расположены и соотношения $F_c : F_k : F_{\Pi}$ для отливок с одинаковой массой. Поэтому при одинаковой массе отливок более расширяющуюся систему (большие отношения F_k/F_c и F_{Π}/F_k) следует применять для более высоких, а менее расширяющуюся — для отливок, высота которых относительно небольшая.

Рекомендуемые размеры стояков в нижнем сечении в зависимости от высоты $h_{отл}$ и массы M отливки

Диаметр стояка	Поперечное сечение стояка	f_c , см ²	$h_{отл}$ (с прибылями), мм	M (с прибылями), кг
$d_{с. н'}$ мм	$a \times b$, мм			
10	13×6	0,78	До 200	До 10 Для любой массы
12	16×7	1,13	До 1000	
14	19×8	1,54	До 850	} Более 20
16	20×10	2,01	До 750	
18	21×12	2,54	До 650	
20	26×12	3,14	До 550	
22	29×13	3,8	До 400	
24	30×15	4,52	До 350	} Более 50
26	31×17	5,3	До 300	
28	32×19	6,2	До 250	} Более 100
30	32×22	7,07	До 200	

На основании чертежа отливки, выбранного положения ее в форме при заливке и установленного способа подвода расплава определяют технологические группы и подгруппы сложности отливки, пользуясь их принципиальной классификацией, приведенной в табл. 21. Подразделение отливок в табл. 21 на технологические группы и подгруппы обусловлено тем, что характер потока в форме во многом зависит от названных выше параметров, определяющих конкретные условия литья. Эти конкретные условия литья необходимо, по возможности, учесть при выборе гидродинамических параметров потока в форме и, прежде всего, двух его важнейших характеристик, от которых зависит качество литья: максимально допустимого расхода $Q_{ф}$ и минимально допустимой скорости подъема металла в форме $v_{ф min}$.

Безусловно, что в табл. 21 нельзя привести все многообразие применяемых на практике конфигураций отливок и способов заливки. Однако она дает принципиальную основу, на базе которой, при необходимости, можно расширить и дополнить приведенную классификацию исходя из конкретных особенностей отливок, применяемых в той или иной отрасли машиностроения.

Пользуясь чертежом отливки и схемой положения ее в форме (рис. 67), определяют параметры формы и отливки.

1. Первоначальный напор

$$H_0 = h_{ч} + h_{с}, \quad (43)$$

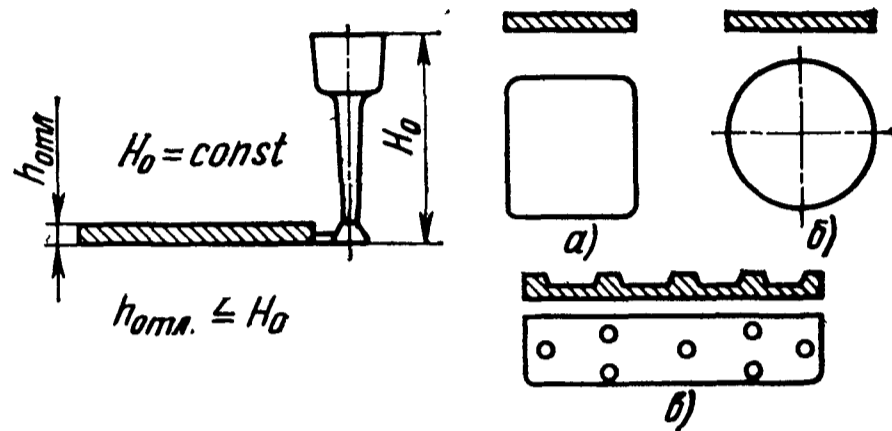
где $h_{ч}$ — высота уровня расплава в литниковой чаше, принимаемая в зависимости от высоты полости чаши $H_{ч}$ (см. в гл. II, п. 7).

Принципиальная классификация отливок по сложности конфигураций и способу заливки

Технологическая группа отливок	Характеристика способа подвода расплава в форму и положение отливок при заливке	Технологическая подгруппа отливок	Типичные отливки	Принципиальная схема заливки и эскизы отливок
--------------------------------	---	-----------------------------------	------------------	---

I

1a



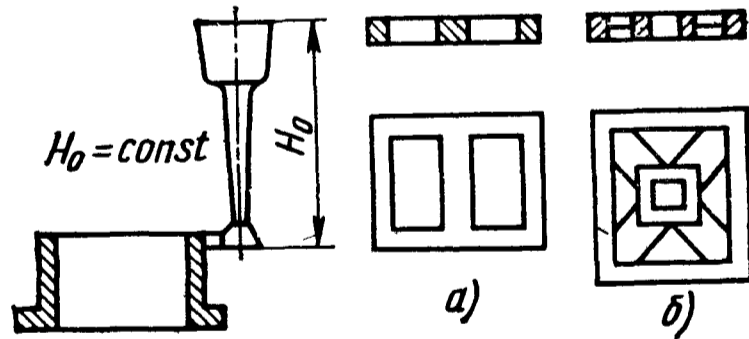
Отливки, заливаемые при постоянной скорости течения расплава в форме

Все отливки с верхним подводом расплава, а также отливки небольшой высоты с нижним подводом, заливаемые горизонтально, когда высота напора в процессе заливки изменяется незначительно:
 $H_0 = \text{const}; v_{\phi} = \text{const};$
 $h_{\text{отл}} \ll H_0$

Отливки простой конфигурации

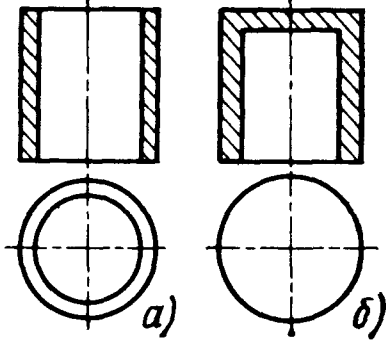
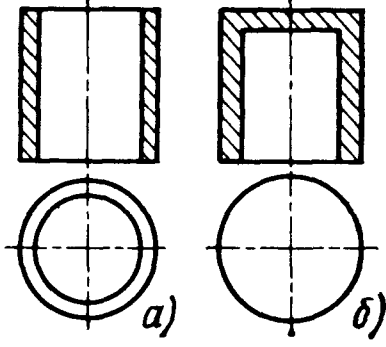
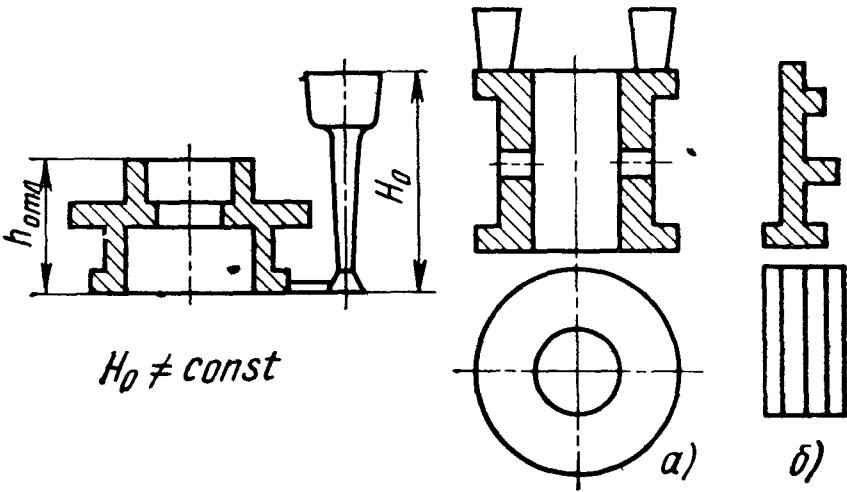
Плоские отливки типа плит, панелей, крышек, дисков и т. п., не имеющие фланцев, бортиков, приливов и других выступающих частей, способствующих изменению направления потока расплава и образованию в нем местных возмущений

16



Отливки сложной конфигурации

Отливки типа крышек, каркасов, рамок и т. п., не относящиеся к подгруппе 1a, а также корпусные отливки с верхним подводом расплава, при заливке которых могут возникать местные возмущения потока

Технологическая группа отливок	Характеристика способа подвода расплава в форму и положение отливок при заливке	Технологическая подгруппа отливок	Типичные отливки	Принципиальная схема заливки и эскизы отливок
<p>II</p> <p>Отливки, заливаемые при переменной скорости течения расплава в форме</p>	<p>Все отливки с вертикально-щелевым и нижним подводом расплава, не относящиеся к I группе, т. е. заливаемые вертикально, когда высота напора в процессе заливки существенно изменяется:</p> <p>$H_0 \neq \text{const}$; $v_{\text{ф}} \neq \text{const}$ $h_{\text{отл}}$ соизмерима с H_0</p>	<p>1a</p>  <p>Отливки простой конфигурации</p>	<p>Типичные отливки</p>  <p>Отливки типа плит, втулок, цилиндров, не имеющие фланцев, бортиков, приливов, карманов, ребер и других выступающих частей, способствующих изменению направления потока и образованию в нем местных возмущений</p>	
		<p>1б</p>  <p>Отливки сложной конфигурации</p>	<p>Коробки, барабаны, каркасы, тройники, скафандры и т. п., при заливке которых могут возникать местные возмущения потока</p>	

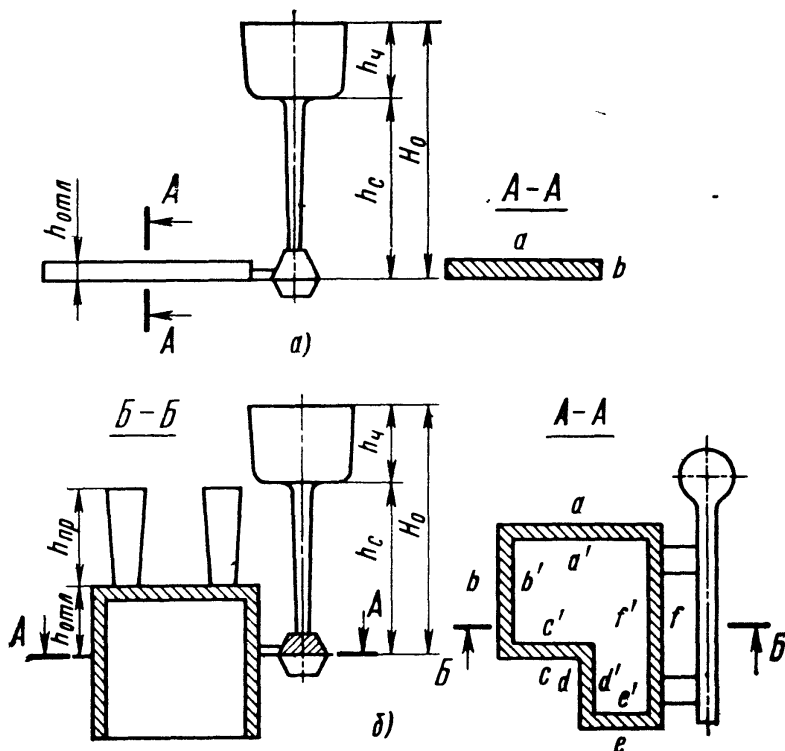


Рис. 67. Схема положения отливки в форме (к расчету H_0 , $h_с$, P_ϕ , F_ϕ , v_ϕ):

a — заливка при постоянном напоре (I группа отливок, см. табл. 21); b — заливка при переменном напоре (II группа отливок)

Зависимость между высотой чаши и высотой стояка:

$\frac{H_ч}{h_с}$, см	8	10	12	14	16	18	20	22	24
$\frac{H_ч}{h_с}$, см	До 15	15—25	25—30	30—45	45—60	60—75	75—90	90—120	120—150

2. Средний расчетный напор H_p (определяют только для отливок II группы) (рис. 67, б)

$$H_p = H_0 - \frac{h_{отл}}{2}, \quad (44)$$

где $h_{отл}$ — высота отливки, считая от оси питателей.

3. Площадь наибольшего сечения рабочей полости формы F_ϕ , расположенного на уровне подвода расплава к ней или выше этого уровня, т. е. сечения A—A (рис. 67).

4. Полный периметр P_ϕ сечения рабочей полости формы F_ϕ на уровне подвода расплава, включающий наружные и внутренние контуры всех попадающих в сечение полостей формы (рис. 67, б)

$$P_\phi = a + a' + \dots + f + f'. \quad (45)$$

5. Преобладающую толщину стенки отливки $\delta_{отл}$.

6. Максимальную длину потока расплава Z (м), пройденную им (см. рис. 34) от питателей до встречи с другим потоком (определяется только для отливок I группы простых конфигураций).

2. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ НИЖНЕЙ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

На основе исходных данных и установленных выше параметров формы и отливки определяют максимально допустимый расход расплава Q_{ϕ} и расчетную скорость движения расплава в стояке v_c . Затем вычисляют суммарные площади сечений стояков, коллектора и питателей и определяют исполнительные размеры всех элементов литниковой системы.

Определение максимально допустимого расхода расплава. Расчет начинают с нахождения такого максимально допустимого в начальной (наиболее опасной) стадии заливки расхода расплава через рабочую полость формы (Q_{ϕ}), при котором обеспечивается ламинарное или с незначительной турбулентностью течение, исключающее окисление и вспенивание расплава.

Максимально допустимый расход определяют по формуле (36)

$$Q_{\phi} = kP_{\phi},$$

принимая расчетные значения коэффициента равными: для отливок сложной конфигурации (подгруппа 1 б, табл. 21) $k=1,2 \div 2,0$; для отливок простой конфигурации (подгруппа 1а, табл. 21) $k=3,1 \div 3,9$; расчет ведут по средним значениям коэффициента, равным соответственно $k=1,6$ и $k=3,5$.

Контрольный расчет литниковой системы на заполняемость. Как было показано (см. гл. II, п. 3), скорость течения расплава в форме должна удовлетворять условию (28).

Выбранная из условия сохранения ламинарности потока величина максимально допустимого расхода создает такую скорость течения металла в начальной стадии заполнения формы $v_{\phi \max}$, которая удовлетворяет левой части неравенства (28).

Однако неизвестно, обеспечит ли эта величина максимально допустимого расхода среднюю скорость течения расплава в форме, достаточную для ее заполняемости. Поэтому необходимо, исходя из найденной величины Q_{ϕ} контрольным расчетом определить фактическую скорость подъема расплава в форме v_{ϕ} и сопоставить ее с минимально допустимой величиной $v_{\phi \min}$ для данных конкретных условий литья, т. е. проверить Q_{ϕ} на соответствие правой части неравенства (28).

Величину средней фактической скорости течения расплава в форме для отливок, заливаемых при постоянном напоре (I группа отливок, см. табл. 21), определяют по выражению

$$v_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{F_{\phi}}, \quad (46)$$

а для отливок, заливаемых при переменном напоре (II группа отливок), по выражению

$$v_{\phi} = \frac{Q_{\phi} \sqrt{H_p}}{\sqrt{H_0} F_{\phi}}, \quad (47)$$

где F_{ϕ} — наибольшее сечение рабочей полости формы на уровне подвода питателей (или выше этого уровня), нормальное к направлению потока (см. рис. 67, б); H_0 , H_p — соответственно первоначальный и средний расчетные напоры. Величина H_p , рассчитанная по формуле (44), является приближенной. Однако, как известно [20], заметных погрешностей в расчет не вносится, если величина H_0 превосходит высоту отливки, что, как правило, и имеет место при заливке сложных отливок из легких сплавов. В этом случае вынужденное превышение H_0 над $h_{отл}$ создается в результате обязательного применения чаш и прибылей. В тех случаях, когда H_0 близок к $h_{отл}$, вместо величины H_p в формулу (47) подставляют величину фактического напора H_{ϕ} над расчетным (опасным) сечением формы ($H_{\phi} = H_0 - h_{отл}$), где $h_{отл}$ — высота отливки от уровня питателей до опасного по заполняемости сечения формы), или проводят расчет H_p по более точным, но и более сложным зависимостям [20].

Значения минимально допустимых скоростей течения расплава $v_{\phi min}$ в форме для конкретных условий литья определяют по формулам, графикам или таблицам, приведенным выше (см. гл. I, п. 5).

Если при поверочном расчете не заполняемость окажется, что условие $v_{\phi} \geq v_{\phi min}$ соблюдается, то полученное значение максимально допустимого расхода считают оптимальным. При $v_{\phi} < v_{\phi min}$ повышают температуру заливки сплава, изменяют положение отливки в форме или применяют специальные средства, способствующие лучшей заполняемости форм (см. гл. I, п. 5). Если и этих средств недостаточно для заполняемости формы, то увеличивают величину Q_{ϕ} , т. е. принимают верхнее значение коэффициента в формуле (36) в пределах, рекомендуемых выше для каждой группы отливок.

Расчет стояков. Определение фактической расчетной скорости течения расплава в стояке. Установленная выше величина максимально допустимого расхода обеспечивается суммарной площадью поперечных сечений стояков F_c и фактической — расчетной скоростью течения расплава в них:

$$Q_{\phi} = F_c \mu \sqrt{2gH_0} = F_c v_c.$$

Для определения коэффициента расхода μ и скорости течения металла в стояке v_c необходимо знать: конструкцию литниковой системы, первоначальный напор, диаметр стояка в нижнем сечении, длину одной ветви коллектора, число питателей и температуру заливки сплава. Все эти параметры были уже установлены ранее (см. п. 1). Используя их, а также приведенные выше (см. гл. I, п. 3) экспериментальные данные, определяют значение коэффициента расхода, и затем уже рассчитывают скорость течения расплава в стояке.

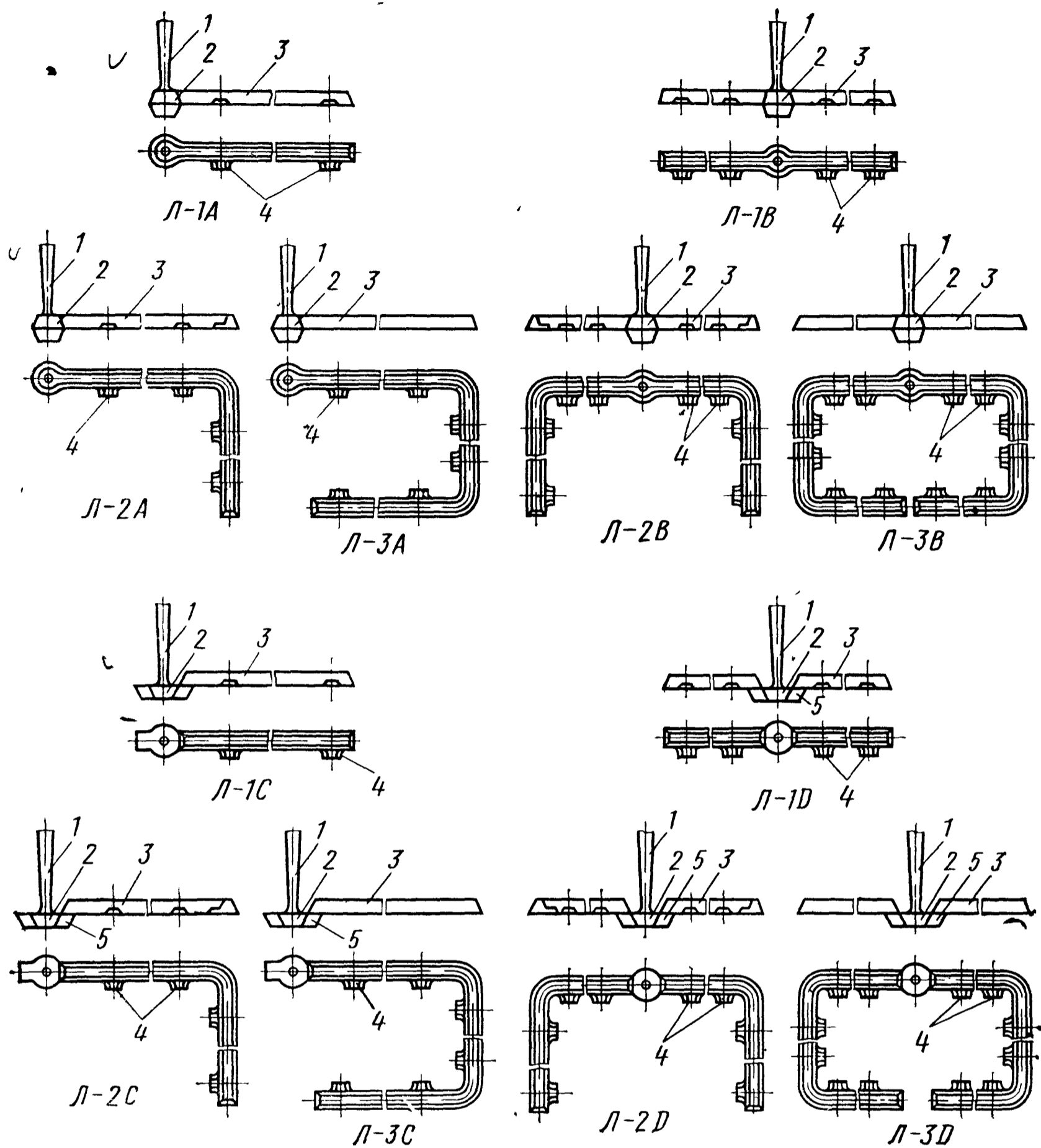


Рис. 68. Типовые конструкции литниковых систем:

Л-1А, Л-2А; Л-3А — системы простой конструкции с односторонним коллектором; Л-1В, Л-2В, Л-3В — системы простой конструкции с двухсторонним коллектором; Л-1С, Л-2С, Л-3С — системы с металлоприемником и односторонним коллектором; Л-1Д, Л-2Д, Л-3Д — системы с металлоприемником и двусторонним коллектором; Л-1 — коллектор прямой; Л-2 — коллектор с одним поворотом; Л-3 — коллектор с двумя поворотами;
 1 — стояк; 2 — зумпф; 3 — коллектор; 4 — питатели; 5 — металлоприемник

С целью упрощения практических расчетов скоростей на основании полученных экспериментальных значений коэффициента расхода разработаны 12 типовых конструкций литниковых систем (рис. 68), обладающих различными гидравлическими сопротивлениями, и построена номограмма, позволяющая определить расчетную скорость течения расплава в стояке, от которой зависит расход во всей системе.

Скорость v_c по номограмме (рис. 69) определяется диаметром стояка в нижнем сечении $d_{с.н.}$ начальным напором H_0 ,

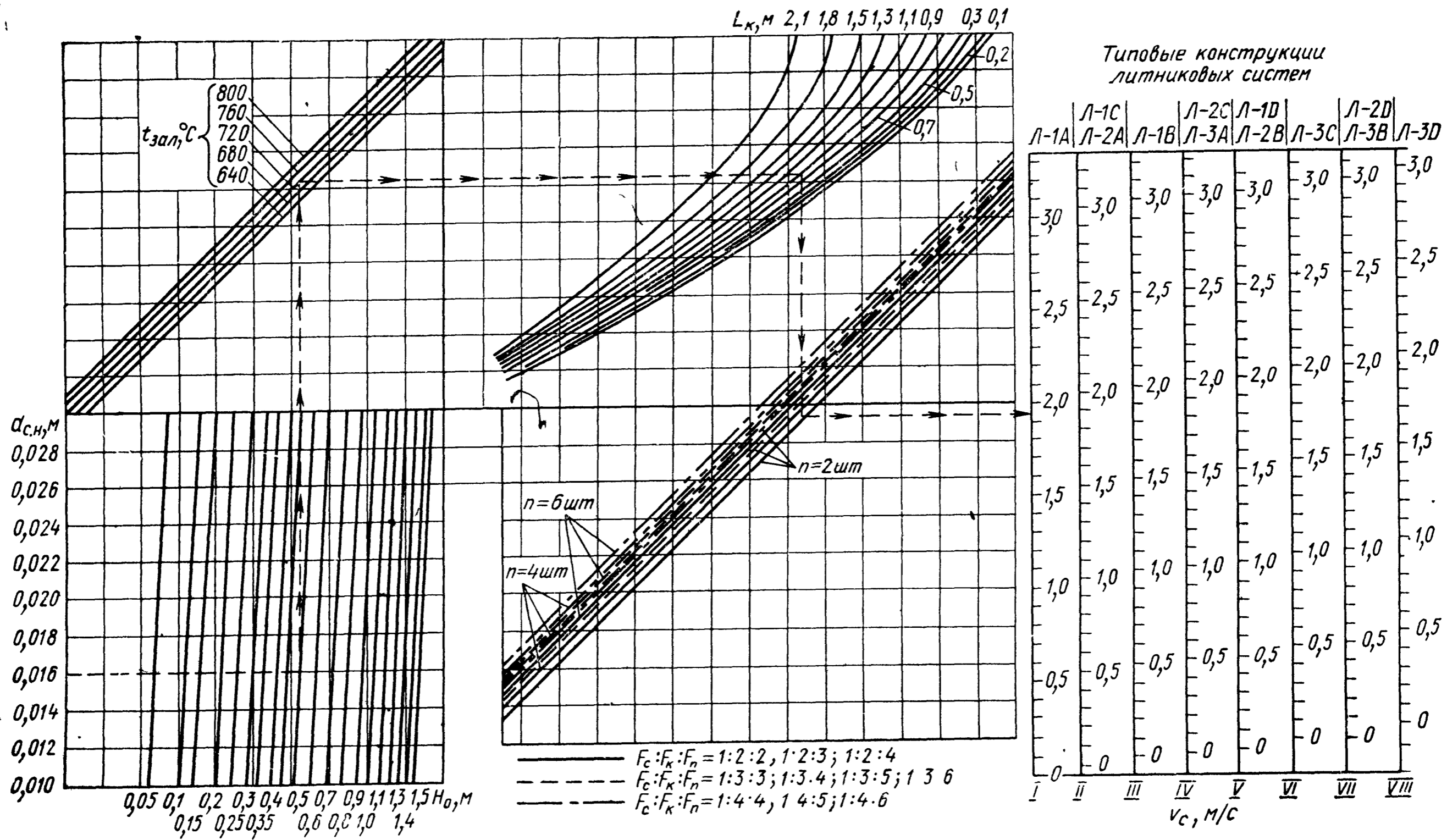


Рис. 69. Номограмма для определения скоростей течения расплава в нижнем сечении стояка типовых конструкций систем

длиной коллектора L_k , числом питателей n , соотношением $F_c : F_k : F_{\Pi}$ и температурой заливки сплава $t_{\text{зал}}$. Номограмма построена с некоторыми упрощениями, которые, однако, существенно не снижают точность, являющуюся достаточной для практических расчетов. Типовые конструкции литниковых систем, гидравлические сопротивления которых отличаются незначительно, объединены и таким образом составлено восемь групп (I—VIII). Приняты одинаковыми также скорости потока в литниковых системах, имеющих шесть и более питателей.

Скорость течения по номограмме определяют в следующей последовательности. На шкале «диаметр стояка» откладывают точку, соответствующую выбранному диаметру стояка в нижнем сечении: $d_{\text{с.н}}$ и по стрелке (на рис. 69 показан ход определения v_c для $d_{\text{с.н}}=0,016$ м; $H_0=0,5$ м, $t_{\text{зал}}=720^\circ\text{C}$, $L_k=0,9$ м, $n=2$, $F_k : F_c : F_{\Pi}=1 : 2 : 2$) проводят линию до пересечения со шкалой первоначального напора H_0 . От этой точки пересечения следует подъем вверх по вертикальной линии до шкалы «температуры заливки» $t_{\text{зал}}$. Затем проводят прямую по стрелке до пересечения с одной из линий, обозначающих длину коллектора L_k . От точки пересечения опускают перпендикуляр до наклонных прямых, показывающих соотношение $F_c : F_k : F_{\Pi}$ и число питателей n . Проведя после этого горизонтальную прямую по стрелке вправо до соответствующей шкалы типовой конструкции литниковой системы, находят искомое значение скорости в стояке.

Номограмма позволяет определить скорости потока расплава в стояках для отливок массой (по алюминию) от 0,5 до 500 кг, т. е. наиболее распространенных в машиностроении.

Скорости течения расплава в стояках прямоугольного сечения, обладающих большими гидравлическими сопротивлениями по сравнению с круглыми стояками, находят по формуле

$$v'_c = v_c - k,$$

где v_c — скорость, выбранная по номограмме или рассчитанная по формуле (2), для стояка круглого сечения, имеющего одинаковую площадь со стояком прямоугольного сечения; k — поправка к скорости, принимаемая в зависимости от первоначального напора H_0 по табл. 22.

При необходимости еще больше уменьшить скорости потока в литниковой системе, применяют зигзагообразные стояки, устанавливая в основании стояка, в коллекторе или питателях фильтровальные сетки (рис. 70).

Применение зигзагообразных стояков прямоугольного сечения позволяет снизить скорости потока по сравнению с прямыми стояками примерно на 10—25% в зависимости от шага и числа витков зигзагообразной части стояка, а установка сеток — на 20—30% в зависимости от их живого сечения, которое обычно составляет 30—50% от нижнего сечения стояка.

Системы с сетками применяют при крайней необходимости, так как они требуют повышенного внимания при установке и засоряют отходы сплава посторонними включениями. Системы же с змееобразными стояками, исключаящие свободное падение потока с большой высоты и обеспечивающие спокойное движение расплава в литниковых каналах, работают надежно. Они нашли широкое распространение при литье в кокиль и песчаные формы, особенно при заливке магниевых сплавов.

Таблица 22

Значение поправок к скоростям потока расплава в стояках

Диаметр стояка $d_{с.н}$ мм	Поперечное сечение стояка $a \times b$, мм	Величина поправки, м/с	
		$H_0 = 0,1 \div \div 0,45$ м	$H_0 > 0,45$ м
10	13 × 6	0,18	0,40
12	16 × 7	0,16	0,35
14	19 × 8	0,15	0,30
16	20 × 10	0,13	0,25
18	21 × 12	0,12	0,22
20 и свыше	26 × 12 и выше	0,1	0,20

На рис. 71 показано конструктивное построение змееобразного стояка. Размеры применяемых на практике змееобразных стояков приведены в табл. 23 [73].

Сетки изготовляют из листовой стали толщиной 0,3—0,5 мм с отверстиями диаметром 1,5—2,0 мм или из синтетической ткани с размером ячейки 1,8 × 1,8 или 2 × 2 мм. Для повышения эффективности работы сетки нередко изготовляют из двух слоев ткани. В местах установки сеток (под стояком или в коллекторе) предусматривают расширение канала (см. рис. 70, а, б, г). Расширение под стояком составляет обычно от 2 до 4 F_c , а в коллекторе от 2 до 4 F_k .

Сетки изготовляют из листовой стали толщиной 0,3—0,5 мм с отверстиями диаметром

1,5—2,0 мм или из синтетической ткани с размером ячейки 1,8 × 1,8 или 2 × 2 мм. Для повышения эффективности работы сетки нередко изготовляют из двух слоев ткани. В местах установки сеток (под стояком или в коллекторе) предусматривают расширение канала (см. рис. 70, а, б, г). Расширение под стояком составляет обычно от 2 до 4 F_c , а в коллекторе от 2 до 4 F_k .

Определение суммарной площади сечения и количества стояков. На основе Q_{ϕ} и v_c , образующейся в первоначальный момент заполнения формы, находят суммарную площадь нижнего поперечного сечения стояков из (32)

$$F_c = \frac{Q_{\phi}}{v_c}$$



Предварительно при выборе конструкции литниковой системы и определении исходных данных для расчета была задана произвольная площадь сечения одного стояка ($d_{с.н}$ или $f_{с.н}$), иначе невозможно было бы определить гидравлические сопротивления стояка, а значит, найти v_c . Эта площадь $f_{с.н}$ ($d_{с.н}$) не должна обязательно совпадать (и, как правило, не будет совпадать, т. е. $f_{с.н} \neq F_c$) с площадью, подсчитанной по формуле (32). Изменять принятое сечение стояка нельзя, так как это привело бы к изменению гидравлических сопротивлений системы и гидравлического радиуса стояка R_c , а следовательно, к изменению установленной скорости. Поэтому в таком случае применяют несколько параллельно действующих стояков, каждый из кото-

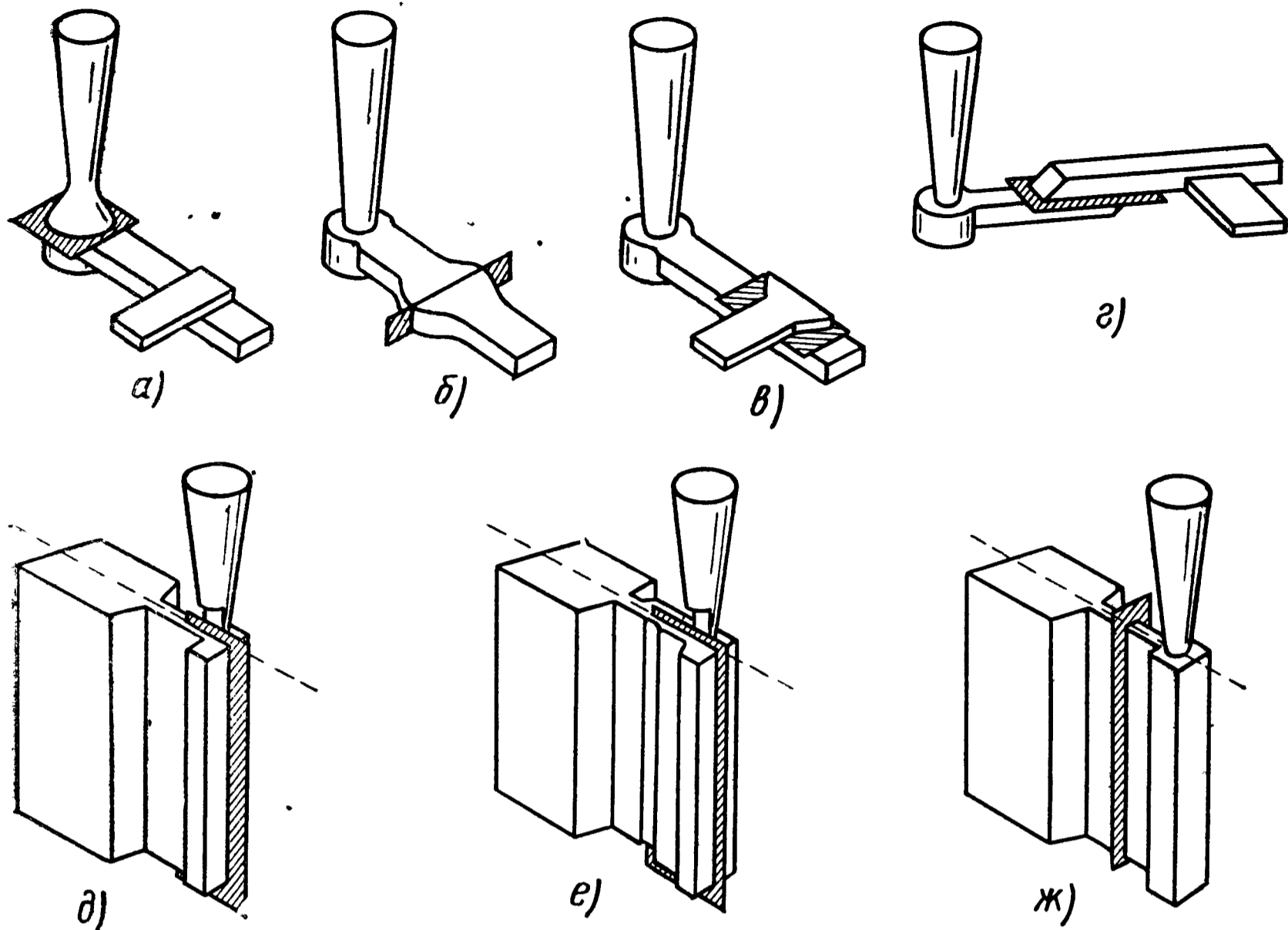


Рис. 70. Схемы установки фильтровальных сеток в песчаных формах (а—г) и кокилях (д—ж) [99]:

а — под стояком; б — в расширенной части коллектора; в — под питателем; г — по разъему между металлоприемником и коллектором; д — в вертикальном колодце; е — в колодце и вертикальной щели; ж — в вертикальной щели

рых должен сохранить выбранные ранее конфигурацию и сечение и, таким образом, обеспечить требуемую скорость.

Предварительно выбранная конструкция коллектора и питателей остается неизменной, что может вызвать некоторое изменение гидравлических сопротивлений системы (из-за различия динамики потока расплава, вытекающего из одного и нескольких стояков). Однако это изменение незначительно, и им можно пренебречь.

Расчетная скорость v_c , подставляемая в формулу (32), не должна превышать максимально допустимой для данного стояка величины, определяемой из выражения для числа Рейнольдса (4). Значения максимально допустимых скоростей для некоторых типов стояков, рассчитанные по формуле (37), приведены в табл. 24.

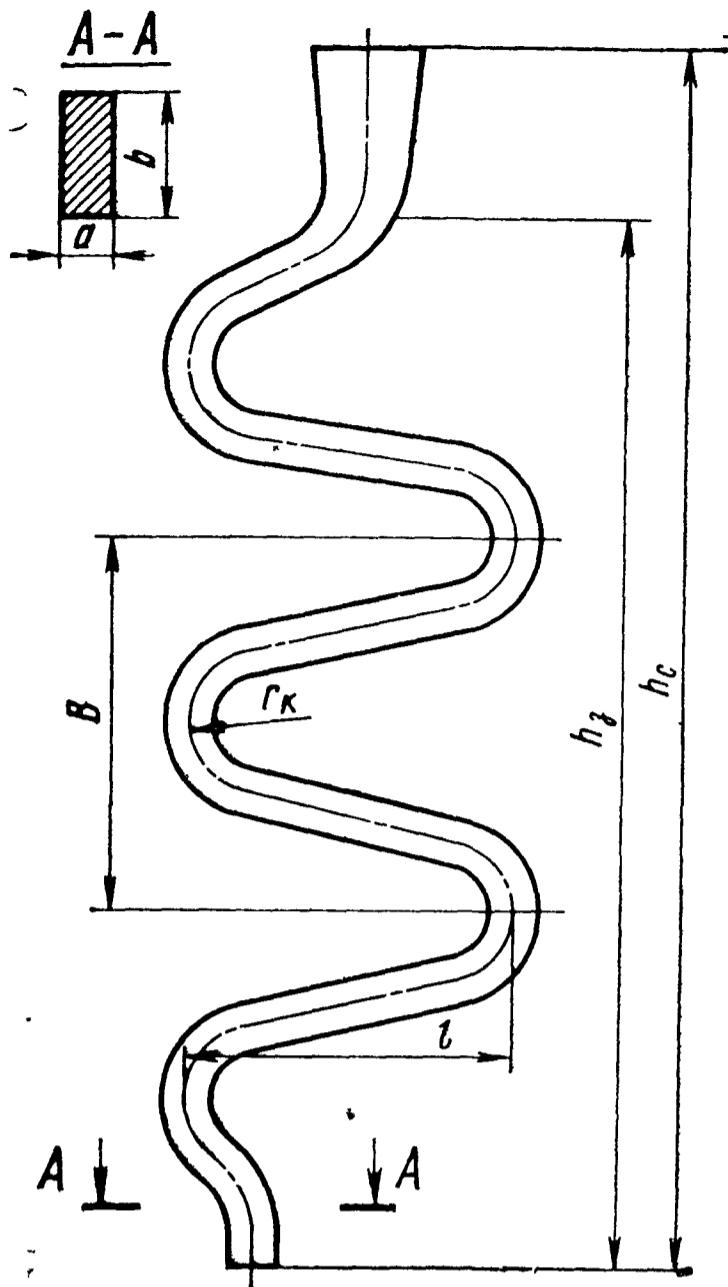
Число стояков находят из равенства

$$n = \frac{F_c}{f_c}$$

Площадь стояка в верхнем сечении определяют из выражения (26).

Расчеты показывают, что применительно к стояку круглого

Размеры змееобразных стояков



Поперечное сечение стояка $a \times b$, мм	F_c , см ²	Число полувитков в стояке (шт) при напоре, см						
		30	40	50	60	70	80	90
8×19	1,54	1,0	2,0	3,0	4,5	6,0	7,0	9,0
10×20	2,0	1,0	2,0	3,0	4,5	6,0	7,0	9,0
10×25	2,5	1,0	2,0	3,0	4,5	6,0	7,0	8,5
11×27	3,14	1,0	2,0	3,0	4,0	5,5	6,5	8,0
13×31	4,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,5	6,5	8,0
14×36	5,0	1,0	1,5	3,0	4,0	5,0	6,5	7,5
16×38	6,0	1,0	1,5	2,5	4,0	5,0	6,0	7,0
17×41	7,0	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	6,0	7,0
18×44	8,0	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5
19×47	9,0	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5
20×50	10,0	1,0	1,5	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0

Поперечное сечение стояка $a \times b$, мм	F_c , см ²	Число полувитков в стояке (шт.) при напоре, см					
		100	110	120	130	140	150
8×19	1,54	10,0	11,0	12,0	14,0	15,0	16,5
10×20	2,0	10,0	11,0	12,0	14,0	15,0	16,5
10×25	2,5	10,0	11,0	12,0	14,0	15,0	16,5
11×27	3,14	9,0	10,5	11,5	13,5	14,5	15,0
13×31	4,0	9,0	10,0	11,5	13,0	13,5	15,0
14×36	5,0	9,0	9,5	11,0	12,0	13,0	14,5
16×38	6,0	8,0	9,0	10,5	11,5	12,0	13,5
17×41	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	11,5	13,0
18×44	8,0	7,0	8,5	9,5	10,5	11,0	12,5
19×47	9,0	7,0	8,5	9,5	10,0	10,5	12,0
20×50	10,0	7,0	8,0	9,0	9,5	10,0	11,5

Рис. 71. Конструктивное построение змееобразного стояка:

h_3 — высота змееобразной части стояка; B — шаг витка канала; l — расстояние между осями по ширине; r_k — радиус кривизны оси канала; $h_3 = (0,5-0,75) h_c$; $B=45$ мм; $l=80$ мм; $r_k=20$ мм

сечения условие (26) обеспечивается, если стояку придать конусность, которую находят по эмпирической формуле

$$d_{c.в} = d_{c.н} + 0,015h_c \quad (48)$$

Расчет коллектора. Суммарную площадь поперечного сечения коллектора F_k определяют после нахождения F_c исходя из принятых между ними соотношений. Теперь необходимо проверить коллектор на условие (38), обеспечивающее протекание расплава с допустимой турбулентностью. С этой целью определяют фактическую скорость потока в коллекторе:

$$v_k = v_c \frac{F_c}{F_k} \quad (49)$$

и сопоставляют ее с максимально допустимой величиной, найденной из выражения (38). При этом должно соблюдаться ус-

Максимально допустимые скорости потока в стояках

Круглые стояки		Прямоугольные стояки	
$d_{с. н'}$ мм	$v_{стак}$, м/с	$a \times b$, мм	$v_{стак}$, м/с
10	2,61	13×6	3,18
12	2,18	16×7	2,68
14	1,86	19×8	2,32
16	1,63	20×10	1,97
18	1,45	21×12	1,70
20	1,3	26×12	1,59
22	1,18	29×13	1,43
24	1,08	30×15	1,3
26	1,0	31×17	1,18
28	0,93	32×19	1,07
30	0,87	32×22	1,0

ловие (30), т. е. $v_k \leq v_{kmax}$. При $v_k > v_{kmax}$ выбирают другое отношение F_c/F_k , обеспечивающее снижение скорости потока в коллекторе до необходимой величины.

Исполнительные размеры поперечных сечений коллектора принимают в зависимости от F_k и соотношения $F_c : F_k$. Эти размеры для некоторых типов коллекторов приведены в табл. 25.

Расчет питателей. Суммарную площадь поперечных сечений питателей определяют исходя из принятого соотношения $F_c : F_k : F_{п}$. Площадь сечения одного питателя находят из равенства

$$f_{п} = \frac{F_{п}}{n}, \quad (50)$$

где n — число питателей.

Толщину питателей $\delta_{п}$ рассчитывают исходя из условий предотвращения засоса шлака через них (25): $\delta_{п} \leq \frac{h_k}{3,25}$, и проверяют на условие (16):

$$\delta_{п} \leq \sqrt[3]{\frac{Q_{\phi}^2}{gB^2}}$$

Расстояние от стояка до первого питателя находят по формуле (21) для алюминиевых и по формуле (22) для магниевых сплавов.

Чтобы убедиться в том, что фактическая скорость потока в питателях удовлетворяет условию (31), т. е. $v_{п} \leq v_{пmax}$, ее рассчитывают по формуле

$$v_{п} = v_c \frac{F_c}{F_{п}} \quad (51)$$

и сопоставляют с максимально допустимой величиной, найденной из выражения (39). При $v_{п} > v_{пmax}$ уменьшают $R_{п}$ или снижают $v_{п}$, применяя другое (большее) соотношение $F_{п}/F_c$.

Конструктивное построение нижней литниковой системы показано на рис. 72, конструктивное построение зумпфа и металлоприемника при нескольких стояках — на рис. 73.

Определение размеров литниковых чаш или воронок. Исполнительные размеры литниковых чаш принимают в зависимости

Исполнительные размеры поперечных сечений коллекторов (мм) в зависимости от F_c и F_k (см²) и соотношения $F_c:F_k$

F_c	$F_c:F_k=1:2$								$F_c:F_k=1.3$								$F_c:F_k=1:4$											
	Тип коллектора																											
	Односторонний				Двусторонний				Односторонний				Двусторонний				Односторонний				Двусторонний							
	F_k	a	b	h_k	F_k	a	b	h_k	F_k	a	b	h_k	F_k	a	b	h_k	F_k	a	b	h_k	F_k	a	b	h_k	F_k	a	b	h_k
1,13	2,26	16,0	12,5	16,0	1,13	11,0	9,0	11,0	3,39	19,0	16,0	19,0	1,69	13,5	11,0	13,5	4,52	22,5	18,0	22,5	2,26	16,0	12,5	16,0				
1,54	3,08	18,5	14,5	18,5	1,54	13,0	10,0	13,0	4,62	22,5	18,0	22,5	2,31	16,5	13,0	16,5	6,16	26,0	21,0	26,0	3,08	18,5	14,5	18,5				
2,00	4,0	21,0	17,0	21,0	2,00	15,0	12,0	15,0	6,0	26,0	20,0	26,0	3,0	18,0	14,5	18,0	8,0	30,0	24,0	30,0	4,0	21,0	17,0	21,0				
2,26	4,52	22,5	18,0	22,5	2,26	16,0	12,5	16,0	6,78	27,5	22,0	27,5	3,39	19,0	16,0	19,0	9,04	32,5	26,0	32,5	4,52	22,5	18,0	22,5				
2,54	5,08	23,5	19,0	23,5	2,54	16,5	14,0	16,5	7,62	29,0	23,0	29,0	3,81	20,0	16,5	20,0	10,16	33,5	27,0	33,5	5,08	23,5	19,0	23,5				
3,14	6,28	26,0	21,0	26,0	3,14	18,5	15,0	18,5	9,42	32,0	26,0	32,0	4,71	23,0	18,0	23,0	12,56	36,0	28,5	36,0	6,28	26,0	21,0	26,0				
3,5	7,0	28,0	22,0	28,0	3,5	20,0	15,0	20,0	10,5	34,0	27,5	34,0	5,25	24,0	19,5	24,0	14,0	39,0	32,0	39,0	7,0	28,0	22,0	28,0				
4,0	8,0	30,0	24,0	30,0	4,0	21,0	17,0	21,0	12,0	36,5	29,0	36,5	6,0	26,0	20,0	26,0	16,0	42,0	33,5	42,0	8,0	30,0	24,0	30,0				
4,5	9,0	32,0	25,0	32,0	4,5	22,0	18,0	22,0	13,5	38,5	31,0	38,5	6,75	27,0	22,0	27,0	18,0	44,5	35,5	44,5	9,0	32,0	25,0	32,0				
5,0	10,0	33,0	26,5	33,0	5,0	23,0	19,0	23,0	15,0	41,0	32,0	41,0	7,5	28,5	23,0	28,5	20,0	47,0	37,5	47,0	10,0	33,0	26,5	33,0				
5,5	11,0	35,0	28,0	35,0	5,5	24,5	20,0	24,5	16,5	42,5	34,0	42,5	8,25	30,0	24,5	30,0	22,0	49,0	40,0	49,0	11,0	35,0	28,0	35,0				
6,0	12,0	36,5	29,0	36,5	6,0	26,0	20,0	26,0	18,0	44,5	35,5	44,5	9,0	32,0	25,0	32,0	24,0	51,5	41,0	51,5	12,0	36,5	29,0	36,5				
7,0	14,0	39,0	32,0	39,0	7,0	28,0	22,0	28,0	21,0	48,0	39,0	48,0	10,5	34,0	27,5	34,0	28,0	56,0	45,0	56,0	14,0	39,0	32,0	39,0				
8,0	16,0	42,0	33,5	42,0	8,0	30,0	24,0	30,0	24,0	51,5	41,0	51,5	12,0	36,5	29,0	36,5	32,0	60,0	47,5	60,0	16,0	42,0	33,5	42,0				
9,0	18,0	44,5	35,5	44,5	9,0	32,0	25,0	32,0	27,0	54,5	44,0	54,5	13,5	38,5	31,0	38,5	36,0	63,0	50,5	63,0	18,0	44,5	35,5	44,5				
10,0	20,0	47,0	37,5	47,0	10,0	33,0	26,5	33,0	30,0	57,5	46,0	57,5	15,0	41,0	32,0	41,0	40,0	66,5	53,5	66,5	20,0	47,0	37,5	47,0				
12,0	24,0	51,5	40,0	51,5	12,0	36,5	29,0	36,5	36,0	63,0	50,5	63,0	18,0	44,5	35,5	44,5	48,0	73,0	58,5	73,0	24,0	51,5	40,0	51,5				
14,0	28,0	56,0	45,0	56,0	14,0	39,0	32,0	39,0	42,0	68,0	54,5	68,0	21,0	48,0	39,0	48,0	56,0	79,0	63,0	79,0	28,0	56,0	45,0	56,0				
28,0	56,0	79,0	63,0	79,0	28,0	56,0	45,0	56,0	84,0	96,0	79,0	96,0	42,0	68,0	54,5	68,0	112,0	110,0	94,0	110,0	56,0	79,0	63,0	79,0				

Рис. 72. Конструктивное построение нижней литниковой системы:

$r_1 = d_{с.в.}/2$; $r_2 = d_{с.н.}/2$; $r_3 = \delta_{п.}$; $r_4 =$
 $= (0,1-0,15) h_{к.}$; $d_1 = 2,5 d_{с.н.}$; $d_2 =$
 $= 3 d_{с.н.}$; $a = h_{к.}$; $b = 0,8 a$; $h_{ш.} = 2 h_{к.}$;
 $l_{ш.} = 3,5 h_{к.}$;
 1 — чаша; 2 — стояк; 3 — зумпф;
 4 — шлакоборник; 5 — коллектор;
 6 — питатель

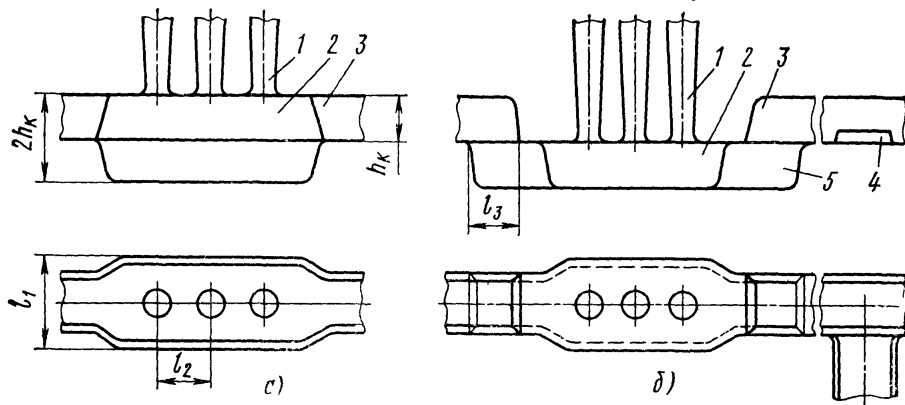
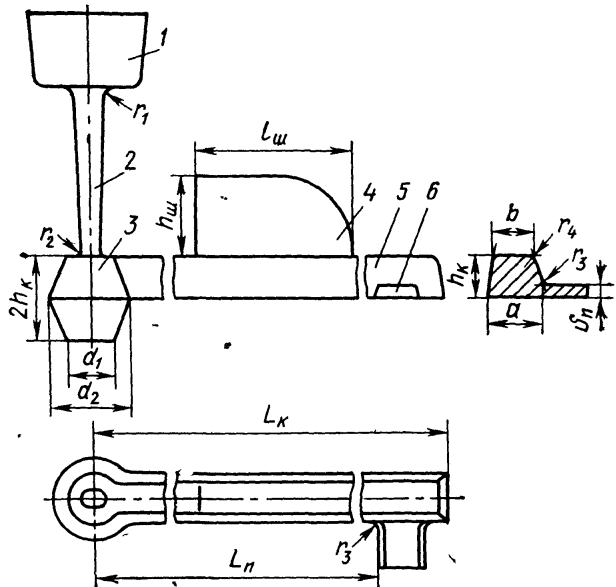


Рис. 73. Конструктивное построение зумпфа (а) и металлоприемника (б) при нескольких стояках:

$l_1 = (3,0-4,0) d_{с.н.}$; $l_2 = (2,5-3) d_{с.н.}$; $F_3 = (4-6) F_0$; $l_3 = (0,8-1,0) h_{к.}$;
 1 — стояк; 2 — зумпф; 3 — коллектор; 4 — питатель; 5 — металлоприемник

от ранее определенной их высоты $H_{ч}$ (см. п. 1) по табл. 16—18 (см. рис. 65) и воронок по табл. 15 (см. рис. 66).

3. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНО-ЩЕЛЕВОЙ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

Участок вертикально-щелевой литниковой системы (рис. 74), включающий литниковую чашу, стояк, коллектор, питатели (входные каналы в вертикальные щели), представляет собой нижнюю литниковую систему, расчет которой изложен выше.

Вертикально-щелевую часть системы (колодцы и щели) по отношению к соединенной с ней нижней литниковой системой

можно условно рассматривать как часть отливки. Поэтому сначала рассчитывают размеры и число элементов вертикально-щелевой части литниковой системы, а затем, включив эти элементы в очертания отливки, нижней литниковой системы.

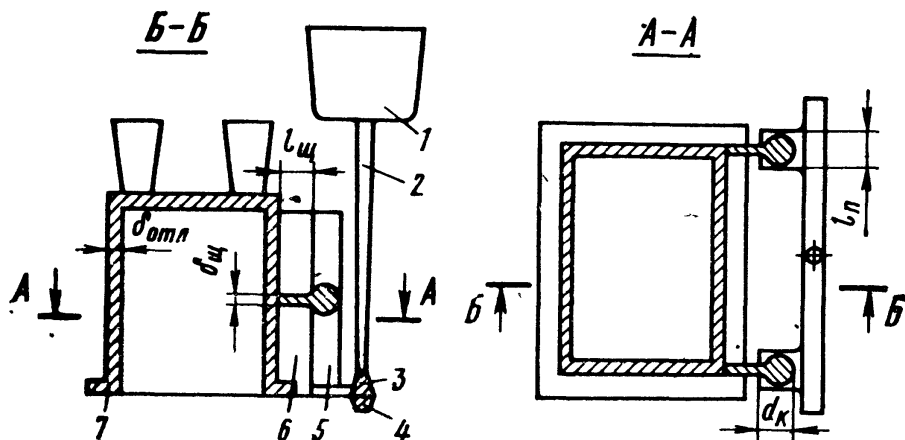


Рис. 74. Конструктивное построение вертикально-щелевой литниковой системы:

1 — чаша; 2 — стояк; 3 — коллектор; 4 — зумпф; 5 — вертикальный колодец; 6 — вертикальная щель; 7 — отливка

Таким образом, расчет вертикально-щелевой литниковой системы ведут в следующей последовательности.

1. Определяют суммарную толщину всех вертикальных щелей [45]

$$\Sigma \delta_{щ} = (0,008 - 0,012) P_{\phi}, \quad (52)$$

где P_{ϕ} — полный периметр сечения формы, определяемый по формуле (45).

Толщину одной щели вычисляют по выражению

$$\delta_{щ} \leq (0,7 \div 1,0) \delta_{отл}, \quad (53)$$

где $\delta_{отл}$ — преобладающая толщина стенки отливки в месте соединения ее с вертикальной щелью.

2. Находят число щелей, соответствующее числу вертикальных колодцев,

$$n = \frac{\Sigma \delta_{щ}}{\delta_{щ}}. \quad (54)$$

3. Вычисляют ширину (расстояние от отливки до колодца) вертикальной щели $l_{щ}$ и диаметр колодца $d_{к}$ по формуле

$$l_{щ} = d_{к} \geq 4\delta_{щ}. \quad (55)$$

4. Принимают ширину питателей $l_{п}$ из условия $l_{п} \geq d_{к}$.

5. Определяют суммарный периметр сечения формы ΣP_{ϕ} , включающий периметр рабочей полости формы P_{ϕ} , суммарные периметры колодцев $P_{к}$ и щелей $P_{щ}$ по формуле

$$\Sigma P_{\phi} = P_{\phi} + P_{к} + P_{щ}. \quad (56)$$

После определения этих данных рассчитывают максимально допустимый расход расплава по формуле (36), в которой величину $R_{\text{ф}}$ заменяют на $\Sigma R_{\text{ф}}$. Дальнейший ход расчета соответствует методике, изложенной для нижней литниковой системы.

4. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДРУГИХ ТИПОВ

Конструкция верхней (см. рис. 61, а) и боковой (см. рис. 61, в) литниковых систем отличается от конструкции нижней литниковой системы лишь местом подвода расплава к отливке. Поэтому последовательность определения исходных данных и порядок расчета верхней и боковой литниковых систем совпадают с уже изложенным порядком для нижней литниковой системы.

Особенности же расчета верхней и боковой литниковых систем следующие.

Верхняя литниковая система. Так как высота отливки над уровнем подвода расплава $h_{\text{отл}}=0$ и $h_{\text{с}}=h_{\text{пр}}$, то согласно формуле (44) $H_{\text{р}}=H_0$.

Поэтому при расчете заполняемости фактическую скорость подъема расплава в форме для всех групп отливок находят из выражения (46).

Боковая литниковая система. При определении высоты стояка и расчетного напора по формуле (44) в расчет берут высоту отливки $h_{\text{отл}}$ над уровнем подвода расплава в форме (см. рис. 67, б).

Расчет заполняемости формы ведут по наиболее опасному сечению формы, расположенному выше уровня подвода расплава, так как условия заполняемости верхней части отливки будут хуже, чем нижней.

Ярусная литниковая система. При расположении питателей в горизонтальной плоскости (см. рис. 61, д) каждый из ярусов представляет собой нижнюю систему для вышерасположенной части отливки. Поэтому ярусную систему с горизонтальными питателями рассчитывают по методике расчета нижней системы. Некоторые особенности этого расчета поясняются примером расчета, рассмотренным в гл. V.

В случае расположения питателей в вертикальной плоскости и отвода их от вертикального колодца (см. рис. 61, е) расчет ведут по методике, изложенной для вертикально-щелевой системы.

Глава IV

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЛИТЬЯ В КОКИЛЬ И ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ

Расчет литниковых систем и выбор их конструктивных размеров при литье в кокиль и оболочковые формы осуществляют по тем же методикам, исходя из тех же рекомендаций, которые приведены для литья в песчаные формы (см. гл. III). Однако при выборе типа литниковой системы, конструктивном построении и расчете ее размеров необходимо учитывать некоторые особенности рассматриваемых способов литья, связанные прежде всего с условиями охлаждения расплава в форме, газовой выделением и его отводом, а также размещением отливок и литниковой системы в форме.

Выбор конструкции литниковой системы, способа и мест подвода металла при литье в кокиль и оболочковые формы во многом определяются конфигурацией отливки и плоскостью разъема формы. В отличие от литья в песчаные формы, где преимущественно горизонтальный разъем, здесь разъем формы может быть горизонтальным, вертикальным или комбинированным (для кокиля).

Ограниченное число плоскостей разъема формы и стремление уменьшить ее размеры не всегда позволяют применить разветвленную литниковую систему и разместить шлакоулавливающие элементы, что затрудняет создание участков системы, успокаивающих поток расплава и задерживающих шлаковые включения. Поэтому особое внимание при литье в кокиль и оболочковые формы обращают на выбор конструкции литниковой чаши и технику заливки, которые должны обеспечить задержание шлака в чаше и создать условия спокойного ввода расплава в форму.

При литье в кокиль и оболочковые формы острые кромки каналов приводят к еще большему образованию завихрений, разрыву окисной пленки и замешиванию внутрь потока шлаков, чем при литье в песчаные формы. Учитывая это, все соединения литниковых каналов друг с другом, повороты, ответвления и т. п. выполняют плавными, а в необходимых местах предусматривают зумпфы.

1. КОНСТРУКЦИИ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЛИТЬЯ В КОКИЛЬ

При выборе положения отливки в форме необходимо исходить из основных технологических требований и конфигурации отливок. Для получения качественной отливки ее располагают обычно так, чтобы обеспечить направленную кристаллизацию снизу вверх, т. е. тонкие сечения должны располагаться в нижних частях кокиля, а толстые и более массивные — в верхних частях. При этом необходимо обеспечить легкость разъема кокиля и его отдельных частей, надежное извлечение отливки из кокиля без повреждений.

При выборе конструкции и размеров литниковой системы следует учитывать некоторые особенности литья в кокиль — быстрое падение температуры расплава и негазопроницаемость формы.

Для литья в кокиль с успехом применяют нижнюю, верхнюю (главным образом для мелких алюминиевых отливок), вертикально-щелевую и комбинированную литниковые системы [1, 32, 73, 39]. При литье мелких и средних отливок применяют много разновидностей указанных типов литниковых систем, которые часто имеют упрощенную конструкцию (рис. 75).

Практика заводов показывает, что хорошие результаты по качеству и экономичности производства мелких и средних отливок получают при заливке сверху с одновременной кантовкой кокиля (рис. 76). При такой заливке обеспечивается плавное и равномерное заполнение сплавом полости кокиля, как и при заливке снизу, и в то же время сохраняются преимущества заливки сверху, т. е. создается направленное распределение температуры по сечению отливки. Спокойное заполнение полости кокиля при этом способе достигается тем, что перед заливкой кокиль наклоняют (кантуют) литниковой воронкой вниз под углом $40\text{—}50^\circ$ и по мере заполнения его расплавом постепенно возвращают в горизонтальное положение.

При заливке с кантовкой можно чаще применять верхнюю литниковую систему, ликвидировать в литниковой системе устройства для улавливания шлаковых включений и, кроме того, сократить расход металла на прибыли. Упрощение верхней литниковой системы позволяет механизировать литейный процесс.

При заливке через нижнюю систему цилиндрических деталей расплав к отливке часто подводят через кольцевой питатель, отходящий также от кольцевого массивного коллектора (рис. 75, II, г). Такая форма питателя обеспечивает не только равномерное распределение расплава по периметру отливки, но и создает (за счет уменьшения гидравлического радиуса) наилучшие условия для его ламинарного поступления в полость формы.

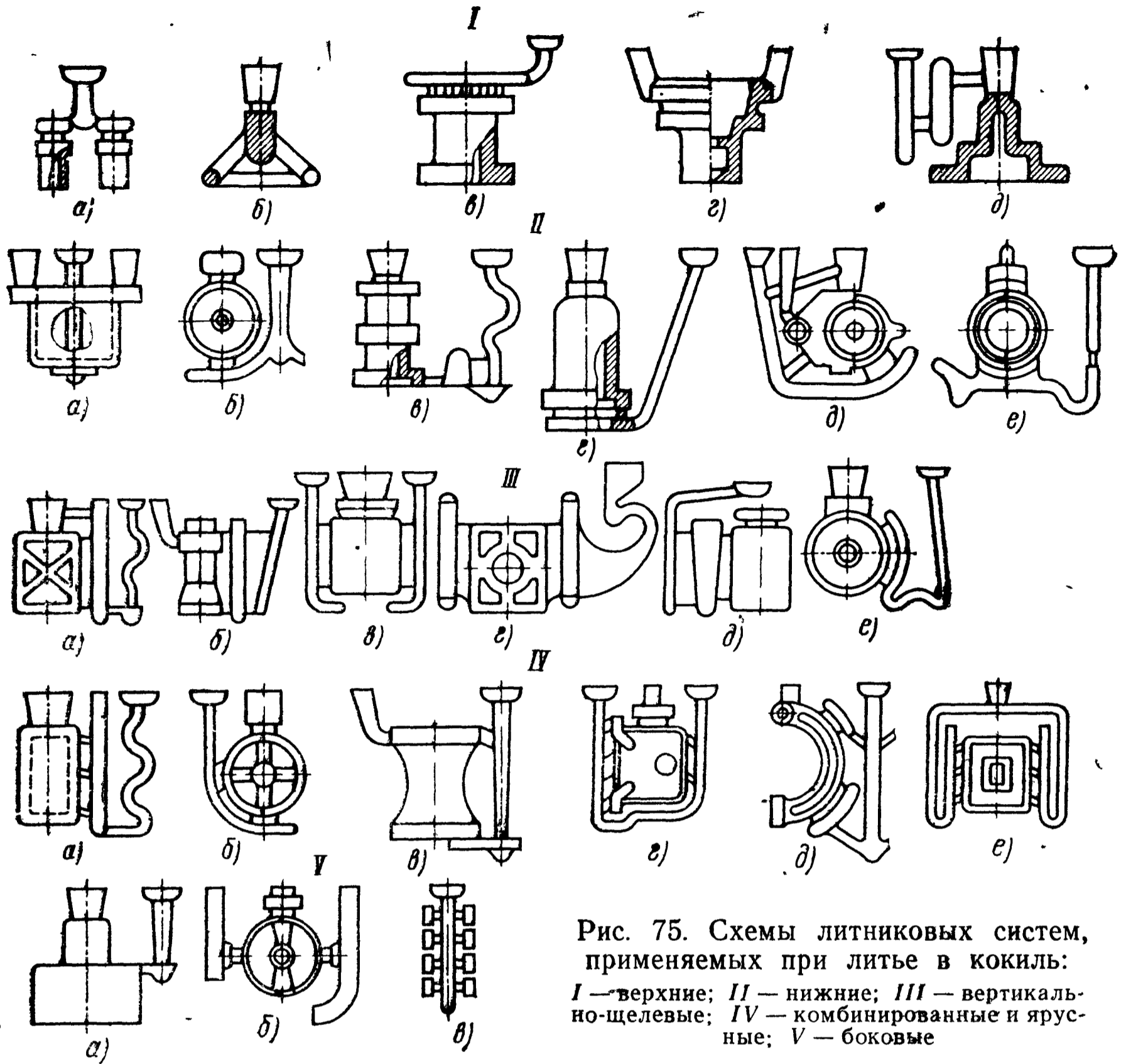


Рис. 75. Схемы литниковых систем, применяемых при литье в кокиль:
 I — верхние; II — нижние; III — вертикально-щелевые; IV — комбинированные и ярусные; V — боковые

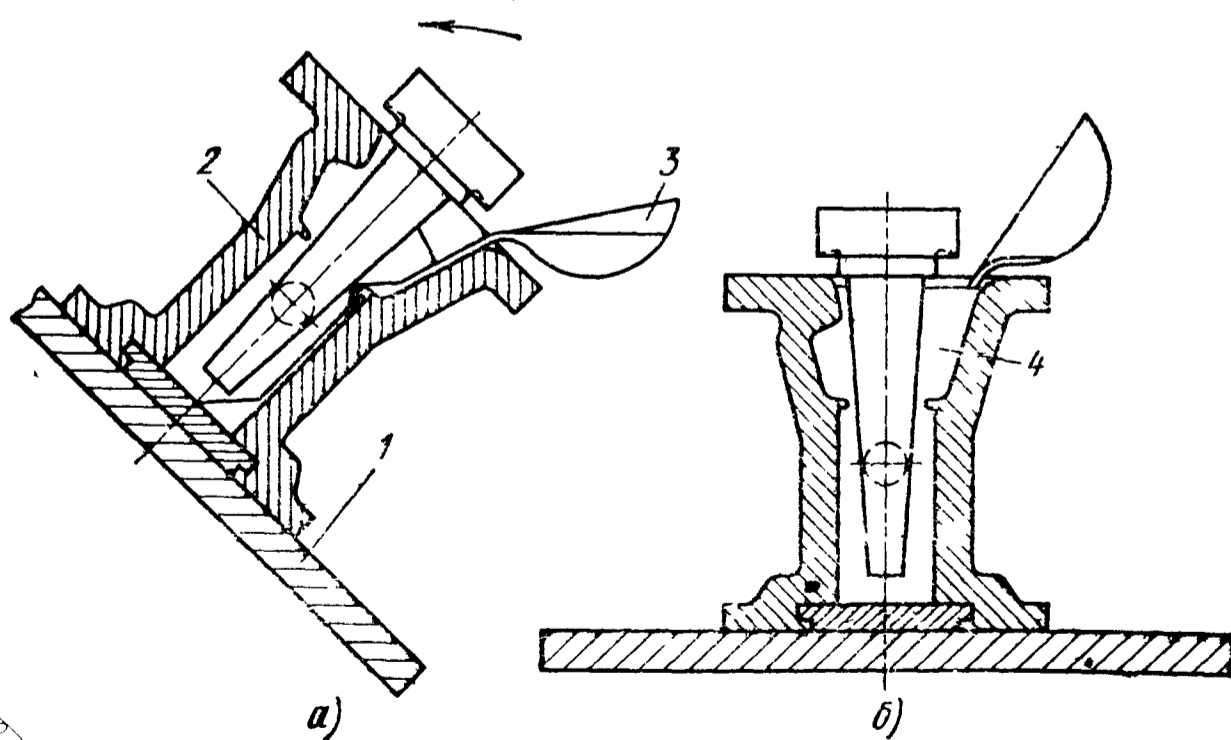


Рис. 76. Схема заливки сверху (через прибыль) с кантовкой кокиля (направление поворота указано стрелкой):
 а — начало заливки; б — окончание заливки; 1 — поворотная плита кокиля; 2 — кокиль; 3 — заливочный ковш; 4 — жидкий металл

Широко применяют при литье в кокиль стояки специальных конструкций: наклонные с круглым, овальным или многогранным сечением (см. рис. 4), змееобразные и изогнутые, получившие название «гусиной шейки» (см. рис. 75, III, а, г, е). Такие стояки способствуют снижению скоростей движения сплава и созданию потоков с незначительной турбулентностью, что исключает захват воздуха, образование шлаков и пены в самой литниковой системе и обеспечивает спокойное, без разбрызгивания сплава, заполнение рабочей полости формы.

Например, применение наклонных под углом 30—50° стояков в вертикально-щелевых литниковых системах (см. рис. 75, III, б) обеспечивает условия заполнения формы, близкие к наблюдаемым при заливке с кантовкой.

Вертикально-щелевые литниковые системы широко применяют при литье поршней, цилиндрических деталей типа втулок, обечаек и т. п. (рис. 75, III, б, г). При заливке небольших деталей сплав вводят в фасонную полость отливки непосредственно через щелевой питатель, отходящий от стояка (см. рис. 75, III, в). При заливке же крупных деталей обязательным элементом вертикально-щелевой системы является вертикальный колодец, который иногда выполняет также роль коллектора (см. рис. 75, III, а, д).

Для получения отливок с развитой поверхностью и с относительно большой высотой ($h_{отл}/\delta_{отл} > 50$) широко применяют ярусные системы, обеспечивающие не только хорошую заполняемость формы, но и питание отливки благодаря подаче горячего расплава в ее верхнюю часть или в прибыль (см. рис. 75, IV, а, в).

Упрощение в конструкциях литниковых систем вынуждает при литье в кокиль чаще, чем при литье в песчаные формы, применять фильтровальные сетки, гасящие динамический напор металла и улавливающие неметаллические включения (см. рис. 70).

Вертикальный разъем кокиля позволяет при подводе расплава снизу устанавливать сетки в самой нижней части системы (см. рис. 77), что благоприятно сказывается на задержании шлаковых включений и спокойном вводе расплава в полость формы [36].

На рис. 78 показана схема заливки через литниковую систему упрощенной конструкции с применением специального устройства, снабженного мешочным фильтром (В. И. Фундатор и др., авторское свидетельство № 347113, 1972 г.). Заливочную трубку, на конце которой жестко закреплен фильтр, опускают по возможности до дна формы и удерживают в таком положении. По мере наполнения формы расплавом трубку поднимают, при этом горячий расплав подается в верхнюю часть отливки, а окислы и шлаки остаются в фильтре. В зависимости от конфигурации отливки заливочную трубку с фильтром вводят непо-

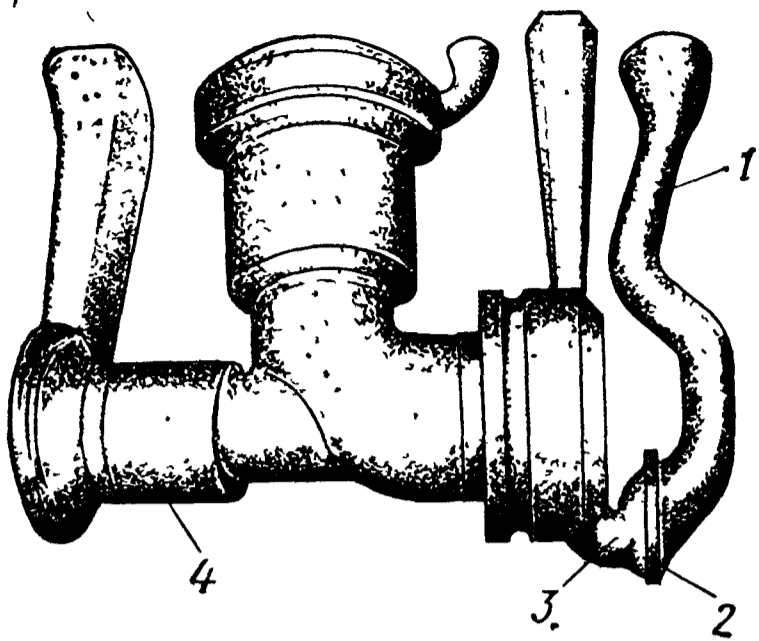


Рис. 77. Отливка с литниковой системой, снабженной фильтровальной сеткой, установленной в нижней части стояка

1 — стояк; 2 — сетка; 3 — питатель, 4 — отливка

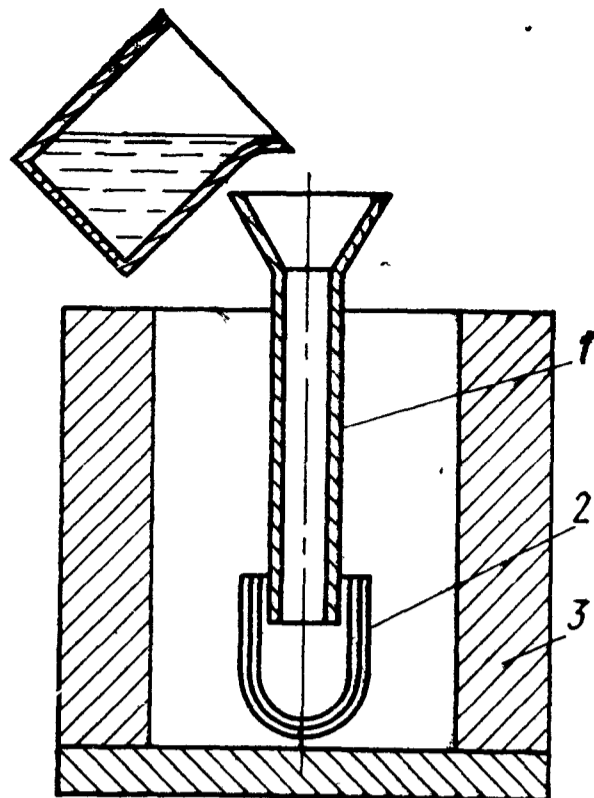


Рис. 78. Схема заливки кокиля через заливочную трубку, снабженную мешочным фильтром:

1 — заливочная трубка; 2 — мешочный фильтр; 3 — кокиль

средственно через открытую часть формы, как это показано на рис. 78, а также опускают в форму через отверстие прибыли, вертикального колодца или стояка.

Помимо заливки с кантовкой при литье в кокиль создаются и другие благоприятные возможности регулирования в процессе заливки скорости потока и расхода расплава в литниковой системе и полости формы.

На рис. 79 представлена схема литниковой системы, в стояке которой установлен конический стопор с приводом (И. А. Релин, Н. М. Галдин, авторское свидетельство № 328981, 1972 г.). В начальный момент заливки стопор опускают вниз и создают небольшой расход расплава, а по мере заполнения формы стопор поднимают и тем самым увеличивают расход расплава, что способствует ламинарности потока и заполняемости формы.

При заливке высоких отливок существенное значение имеет гашение скорости потока в стояке, предотвращающее вспенивание расплава в районе его зумпфа и на входе в коллектор. Эту задачу решают (рис. 80), устанавливая в стояке поршень с приводом (Н. М. Галдин, авторское свидетельство № 346016, 1972 г.). Перед началом заливки поршень поднимают в верхнее положение, при котором он запирает вход в стояк, тогда заполнение стояка происходит по мере опускания поршня, т. е. со скоростью движения поршня, которую можно регулировать в широких пределах.

Гашение скорости потока в стояке достигают также, применяя подвижный в вертикальной плоскости стояк, выполненный

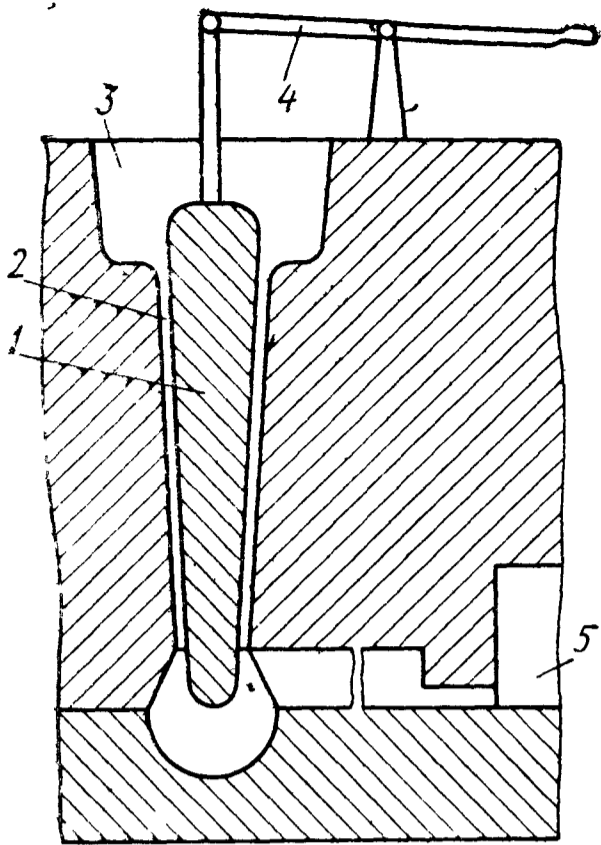


Рис. 79. Схема литниковой системы с коническим стопором в стояке:

1 — стопор; 2 — стояк; 3 — чаша; 4 — привод стопора; 5 — полость формы

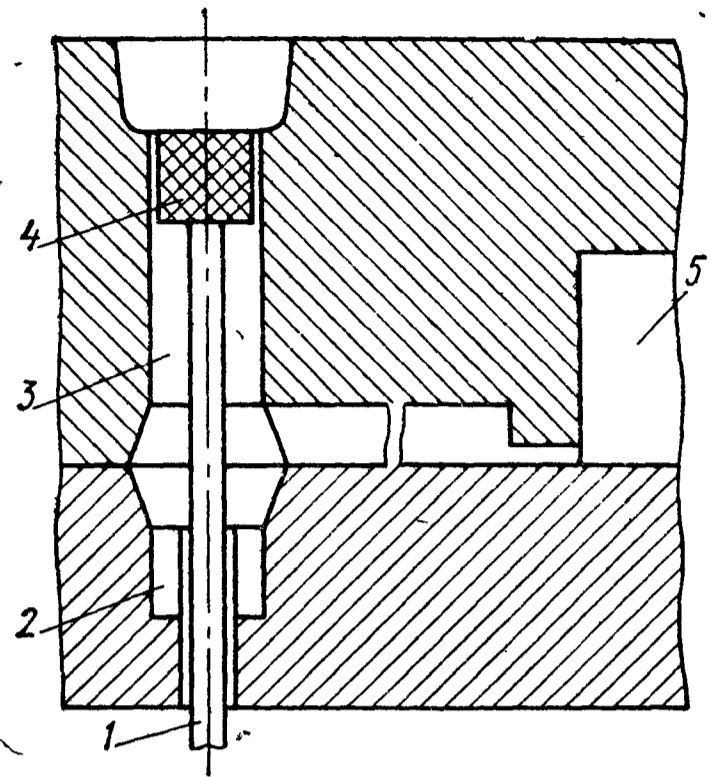


Рис. 80. Литниковая система с поршнем в стояке:

1 — шток поршня; 2 — полость для поршня в его нижнем положении; 3 — стояк; 4 — поршень; 5 — полость формы

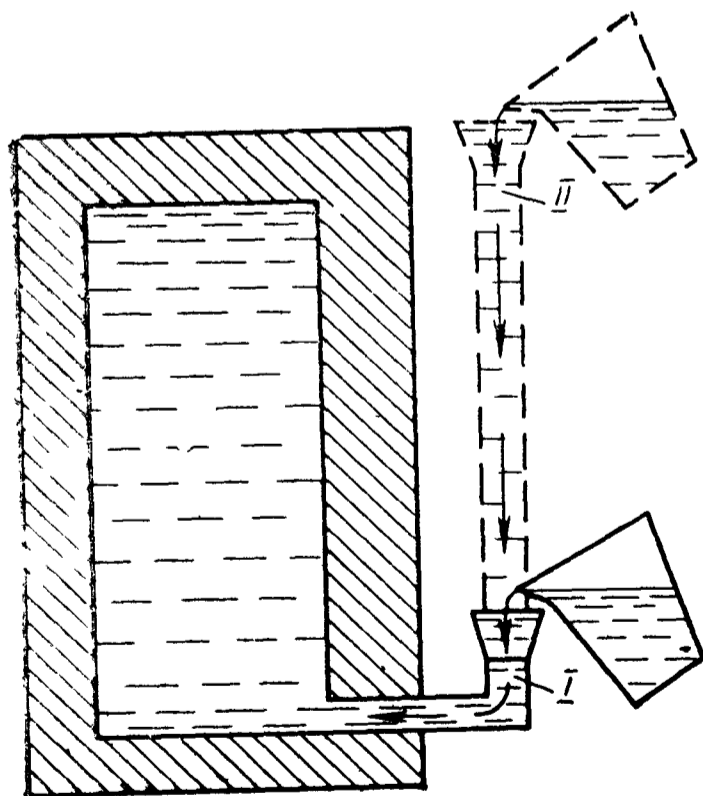


Рис. 81. Гофрированный стояк:
I — в начале заливки; II — в конце заливки

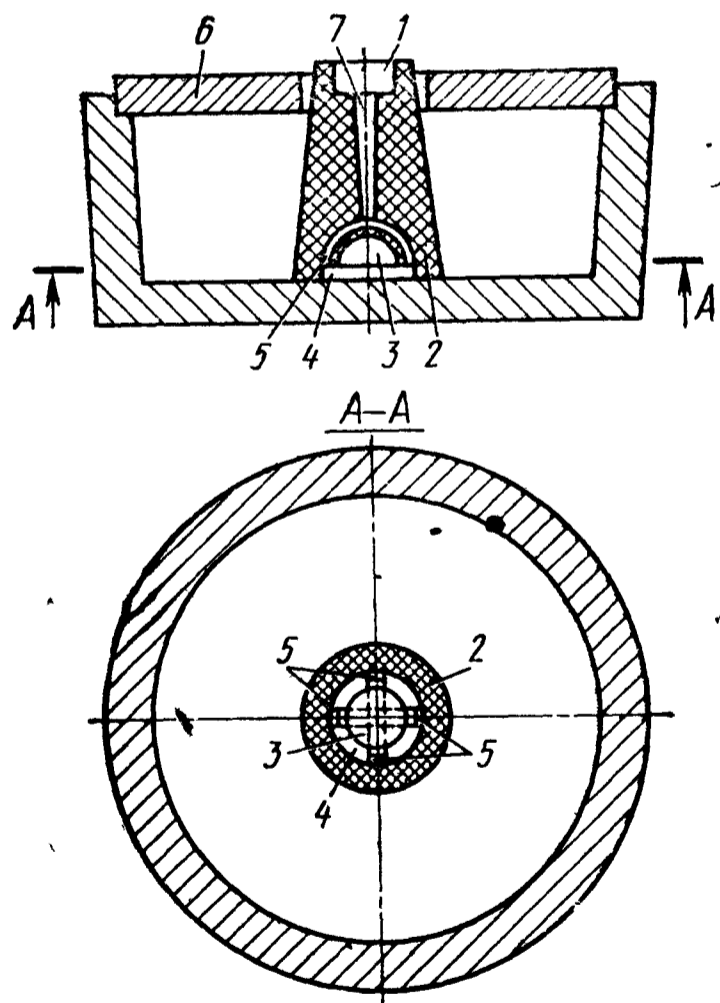


Рис. 82. Литниковая система, выполненная во всплывающем стержне:

1 — чаша; 2 — стержень; 3 — шлакоборник; 4 — круглый питатель; 5 — дугообразный канал; 6 — кокиль; 7 — стояк

из стеклоткани (В. И. Фундатор, И. С. Эдельсон, авторское свидетельство № 349471, 1972). Занимая нижнее положение в начале заливки и обеспечивая малый напор, гофр в процессе заливки перемещается кверху вместе с заливочным ковшом до предельной высоты стояка (рис. 81).

Заполнение форм крупных массивных отливок простой конфигурации (плит, дисков) производят через литниковую систему, выполненную в самовсплывающем стержне (Н. М. Галдин, авторское свидетельство № 465260, 1975). Такая литниковая система (рис. 82) обеспечивает плавность заполнения формы с одновременной подачей горячего расплава в верхнюю часть отливки, что упрощает процесс и сокращает расход сплава на прибыли. Шлакоборник 3 системы, установленный над круглым питателем 4, надежно задерживает поднимающиеся кверху шлаки.

Более быстрое, чем при литье в песчаные формы, охлаждение расплава вынуждает чаще, особенно при нижней литниковой системе, при литье в кокиль прибегать к приемам, способствующим условиям направленной кристаллизации и подпитыванию отдельных массивных частей отливки. В частности, широко используют, если позволяют размеры кокиля, подвод расплава через отводные прибыли (питающие бобышки), устанавливаемые над питателями (см. рис. 75, II, в).

Хорошие результаты при заливке отливок с массивными узлами, расположенными в нижней части формы, получают, применяя реверсивную, т. е. с поворотом на 180°, заливку. Специально разработанное устройство для запираания литниковой системы с использованием эффекта вакуума (отсоса) позволяет ускорить перекрытие заливочной воронки и поворот формы, что повышает эффективность данного процесса (Н. М. Галдин, И. А. Релин, авторское свидетельство № 393025, 1973).

2. КОНСТРУКЦИЯ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЛИТЬЯ В ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ

Некоторые особенности литниковых систем и заливки при литье в оболочковые формы связаны с выбором плоскости разъема формы [2].

При вертикальном разъеме формы упрощается ее сборка и заливка, так как не требуется наращивание стояка и прибылей, создается возможность механизированной засыпки формы опорным материалом, использования тонких оболочек, сокращения производственных площадей под заливку. Однако в этом случае труднее обеспечить питание внутренних утолщенных мест отливки и удаление воздуха из глубоких полостей, что может вызывать появление дефектов усадочного или газового характера. Поэтому вертикальную заливку преимущественно применяют для тонкостенных отливок, а также отливок с равномерны-

ми толщинами стенок, отливаемых из сплавов, обладающих малой усадкой.

При горизонтальной заливке легче предусмотреть рассредоточенный подвод расплава к отливке и предотвратить местные перегревы формы. Поэтому горизонтальную заливку широко используют для сложных деталей ответственного назначения, отливаемых из сплавов, имеющих большую усадку, в том числе магниевых.

Существенные недостатки горизонтальной заливки: необходимость применения более толстых оболочек, нагружения формы перед заливкой, а также трудности в механизации сборки и увеличение площади заливочного участка.

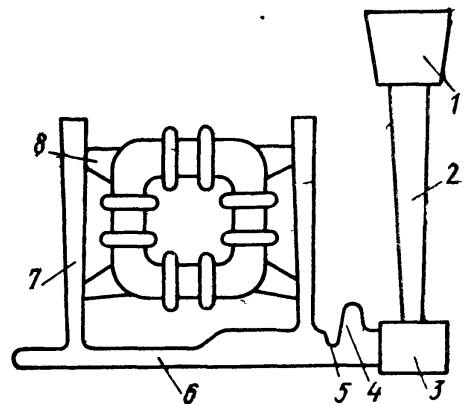
При литье в оболочковые формы, так же как и при литье в кокиль, применяют верхнюю, нижнюю, с боковым подводом, вертикально-щелевую и ярусную с вертикальными питателями системы.

Верхняя литниковая система предназначена в основном для мелких отливок при вертикальной плоскости разъема формы: она обеспечивает направленную кристаллизацию сплава. В тех случаях, когда в одной форме располагают несколько мелких отливок, применяют упрощенную литниковую систему с боковым подводом расплава (см. рис. 75, V, в). Для устранения дефектов усадочного характера широко практикуется подвод расплава через отводные (боковые прибыли).

При литье в оболочковые формы не всегда удается разместить длинный коллектор, поэтому, если требуется подводить металл в нескольких местах, заливку производят через два самостоятельных стояка.

Рис. 83. Схема литниковой системы с дросселем для заливки нескольких коленчатых патрубков:

1 — чаша; 2 — стояк; 3 — зумпф; 4 — шлакосборник; 5 — дроссель; 6 — горизонтальный коллектор; 7 — вертикальный коллектор; 8 — питатели



Для снижения динамического напора металла и турбулентности потока (неразветвленные системы) применяют дроссели. На практике распространены литниковые системы с двумя сужениями. Первое дросселирование (сужение) происходит в нижней части конического стояка, а второе — в коллекторе, недалеко от зумпфа стояка. Схема дроссельной литниковой системы приведена на рис. 83 [2].

3. РАСЧЕТ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Как уже отмечалось, расчет литниковых систем для литья в кокиль и оболочковые формы ведут по той же методике, что и для литья в песчаные формы (см. гл. III). Поэтому здесь рассмотрим только некоторые особенности расчета отдельных гидродинамических параметров процесса заполнения форм.

При заливке крупных отливок, отличающихся сложностью конфигурации, расчет расхода расплава целесообразно проводить по формуле (36).

При заливке мелких и средних отливок, а также плоскостных отливок простой конфигурации, заполняемость которых трудно обеспечивается, расход рассчитывают по формуле (40) или (41).

Гидравлические сопротивления литниковой системы при литье в кокиль и оболочковые формы незначительно отличаются от аналогичных сопротивлений при литье в песчаные формы. Поэтому для расчета скоростей потока в литниковых каналах используют экспериментальные значения коэффициента расхода (см. гл. I, п. 3), полученные для литья в песчаные формы. В частности, скорость потока в стояке для типовых конструкций литниковых систем (см. рис. 68), а также систем незначительно отличающихся от типовых, определяют по номограмме (см. рис. 69).

Кроме приведенных на рис. 68 типовых конструкций литниковых систем в литейной практике (особенно при заливке мелких и средних отливок в кокиль) применяют много других более простых по конструкции литниковых систем (см. рис. 75). Очень часто основными элементами, создающими гидравлические со-

Таблица 26

Коэффициент расхода горизонтальных литниковых систем

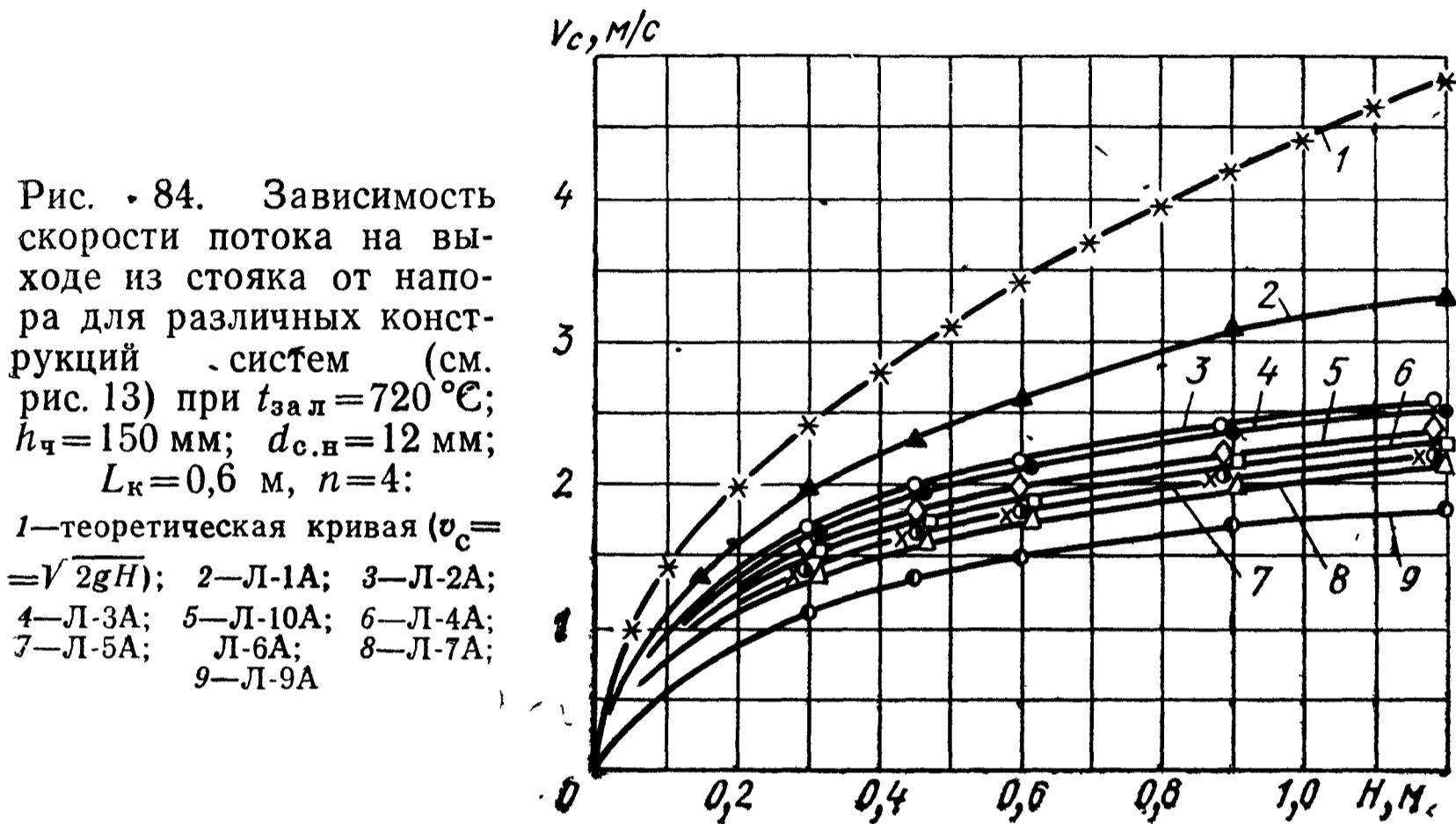
Конструкция литниковой системы (см. рис. 13)	Напор 300 мм в системах типа		Напор 450 мм в системах типа			
	A	B	A		B	
	Диаметр стояка, мм					
	12	12	12	20	12	20
Л-1	0,80	—	0,79	0,80	—	—
Л-2	0,73	0,69	0,69	0,70	0,66	0,68
Л-3	0,71	0,68	0,67	0,69	0,64	0,66
Л-4	0,64	0,60	0,60	0,62	0,57	0,59
Л-5	0,62	0,59	0,58	0,60	0,56	0,57
Л-6	0,62	0,59	0,59	0,60	0,56	0,58
Л-7	0,59	0,56	0,56	0,58	0,54	0,55

Примечание. Значения коэффициента расхода получены при $t_{\text{зал}} = 720^\circ\text{C}$, $h_{\text{ч}} = 150$ мм; $L_{\text{к}} = 600$ мм; $F_{\text{с}}:F_{\text{к}} = 1:2$.

противления в этих системах, являются (см. рис. 13) чаша (воронка) и стояк (система Л-1); чаша, стояк, зумпф и поворот в коллектор (системы Л-2, Л-3), чаша, стояк, зумпф, прямой или изогнутый коллектор (системы Л-4, Л-5, Л-6 и Л-7). Такие системы можно использовать как самостоятельные, так и в качестве начальных участков более сложных конструкций.

Значения коэффициента расхода, наиболее употребительные при мелком и среднем кокильном литье, даны в табл. 26.

Для облегчения расчета скоростей для нетиповых систем на основе экспериментальных значений μ построен график (рис. 84).



В выбранные по данному графику, а также табл. 26 величины скоростей при необходимости вносят коррективы на основе полученных ранее (см. гл. I, п. 3) зависимостей коэффициента расхода, учитывающих конкретные условия литья (т. е. $t_{зал}$, H_0 , $d_{с.н}$ и др).

Значение коэффициента расхода μ для мелких отливок при заливке в кокиль через вертикальные системы (питатели и коллектор расположены в вертикальной плоскости разъема) можно принять по данным В. П. Мальцева: для ярусной с вертикальными питателями (см. рис. 75, IV, а, г, е, ж) $\mu = 0,7 \div 0,8$; для вертикально-щелевой (см. рис. 75, III), нижней (см. рис. 75, II, б, е) $\mu = 0,65 \div 0,76$; комбинированной (см. рис. 75, IV, б, в, д) $\mu = 0,56 \div 0,67$ (нижнее значение μ принимают при $t_{зал} = 680^\circ\text{C}$, верхнее — при $t_{зал} = 800^\circ\text{C}$).

Глава V

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

1. РАСЧЕТ НИЖНЕЙ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

Данные чертежа отливки: крышка, литье в песчаную форму, материал отливки — сплав АЛ2; преобладающая толщина стенки 6 мм, габаритные размеры $530 \times 500 \times 80$ мм, чистая масса отливки 10,5 кг, масса отливки с прибылями и литниковой системой 17,5 кг. Отливка испытывается на герметичность.

Определение исходных данных

1. Выбираем положение отливки в форме (рис. 85), разъем формы, высоту прибылей и тип литниковой системы в соответствии с рекомендациями (см. гл. II, п. 5—6). Принимаем температуру заливки сплава 760°C .

2. Определяем группу и подгруппу сложности отливки согласно классификации, приведенной в табл. 21.

Так как отливка заливается при переменном напоре ($h_{\text{отл}}$ соизмерима с H_0) и конфигурация ее является сложной, то относим отливку к группе II по способу заливки и к подгруппе 16 по сложности конфигурации.

3. По рис. 68 выбираем типовую конструкцию литниковой системы Л-2В и определяем для нее длину одной ветви коллектора $L_{\text{к}}=725$ мм, число питателей $n=6$, расположение стояков на коллекторе.

4. Исходя из массы и высоты отливки задаемся ориентировочно по табл. 19 соотношением $F_{\text{с}}:F_{\text{к}}:F_{\text{п}}=1:3:4$ и по табл. 20 диаметром стояка $d_{\text{с.н}}=12$ мм.

5. Определяем высоту стояка

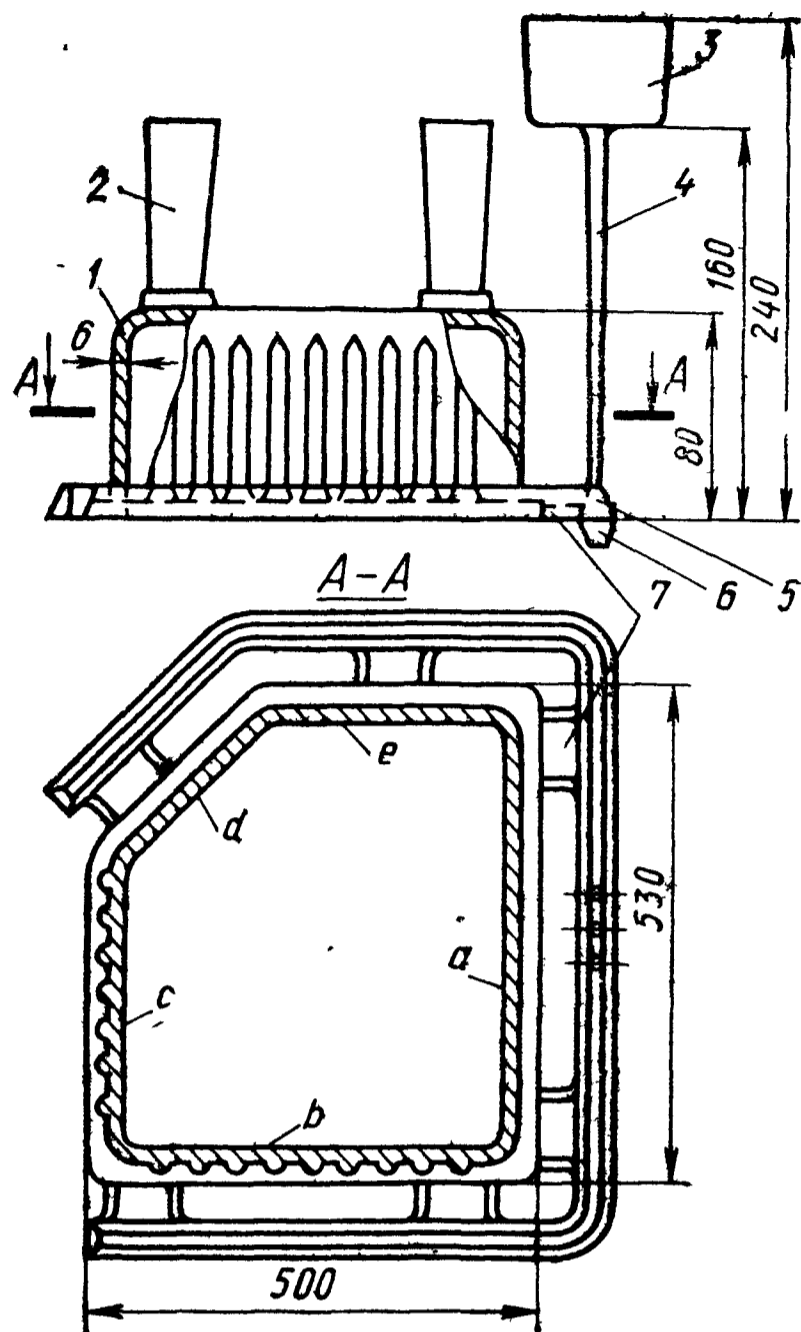
$$h_{\text{с}} = h_{\text{отл}} + h_{\text{пр}} = 8 + 8 = 16 \text{ см.}$$

6. Исходя из зависимости между высотами стояка и чаши, приведенной на стр. 113 для $h_{\text{с}}=160$ мм принимаем высоту чаши $H_{\text{ч}}=100$ мм.

Высоту уровня металла в чаше принимаем равной $h_{\text{ч}}=80$ мм (см. гл. II, п. 7).

Рис. 85. Схема устройства нижней литниковой системы для отливки крышки:

1 — отливка; 2 — прибыль; 3 — чаша; 4 — стояк; 5 — коллектор; 6 — зумпф; 7 — питатель



7. Вычисляем первоначальный гидростатический напор по формуле (43):

$$H_0 = h_{\text{ч}} + h_{\text{с}} = \\ = 8 + 16 = 24 \text{ см,}$$

и средний расчетный напор по формуле (44):

$$H_p = H_0 - \frac{h_0}{2} = \\ = 24 - \frac{8}{2} = 20 \text{ см.}$$

8. По чертежу отливки находим площадь сечения (A—A, рис. 85), на уровне подвода расплава:

$$F_{\phi} = 50 \cdot 0,6 \cdot 2 + 47 \cdot 0,6 \cdot 2 = 116 \text{ см}^2.$$

По формуле (45) вычисляем периметр этого сечения

$$P_{\phi} = a + a' + b + b' + c + c' + d + d' + e + e' = \\ = 50 + 46 + 48 + 44 + 43 + 40 + 34 + 30 + 15 + 12 = 360 \text{ см.}$$

Определение максимально допустимого расхода

9. Отливка по конфигурации относится к категории сложных, поэтому расход определяем по формуле (36):

$$Q_{\phi} = 1,6P_{\phi} = 1,6 \cdot 360 = 576 \text{ см}^3/\text{с.}$$

Контрольный расчет на заполняемость

10. Опасными по заполняемости будут: а) вертикальные стенки (сечение A—A, рис. 85) и б) доньшко крышки. Поэтому контрольному расчету подвергаем обе стенки:

а) Определяем среднюю скорость подъема расплава в форме по формуле (47):

$$v_{\phi} = \frac{Q_{\phi} \sqrt{H_p}}{F_{\phi} \sqrt{H_0}} = \frac{575 \sqrt{20}}{116 \sqrt{24}} \approx 4,5 \text{ см/с.}$$

По табл. 7 для $\delta_{\text{отл}}=6$ мм и $h_{\text{отл}}=80$ мм находим $v_{\phi \text{ min}}=1,8$ см/с.

б) Определяем скорость течения сплава вдоль доньшка крышки (47):

$$v_{\phi} = \frac{575 \sqrt{16}}{30 \sqrt{24}} \approx 13,2 \text{ см/с.}$$

Здесь в расчет взят фактический напор на уровне доньшка ($H_p = H_0 - h_{\text{отл}}$), а площадь сечения доньшка принята равной $F_{\phi} = 50 \cdot 0,6 = 30 \text{ см}^2$.

По графику (см. рис. 35) для $Z/R_{\text{отл}}=84$ ($Z=25$; $R_{\text{отл}}=0,3$ см) и $t_{\text{зал}}=720^{\circ}\text{C}$ (с учетом потери теплоты сплавом на пути до доньшка) находим $v_{\phi \text{ min}}=10$ см/с.

Поскольку в обоих случаях (а, б) $v_{\phi} > v_{\phi \text{ min}}$, заполняемость формы будет обеспечена.

Определение расчетной скорости движения расплава в стояке

11. По номограмме (см. рис. 69) для литниковой системы типа Л-2В при $d_{\text{с.н}}=0,012$ м, $H_0=0,24$ м, $L_k=0,725$ м, $n=6$, $F_c : F_n : F_p = 1 : 3 : 4$ и $t_{\text{зал}}=760^{\circ}\text{C}$ находим расчетную скорость движения расплава в стояке: $v_c=1,64$ м/с. Такая скорость меньше максимально допустимой величины для стояка диаметром 12 мм (см. табл. 24).

Расчет стояков

12. Определяем суммарную площадь сечения стояков по формуле (32):

$$F_c = \frac{Q_{\phi}}{v_c} = \frac{575}{164} \approx 3,5 \text{ см}^2.$$

Принимаем три стояка диаметром по 12 мм и суммарной площадью $F_c=3,4 \text{ см}^2$.

Вычисляем диаметр стояка в верхнем сечении по формуле (48):

$$d_{c.в} = d_{c.н} + \frac{1,5h_c}{100} = 12 + \frac{1,5 \cdot 160}{100} \simeq 14,5 \text{ мм};$$

принимаем $d_{c.в} = 15$ мм.

Расчет коллектора

13. Исходя из ранее принятого соотношения $F_c : F_k : F_{\Pi}$ по табл. 25 для $F_c = 3,4$ (ближайшее значение $F_c = 3,5 \text{ см}^2$) находим суммарную площадь сечения коллектора, равную $F_k = 10,5 \text{ см}^2$ и его размеры (коллектор двусторонний): $a = 24$, $b = 19,5$ $h_k = 24$ мм.

14. Определяем фактическую скорость потока в коллекторе по формуле (49):

$$v_k = v_c \frac{F_c}{F_k} = 164 \cdot \frac{3,4}{10,5} \simeq 53 \text{ см/с}$$

и максимально допустимую ее величину по формуле (38):

$$v_{k \text{ max}} = \frac{42}{R_k} = \frac{42}{0,54} = 77,7 \text{ см/с.}$$

Так как $v_k < v_{k \text{ max}}$, то условие спокойного протекания расплава в коллекторе будет обеспечено.

Расчет питателей

15. Учитывая, что $F_{\Pi} = 4F_c$ (принимаем $F_{\Pi} = 4 \cdot 3,4 = 13,6 \text{ см}^2$) и ранее принятое число питателей $n = 6$ по формуле (50) находим площадь одного питателя

$$f_{\Pi} = \frac{F_{\Pi}}{n} = \frac{13,6}{6} = 2,26 \text{ см}^2.$$

Толщину питателей принимаем равной $\delta_{\Pi} = 5$ мм, что удовлетворяет условиям (25) и (16).

Находим ширину питателя

$$c = \frac{f_{\Pi}}{\delta_{\Pi}} = \frac{2,26}{0,5} = 4,5 \text{ см.}$$

16. Определяем фактическую скорость потока в питателях по формуле (51):

$$v_{\Pi} = v_c \frac{F_c}{F_{\Pi}} = 164 \frac{3,4}{13,6} = 41,0 \text{ см/с,}$$

и максимально допустимую ее величину по формуле (39):

$$v_{\Pi \text{ max}} = \frac{12}{R_{\Pi}} = \frac{12}{0,24} = 48,7 \text{ см/с.}$$

Так как $v_n < v_{n \max}$, то условие спокойного протекания расплава в питателях будет обеспечено.

17. Находим расстояние от стояка до первого питателя по формуле (21):

$$L_n = 0,147 h_k v_k = 0,147 \cdot 2,4 \cdot 53 = 18,7 \text{ см};$$

принимаем $L_n = 21$ см. Остальные питатели распределяем равномерно по периметру отливки.

Выбор конструкции литниковой чаши и определение конструктивных размеров литниковой системы

18. Исходя из расхода расплава по формуле (42) определяем объем чаши:

$$V_{\text{ч}} = 1,5 Q_{\text{ф}} = 1,5 \cdot 575 = 860 \text{ см}^3.$$

Учитывая относительно небольшие высоту стояка, металлоемкость формы и расход расплава (см. гл. I, п. 7), выбираем конструкцию литниковой чаши с порогом (см. рис. 66, а).

Для выбранной конструкции чаши, исходя из ее объема и ранее установленной высоты ($H_{\text{ч}} = 100$ мм), по табл. 16 выбираем чашу № 1 и находим ее основные исполнительные размеры.

19. Конструктивные размеры стояка, металлоприемника, коллектора и питателей определяем по рис. 72 и 73.

2. РАСЧЕТ ВЕРТИКАЛЬНО-ЩЕЛЕВОЙ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

Данные чертежа отливки: корпус, литье в песчаную форму, материал отливки — сплав АЛ9, преобладающая толщина стенки 14 мм, габаритные размеры $930 \times 470 \times 510$ мм, чистая масса 78 кг, масса отливки с прибылями и литниковой системой 125 кг. Отливка испытывается на герметичность.

Определение исходных данных для расчета

1. Выбираем положение отливки в форме (рис. 86), разъем формы, высоту прибылей и тип литниковой системы в соответствии с рекомендациями (см. гл. II, п. 5 и 6). Принимаем температуру заливки сплава равной 720°C .

2. Определяем группу и подгруппу сложности отливки, согласно классификации, приведенной в табл. 21.

Так как отливка заливается при переменном напоре ($h_{\text{отл}}$ соизмерима с H_0) и конфигурация ее является сложной, то относим отливку к группе II по способу заливки и к подгруппе 16 по сложности конфигурации.

3. По рис. 68 выбираем типовую конструкцию нижней литниковой системы Л-2Д и определяем для нее длину одной ветви коллектора $L_k = 1200$ мм, число питателей $n=4$, расположение стояков на коллекторе.

4. Исходя из массы и высоты отливки задаемся ориентировочно по табл. 19 соотношение $F_c : F_k : F_{\Pi} = 1 : 4 : 5$ и по табл. 20 диаметром стояка.

Учитывая большую высоту напора, выбираем стояк прямоугольного сечения ($a \times b = 20 \times 10$ мм), равный по площади стояку диаметром 16 мм.

5. Определяем высоту стояка

$$h_c = h_{отл} + h_{пр} = 51 + 15 = 66 \text{ см,}$$

6. Исходя из зависимости между высотами чаши и стояка, приведенной на стр. 113 для $h_c = 66$ см, принимаем высоту чаши $H_{ч} = 18$ см.

Высоту уровня расплава в чаше принимаем равной $h_{ч} = 16$ см (см. гл. II, п. 7).

7. Вычисляем:

первоначальный гидростатический напор по формуле (43)

$$H_0 = h_c + h_{ч} = 66 + 16 = 82 \text{ см;}$$

средний расчетный напор по формуле (44)

$$H_p = H_0 - \frac{h_{отл}}{2} = 82 - \frac{51}{2} \approx 57 \text{ см.}$$

8. По чертежу отливки находим:

периметр сечения формы на уровне подвода расплава (45)

$$P_{\phi} = 93 \cdot 2 + 85 \cdot 2 + 47 \cdot 2 + 39 \cdot 2 = 528 \text{ см;}$$

площадь наиболее опасного (по заполняемости) сечения формы (А—А, рис. 86)

$$F_{\phi} = 88 \cdot 2 \cdot 1,4 + 42 \cdot 2 \cdot 1,4 \approx 364 \text{ см}^2.$$

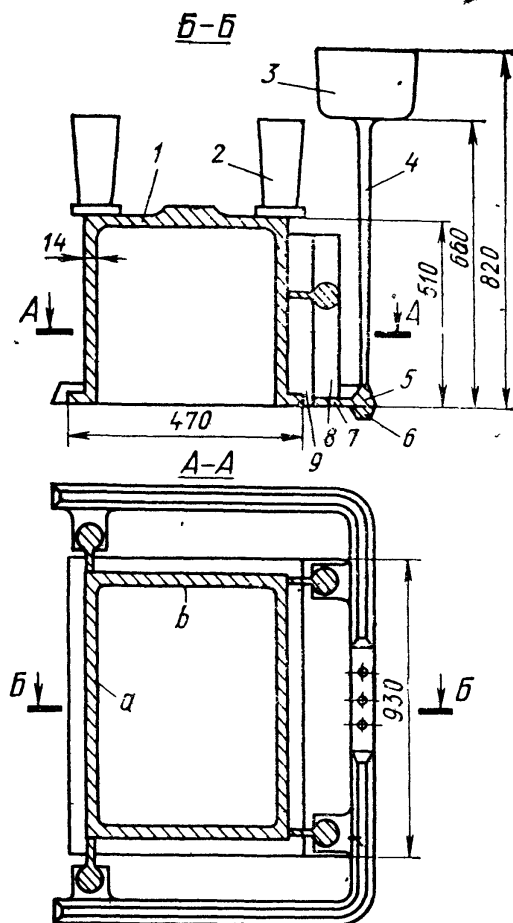


Рис. 86. Схема устройства вертикально-щелевой литниковой системы для отливки корпуса:

1 — отливка; 2 — прибыль; 3 — чаша; 4 — стояк; 5 — коллектор; 6 — металлоприемник; 7 — питатель; 8 — вертикальный колодец; 9 — вертикальная щель

9. Определяем:

суммарную толщину вертикальных щелей по формуле (52)

$$\Sigma \delta_{щ} = 0,01 \cdot 500 = 5 \text{ см};$$

толщину одной щели по формуле (53)

$$\delta_{щ} = 0,8 \delta_{отл} = 0,8 \cdot 14 \simeq 12 \text{ мм};$$

число щелей, равное числу колодцев и питателей, по формуле (54):

$$n = \frac{\Sigma \delta_{щ}}{\delta_{щ}} = \frac{5}{1,2} \simeq 4;$$

ширину щели и диаметр вертикального колодца из (55):

$$l_{щ} = d_k = 4 \cdot 12 \simeq 50 \text{ мм}.$$

10. Рассчитываем суммарный периметр сечения формы по (56):

$$\Sigma P_{ф} = P_{ф} + P_k + P_{щ} = 528 + 4 \cdot 16 + 4 \cdot 12,5 = 642 \text{ см}.$$

Определение максимально допустимого расхода

11. Отливка относится к сложным (подгруппа 16), поэтому расход определяем по формуле (36):

$$Q_{ф} = 1,6 \Sigma P_{ф} = 1,6 \cdot 642 \simeq 1030 \text{ см}^3/\text{с}.$$

Контрольный расчет на заполняемость

12. По способу заливки отливка относится к группе II, поэтому находим:

среднюю скорость подъем расплава в форме по формуле (47):

$$v_{ф} = \frac{Q_{ф} \sqrt{H_p}}{F_{ф} \sqrt{H_0}} = \frac{1030 \sqrt{57}}{364 \sqrt{82}} \simeq 2,35 \text{ см/с};$$

минимально допустимую скорость подъема расплава в форме для $\delta_{отл} = 14$ мм и $h_{отл} = 510$ мм по табл. 7 (берем среднее сечение для $\delta_{отл} = 12$ и 15 мм):

$$v_{ф \text{ min}} = 1,95 \text{ см/с}.$$

Так как $v_{ф} > v_{ф \text{ min}}$, то заполняемость формы будет обеспечена.

Определение расчетной скорости движения расплава в стояке

13. По номограмме (см. рис. 69) для литниковой системы Л-2D при $d_{с.н} = 0,016$ м, $H_0 = 0,8$ м, $L_k = 1,2$ м; $n = 4$, $F_c : F_k : F_n = 1 : 4 : 5$ и $t_{зал} = 720^\circ\text{C}$ находим $v_c = 2,02$ м/с.

По табл. 22 для $H_0 > 0,46$ м, $d_{с.н} = 16$ мм принимаем поправку к скорости для стояка прямоугольного сечения $k = 0,25$ и окончательно определяем расчетную скорость движения расплава в стояке:

$$v'_c = v_c - 0,25 = 2,02 - 0,25 = 1,77 \text{ м/с.}$$

Такая скорость для стояка сечением $a \times b = 20 \times 10$ мм является допустимой (см. табл. 24).

Расчет стояков

14. Определяем суммарную площадь сечения стояков из (32):

$$F_c = \frac{Q_\phi}{v_c} = \frac{1030}{1,77} \approx 5,82 \text{ см}^2.$$

Принимаем три стояка сечением $a \times b = 20 \times 10$ мм с общей площадью $F_c = 6 \text{ см}^2$.

15. Вычисляем площадь стояка в верхнем сечении по формуле (26):

$$f_{с.в} = f_{с.н} \frac{\mu_c}{\mu_ч} \sqrt{\frac{H}{h_ч}} = 2 \cdot \frac{0,6}{0,975} \sqrt{\frac{80}{14}} \approx 3,0 \text{ см}^2,$$

здесь $\mu_c = 0,6$ (см. табл. 26, система Л-2 плюс поправка на H по рис. 16) и $\mu_ч = 0,975$ (см. табл. 1).

Принимаем верхнее сечение стояков равным $a \times b = 25 \times 12$ мм.

Расчет коллектора

16. Исходя из ранее принятого соотношения $F_c : F_k : F_n$ по табл. 25 находим суммарную площадь сечения двустороннего коллектора $F_k = 24 \text{ см}^2$ и его размеры $a = 36,5$; $b = 29$; $h_k \neq 36,5$ мм.

Определяем фактическую скорость потока в коллекторе по формуле (49):

$$v_k = v_c = \frac{F_c}{F_k} = 177 \frac{6}{24} \approx 44 \text{ см/с,}$$

и максимально допустимую ее величину по формуле (38):

$$v_{k \text{ max}} = \frac{42}{R_k} = \frac{42}{0,85} \approx 49 \text{ см/с.}$$

Из сопоставления v_k и $v_{k \text{ max}}$ видно, что условие спокойного протекания расплава в коллекторе ($v_k < v_{k \text{ max}}$) соблюдено.

Расчет питателей

17. Учитывая, что $F_{\text{п}} = 5F_{\text{с}}$ и $n = 4$, находим площадь одного питателя (50):

$$f_{\text{п}} = \frac{F_{\text{п}}}{n} = \frac{30}{4} = 7,5 \text{ см}^2.$$

Толщину питателей принимаем равной $\delta_{\text{п}} = 7$ мм, что удовлетворяет условию (25).

Находим ширину питателя

$$c = \frac{f_{\text{п}}}{\delta_{\text{п}}} = \frac{750}{7} \simeq 107 \text{ мм.}$$

Определяем скорость потока в питателях по формуле (51):

$$v_{\text{п}} = v_{\text{с}} \frac{F_{\text{с}}}{F_{\text{п}}} = 177 \frac{6}{30} \simeq 37 \text{ см/с,}$$

и максимально допустимую ее величину по формуле (39):

$$v_{\text{п max}} = \frac{12}{R_{\text{п}}} = \frac{12}{0,33} \simeq 37 \text{ см/с.}$$

Сопоставляя найденные величины скоростей, видим, что условие $v_{\text{п}} < v_{\text{п max}}$ соблюдено.

18. Находим минимальное расстояние от стояка до первого питателя из (21):

$$L_{\text{п}} = 0,147 h_{\text{к}} v_{\text{к}} = 0,147 \cdot 3,65 \cdot 44 = 24 \text{ см.}$$

Принимаем $L_{\text{п}} = 36$ см. Остальные питатели распределяем равномерно по периметру отливки (см. рис. 86).

Выбор конструкции литниковой чаши и определение конструктивных размеров литниковой системы

19. Определяем объем чаши по формуле (42):

$$V_{\text{ч}} = 2Q_{\text{ф}} = 2,0 \cdot 1030 = 2060 \text{ см}^3.$$

Учитывая большие высоту стояка, металлоемкость формы и расход расплава (см. гл. I, п. 7), выбираем конструкцию литниковой чаши с порогом и перегородкой (см. рис. 66,б).

Для принятой конструкции чаши, исходя из ее объема и ранее установленной высоты ($H_{\text{ч}} = 18$ см) по табл. 17, выбираем чашу № 1 и находим ее основные исполнительные размеры.

20. Конструктивные размеры стояка, металлоприемника, коллектора и питателей определяем по рис. 72 и 73.

3. РАСЧЕТ ЯРУСНОЙ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

Данные чертежа отливки: корпус, литье в песчаную форму; материал отливки — сплав АЛ4; преобладающая толщина стен-

ки 5 мм, габаритные размеры $\varnothing 950 \times 700$ мм; чистая масса 83 кг; масса отливки с прибылями и литниковой системой 143 кг. Отливка испытывается на герметичность.

Определение исходных данных

1. Выбираем положение отливки в форме (см. рис. 87), размеры формы, место подвода питателей, высоту прибылей в соот-

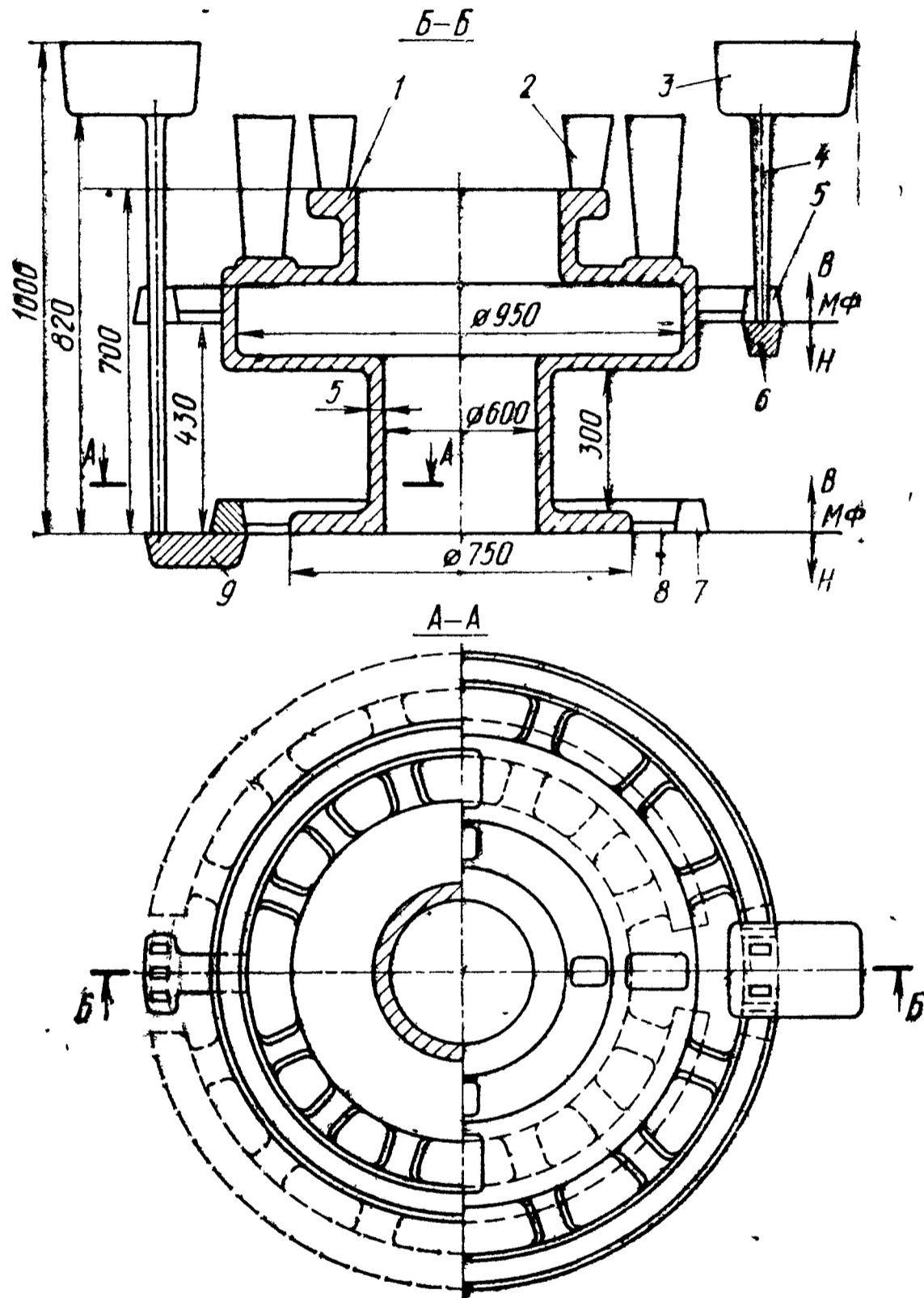


Рис. 87. Схема устройства ярусной литниковой системы для отливки корпуса:

1 — отливка; 2 — прибыль; 3 — чаша; 4 — стояк; 5 — коллектор верхнего яруса; 6 — металлоприемник верхнего яруса; 7 — коллектор нижнего яруса; 8 — питатель; 9 — металлоприемник нижнего яруса

ветствии с рекомендациями (см. гл. II, п. 5 и 6). Принимаем температуру заливки сплава равной 760°C .

2. Определяем группу и подгруппу сложности отливки согласно классификации, данной в табл. 21.

Так как отливка заливается при переменном напоре ($h_{отл}$ соизмерима с H_0) и конфигурация отливки является сложной, то относим отливку к группе II по способу заливки и к подгруппе 16 по сложности конфигурации.

3. По рис. 68 выбираем типовую конструкцию литниковой системы Л-1D и определяем для нее длину одной ветви коллектора ($L_k=1425$ мм для нижнего яруса и $L_k=1675$ мм для верхнего яруса), число питателей на каждом ярусе ($n=12$) и место расположения стояков.

4. Исходя из массы и высоты отливки задаемся ориентировочно по табл. 19 соотношением $F_c : F_k : F_n = 1 : 4 : 5$ и по табл. 20 диаметром стояка.

Учитывая величины напора, выбираем прямоугольные стояки сечением 16×7 для нижнего и 19×18 мм для верхнего яруса. Площадь сечения таких стояков равна площади сечения круглых стояков соответственно диаметром 12 и 14 мм.

5. Определяем высоту стояка:

для нижнего яруса

$$h_c = h_{отл} + h_{пр} = 70 + 12 = 82 \text{ см};$$

для верхнего яруса

$$h_c = 27 + 12 = 39 \text{ см}.$$

6. Исходя из зависимости между высотой чаши и стояка, приведенной на стр. 116, принимаем высоту чаш $H_ч=20$ см для заполнения нижнего яруса и $H_ч=14$ см для заполнения верхнего яруса. Высоту уровня расплава в чашах $h_ч$ соответственно принимаем равной 18 и 12 см.

7. Вычисляем первоначальный напор по формуле (43):

для нижнего яруса

$$H_0 = h_ч + h_c = 18 + 82 = 100 \text{ см};$$

и для верхнего яруса

$$H_0 = 12 + 39 = 51 \text{ см}.$$

8. По чертежу отливки находим: по формуле (45) периметр сечения формы на уровне подвода расплава

для нижнего яруса

$$P_\phi = 3,14 (75 + 60) \simeq 425 \text{ см};$$

для верхнего яруса

$$P_\phi = 3,14 (95 + 100) \simeq 615 \text{ см};$$

площадь наиболее опасных (по заполняемости) сечений формы.

Намечаем два таких сечения: первое расположено по диаметру отливки 600 мм на расстоянии 300 мм от нижнего яруса (здесь действует минимальный напор $H_p=100-30=70$ см); второе, наибольшее, расположено по диаметру 950 мм на расстоянии 500 мм от нижнего яруса, или на расстоянии 70 мм от

верхнего яруса. Действующие здесь напоры (от нижнего яруса $H_p = 100 - 50 = 50$ см и от верхнего $H_p = 51 - 7 = 44$ см) являются наименьшими для данной площади сечения отливки.

Площадь первого сечения $F_\phi = 3,14(30,5^2 - 30^2) \approx 96$ см² и второго $F_\phi = 3,14(48^2 - 47,5^2) = 150$ см².

Определение максимально допустимого расхода расплава

9. Отливка по своей конфигурации относится к категории сложных, поэтому расход расплава определяем по формуле (36):

для нижнего яруса

$$Q_\phi = 1,6P_\phi = 1,6 \cdot 425 = 680 \text{ см}^3/\text{с};$$

для верхнего яруса

$$Q_\phi = 1,6 \cdot 615 - 680 \frac{\sqrt{57}}{\sqrt{100}} \approx 470 \text{ см}^3/\text{с}.$$

Контрольный расчет на заполняемость

Отливка отличается развитой поверхностью и тонкими стенками, возможно образование неслитин. Во избежание этого начинаем заливку через верхний ярус в тот момент, когда уровень зеркала металла от нижнего яруса поднимется на высоту около 300 мм.

Благодаря этому заполнение части отливки с наиболее развитой поверхностью (сечение диаметром 950 мм) будет происходить при параллельной работе обоих ярусов литниковой системы, что увеличит среднюю скорость подъема металла в форме. В то же время такая последовательность ввода в работу верхнего яруса исключает каскадный сброс расплава в полости формы.

10. Определяем средние скорости подъема расплава в опасных сечениях по формуле (47):

в первом сечении

$$v_\phi = \frac{Q_\phi \sqrt{H_p}}{F_\phi \sqrt{H_0}} = \frac{680 \sqrt{70}}{96 \sqrt{100}} \approx 5,9 \text{ см/с};$$

во втором сечении

$$v_\phi = \frac{\sqrt{50} 680}{150 \sqrt{100}} + \frac{\sqrt{44} 470}{150 \sqrt{57}} \approx 6,0 \text{ см/с}.$$

По табл. 7 для $\delta_{отл} = 5$ мм и $h_{отл} = 350$ мм (максимальная расчетная высота) находим $v_{\phi \text{ min}} = 4,17$ см/с.

Так как в обоих случаях $v_\phi > v_{\phi \text{ min}}$, то заполняемость будет обеспечена.

Определение расчетной скорости движения расплава в стояке

11. По номограмме (см. рис. 69) для литниковой системы типа Л-1D находим:

для нижнего яруса при $d_{с.н}=0,012$ м; $H_0=1,0$ м; $L_k=1,425$; $n=6$, $F_c:F_k:F_n=1:4:5$ и $t_{зал}=760^\circ\text{C}$ $v_c=2,30$ м/с;

для верхнего яруса при $d_{с.н}=0,014$ м; $H_0=0,55$ м; $L_k=1,675$ м; $n=6$; $F_c:F_k:F_n=1:4:5$ и $t_{зал}=760^\circ\text{C}$ $v_c=1,90$ м/с.

По табл. 22 при $H_0>46$ м принимаем поправку к скорости для $d_{с.н}=12$ мм $k=0,35$ м/с и для $d_{с.н}=14$ мм $k=0,30$ м/с.

Окончательно определяем расчетную скорость в стояках для нижнего яруса $v'_c=230-0,35=1,95$ м/с и для верхнего яруса $v'_c=1,90-0,30=1,6$ м/с.

Такие величины скоростей меньше максимально допустимых величин соответственно для стояков сечением 16×7 и 19×8 мм (см. табл. 24).

Расчет стояков

12. Определяем суммарную площадь сечения стояков по формуле (32):

для нижнего яруса

$$F_c = \frac{680}{195} \approx 3,5 \text{ см}^2;$$

принимаем три стояка сечением 16×7 мм и суммарной площадью $F_c=3,4$ см²;

для верхнего яруса

$$F_c = \frac{470}{160} \approx 3,0 \text{ см}^2;$$

принимаем два стояка сечением 19×8 мм и суммарной площадью $F_c=3,04$ см².

Вычисляем площадь стояков в верхнем сечении по формуле (26):

для нижнего яруса

$$f_{с.в} = f_{с.н} \frac{\mu_c}{\mu_n} \sqrt{\frac{H}{h_n}} = 1,12 \frac{0,55}{0,965} \sqrt{\frac{100}{18}} = 1,7 \text{ см}^2;$$

принимаем верхнее сечение стояков равным 20×9 мм;

для верхнего яруса

$$f_{с.в} = 1,54 \frac{0,58}{0,975} \sqrt{\frac{57}{12}} \approx 2,0 \text{ см}^2$$

принимаем верхнее сечение стояков равным 20×10 мм.

Расчет коллектора

13. Исходя из ранее принятого (см. п. 3) соотношения $F_c : F_k : F_n$ по табл. 25 для $F_c = 3,4$ (ближайшее значение $F_c = 3,5 \text{ см}^2$) и $F_c = 3,04 \text{ см}^2$ находим суммарную площадь сечения коллектора $F_k = 14 \text{ см}^2$ для нижнего яруса и $F_k = 12,56 \text{ см}^2$ для верхнего яруса.

Размеры поперечного сечения коллекторов (двусторонних) будут: $a = 28$; $b = 22$; $h_k = 28 \text{ мм}$ для нижнего яруса и $a = 26,0$; $b = 21,0$; $h_k = 26,0 \text{ мм}$ для верхнего яруса.

14. Определяем фактическую скорость потока в коллекторах по формуле (49):

для нижнего яруса

$$v_k = v_c' \frac{F_c}{F_k} = 195 \frac{3,4}{14} \approx 47,5 \text{ см/с};$$

для верхнего яруса

$$v_k = 160 \frac{3,04}{12,56} \approx 40 \text{ см/с}.$$

Находим допустимые величины скоростей в коллекторе по формуле (38):

для нижнего яруса

$$v_{k \text{ max}} = \frac{42}{R_k} = \frac{42}{0,63} \approx 67 \text{ см/с};$$

для верхнего яруса

$$v_{k \text{ max}} = \frac{42}{0,62} \approx 68 \text{ см/с}.$$

Так как в обоих случаях $v_k < v_{k \text{ max}}$, то условие спокойного протекания расплава в коллекторах будет обеспечено.

Расчет питателей

15. Учитывая, что $F_n = 5F_c$ (принимая $F_n = 5 \cdot 3,4 = 17 \text{ см}^2$ для нижнего яруса и $F_n = 5 \cdot 3,04 = 15,2 \text{ см}^2$ для верхнего яруса) и ранее принятое число питателей $n = 12$, находим площадь одного питателя:

для нижнего коллектора

$$f_n = \frac{F_c}{n} = \frac{17}{12} = 1,4 \text{ см}^2;$$

для верхнего коллектора

$$f_n = \frac{15,2}{12} = 1,3 \text{ см}^2.$$

Толщину питателей принимаем равной $\delta_n = 4 \text{ мм}$, что удовлетворяет в обоих случаях условиям (25) и (16).

Находим ширину питателей:
для нижнего яруса

$$c = \frac{f_{\text{п}}}{\delta_{\text{п}}} = \frac{1,4}{0,4} \approx 3,5 \text{ см};$$

для верхнего яруса

$$c = \frac{1,3}{0,4} \approx 3,3 \text{ см.}$$

16. Определяем фактическую скорость потока в питателях по формуле (51):

для нижнего яруса

$$v_{\text{п}} = v_{\text{с}} \frac{F_{\text{с}}}{F_{\text{п}}} = 195 \frac{3,5}{17} \approx 40 \text{ см/с};$$

для верхнего яруса

$$v_{\text{п}} = 160 \frac{3,04}{15,2} \approx 32 \text{ см/с.}$$

По формуле (39) находим максимально допустимые величины скоростей потока в питателях:

для нижнего яруса

$$v_{\text{п max}} = \frac{12}{R_{\text{п}}} = \frac{12}{0,18} \approx 66 \text{ см/с};$$

для верхнего яруса

$$v_{\text{п max}} = \frac{12}{0,175} = 68 \text{ см/с.}$$

Так как в обоих случаях $v_{\text{п}} < v_{\text{п max}}$, то условие спокойного протекания расплава в питателях будет обеспечено.

17. Находим расстояние от стояка до первого питателя по формуле (21):

для нижнего яруса

$$L_{\text{п}} = 0,147 h_{\text{к}} v_{\text{к}} = 0,147 \cdot 2,8 \cdot 47,5 = 19,7 \text{ см};$$

для верхнего яруса

$$L_{\text{п}} = 0,147 \cdot 3,65 \cdot 40,0 = 21,6 \text{ см.}$$

Принимаем в первом случае $L_{\text{п}} = 20$ см и во втором $L_{\text{п}} = 22$ см.

Остальные питатели распределяем равномерно по периметру отливки.

Выбор конструкции литниковых чаш
и определение конструктивных размеров
литниковой системы

18. Исходя из расхода расплава определяем объем чаш по формуле (42):

для заливки через нижний ярус

$$V_{\text{ч}} = 2,0 \cdot Q_{\text{ф}} = 2 \cdot 680 = 1360 \text{ см}^3;$$

для заливки через верхний ярус

$$V_{\text{ч}} = 2,0 \cdot 470 = 940 \text{ см}^3.$$

Учитывая большую высоту стояка для заливки нижнего яруса, выбираем литниковую чашу с порогом и перегородкой (см. рис. 66,б), а для верхнего — чашу с порогом (см. рис. 66,а).

19. Исходя из ранее установленных высот чаш ($H_{\text{ч}}=20$ см для нижнего яруса и $H=14$ см для верхнего яруса) по табл. 17 выбираем чашу № 3 и по табл. 16 чашу № 3 (соответственно для заливки нижнего и верхнего яруса) и находим их основные исполнительные размеры.

20. Конструктивные размеры стояка, металлоприемника, коллектора и питателей определяем по рис. 72 и 73.

Глава VI

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ОСВОЕНИИ ЛИТЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

1. ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОСВОЕНИЯ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Вопросы, возникающие при технологической подготовке производства в действующих литейных цехах и участках,— это в основном вопросы быстреего освоения намеченной технологии изготовления новой литой заготовки при наименьших затратах труда и материалов. Одной из основных задач при этом является разработка технологии литейной формы и, в частности, научно обоснованный выбор конструкции и расчет размеров литниковой системы, обеспечивающей получение качественных отливок.

В современных литейных цехах проектирование литейной технологии включает следующие этапы: 1) анализ назначения отливки для выявления предъявляемых к ней требований при изготовлении и эксплуатации детали машины, установление соответствия выбранного сплава технологичности отливки и выбор способа литья; 2) разработку чертежа элементов литейной формы; 3) отработку технологии изготовления отливки, включая (при необходимости) моделирование систем; 4) корректировку технологического процесса по результатам моделирования и опытной проверки; 5) разработку карт технологического процесса (КТ).

Анализ конструкции детали и тщательное изучение предъявляемых к ней требований, проводимые совместно конструктором и технологом, как правило, сопровождаются внесением в конструкцию детали изменений, способствующих повышению технологичности отливки и технико-экономических показателей производства детали в целом.

На этом этапе проектирования литой детали одновременно выбирают не только способ получения отливки, но и его конкретную модификацию применительно к техническим условиям на деталь, литейным свойствам сплава, характеристике условий производства и уровню его комплексной механизации и автоматизации. При этом важно, чтобы способ изготовления опытного образца отливки совпадал со способом его будущего производ-

ства, что обеспечит возможность полной отработки технологичности детали на начальной стадии проектирования нового изделия и ускорит его ввод в производство.

Окончательный выбор конструкции отливки и способа ее изготовления, т. е. выдача рабочего чертежа детали, является основой при разработке технологии литейной формы, которая должна заканчиваться решением ее основной задачи, а именно установлением конструкции и расчетом размеров литниковой системы.

Начальный этап проектирования литниковой системы — разработка чертежа элементов литейной формы. На этом этапе решаются все вопросы, связанные с выбором конструкции системы и с расчетом ее размеров.

При разработке литниковой системы учитывают условия формирования отливки в процессе заливки формы, затвердевания и последующего охлаждения, которые зависят также от сплава и материала литейной формы. Эту задачу решают с учетом предъявляемых к литой детали требований. При необходимости проводят теплофизический расчет процесса формирования отливки в целях выявления условий кристаллизации отдельных ее зон и литой конструкции в целом. Результаты такого расчета учитывают при выборе режимов заполнения формы.

На заключительной стадии разработки технологии устанавливают и рассчитывают также такие параметры процесса литья, как температуры заливки сплава и нагрева формы, состав, толщина слоя теплоизоляционных покрытий формы и ее отдельных элементов и др. Затем следует этап освоения в производстве намеченной технологии, в том числе отработка конструкции и размеров литниковой системы и технологических режимов литья. В процессе отработки технологии различными методами изучают свойства и качество опытных отливок и устанавливают их соответствие техническим условиям. Таким образом, по результатам испытаний партии опытных отливок устанавливают, обеспечивает ли запроектированная литниковая система необходимое качество детали.

При неудовлетворительных результатах, на основе анализа характера дефектов и мест их расположения в отливке, производят корректировку литниковой системы и технологических параметров процесса литья. При необходимости на этой стадии осуществляют моделирование систем. В зависимости от конкретных условий производства и сроков освоения моделирование можно проводить также перед изготовлением первой опытной детали, параллельно с ней, а также (при нецелесообразности изготовления опытной отливки) непосредственно перед изготовлением отливки, идущей на нужды производства (подробно см. п. 3).

На заключительном этапе разрабатывают карты технологического процесса, в которых наряду с другими элементами ли-

тейной формы, оформляют литниковую систему и вносят в ее размеры и конструкцию необходимые коррективы на основе опытной проверки.

Таким образом, создание технологичных конструкций литых деталей, проектирование технологии литейной формы с учетом предъявляемых к детали требований и выбранного сплава, использование научно-обоснованных методов разработки литниковых систем, уточнение их параметров при освоении и моделировании, проводимые с учетом достижений литейного производства, будут способствовать повышению качества отливок, сокращению сроков их освоения и эффективности производства.

2. ИЗОБРАЖЕНИЕ И ОБОЗНАЧЕНИЕ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОФОРМЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В соответствии с ЕСТД и с учетом типа производства (единичное, мелкосерийное, серийное и т. д.) на заводах технологический процесс на изготовление литой детали оформляют либо в виде карт технологического процесса, либо в виде маршрутно-технологических карт. Приложением к этим документам является чертеж элементов литейной формы.

Оформление чертежа элементов литейной формы. Разработка технологического процесса изготовления отливки начинается с нанесения на копию чертежа детали припусков на механическую обработку, всех построений модели, ее основных частей, шаблонов, холодильников, элементов литниковой системы, прибылей и т. д., а также других данных, которые требуются при изготовлении модельного комплекта, литейной формы и приемке отливки. Такой документ в соответствии с ГОСТ 2.423—73 называется чертежом элементов литейной формы. Им пользуются как основным руководящим техническим материалом работники модельного и литейного цехов (участков), участвующие в производственном процессе изготовления отливки, а также приемщики ОТК.

При крупносерийном, массовом производстве, а также при изготовлении крупных отливок чертеж элементов литейной формы выполняют на копии предварительно разработанного чертежа отливки. Преимущество разработки чертежа элементов литейной формы на чертеже отливки в том, что она дает возможность изготовления кальки и последующего снятия копий чертежа. Для литья в кокиль, как правило, кроме чертежа отливки разрабатывают чертеж литейной формы, а для литья в оболочковые формы — размещение отливок и литниковой системы на плите.

Основные требования (по ГОСТ 2.423—73) к изображению литниковой системы на чертеже элементов литейной формы сводятся к следующему.

Контуры построений прибылей и элементов литниковой системы наносят на чертеже сплошными тонкими линиями без указания в плане вторых линий, которые показывали бы различие в размерах нижнего и верхнего оснований литниковых каналов, обусловленное наличием формовочных уклонов и конусов. Все построения литниковой системы выполняют в масш-

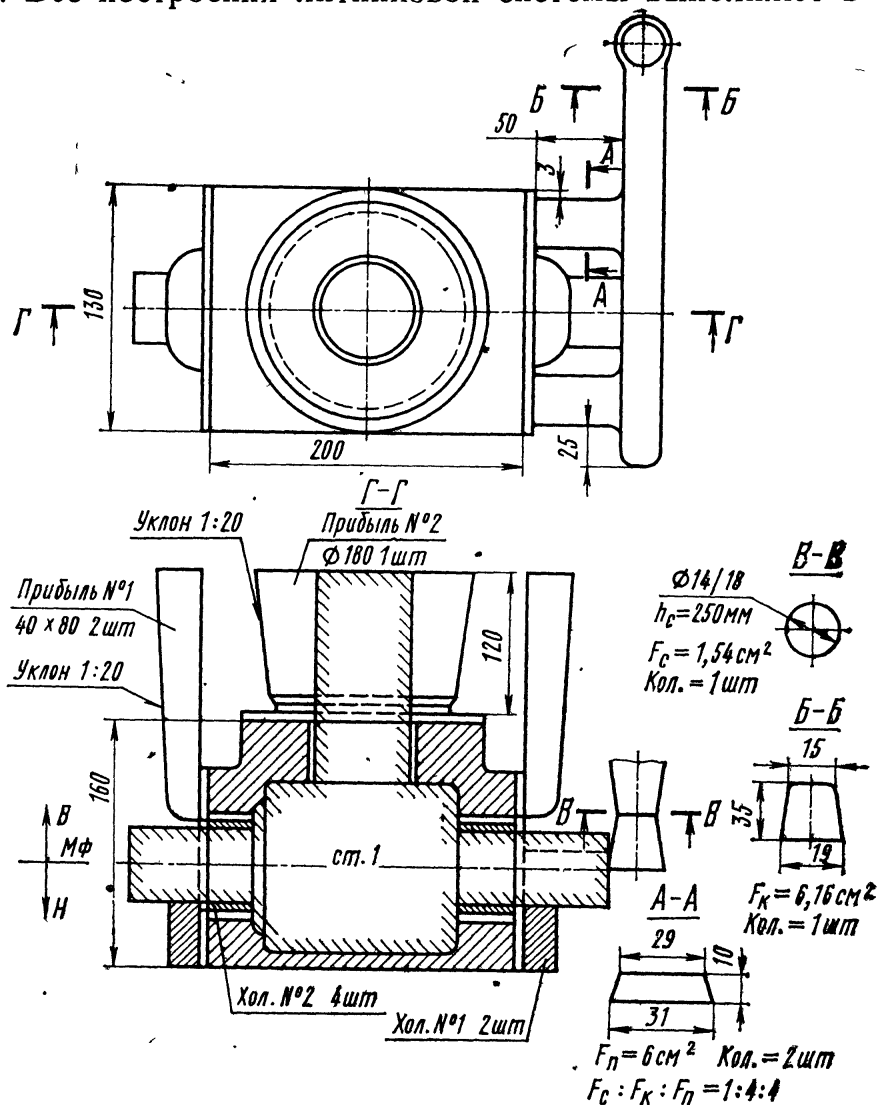


Рис. 88. Изображение элементов литниковой системы для детали «тройник» на чертеже элементов литейной формы

табе. Это облегчает определение контура литниковой системы, расположение стояков, питателей и других элементов. Число проекций элементов литниковой системы должно быть таким, чтобы при пользовании чертежом было полное представление о каждом элементе и расположении его относительно модели.

Как правило, элементы литниковой системы наносят на основных проекциях, т. е. продольном и поперечном разрезах и виде сверху или снизу. Для пояснения отдельных мест литнико-

вой системы дают дополнительные сечения и разрезы ее элементов, которые выполняют на свободном поле чертежа. Здесь же указываются необходимые размеры, число и площади поперечных сечений элементов системы.

В тех случаях, когда построение элементов литниковой системы приведено на схеме расположения модели на модельной плите, например при литье в оболочковые формы или машинной

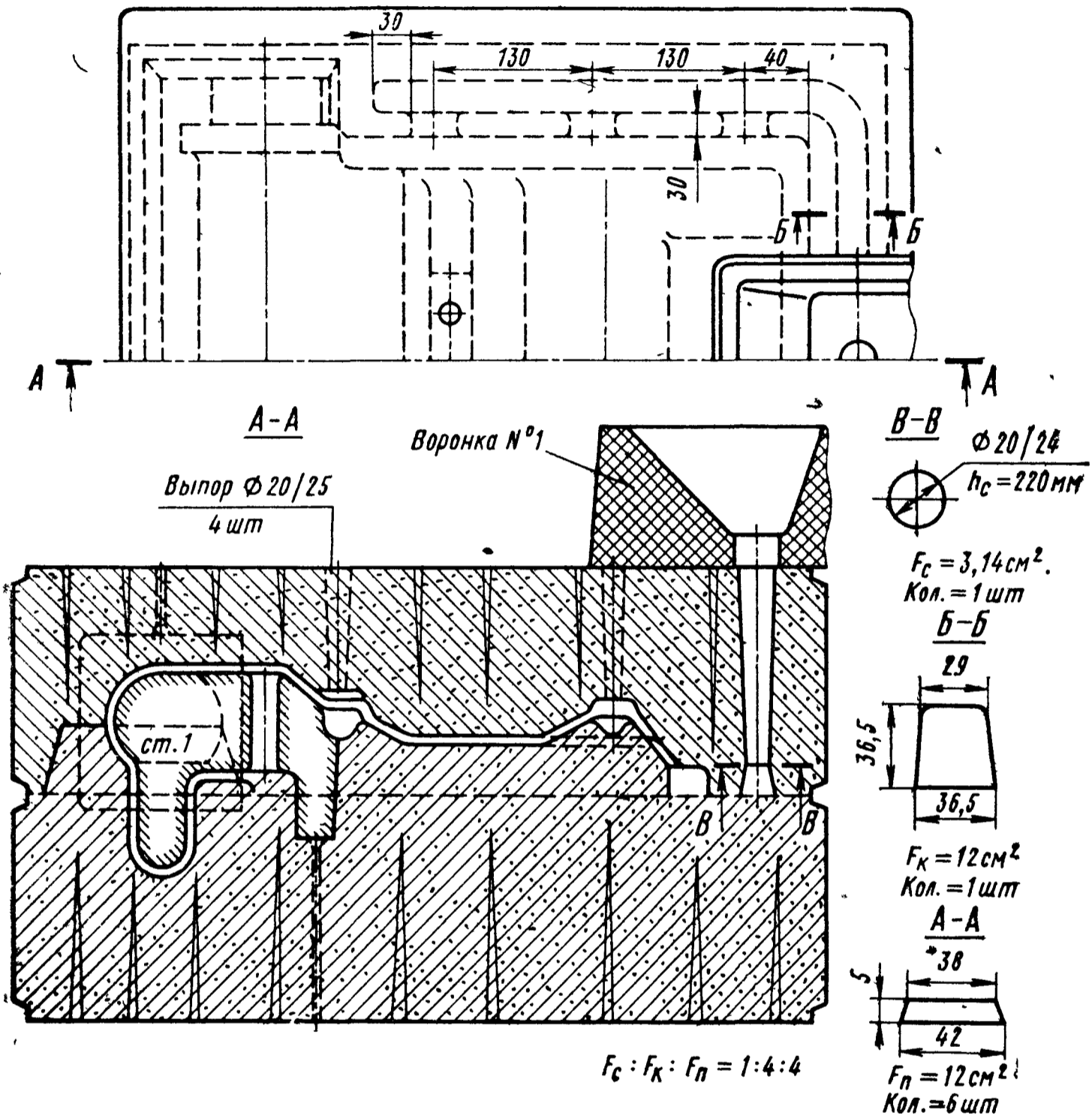


Рис. 89. Изображение элементов литниковой системы для детали «крышки» на карте эскизов (технологическая схема сборки литейной формы)

формовке, и эту схему прилагают к чертежу элементов литейной формы, то в последнем дают ссылку на эту схему и показывают лишь места подвода питателей.

Элементы литниковой системы и прибыли на чертеже элементов литейной формы выполняют в черно-белом или цветном изображении.

В условиях единичного, опытного и мелкосерийного производства, когда нет необходимости в размножении чертежа элементов литейной формы, последний чаще всего оформляют,

пользуясь цветными карандашами, поскольку модельщику более удобно работать с таким чертежом.

В качестве примера, иллюстрирующего описанный способ нанесения контуров литниковой системы, на рис. 88 приведен чертеж элементов литейной формы тройника с габаритными размерами $250 \times 120 \times 160$ мм. На этом чертеже, в отличие от чертежа детали, для лучшей наглядности элементов литниковой системы основные размеры самой детали опущены.

Оформление карт технологического процесса. Для каждого вида литья ГОСТ 3.1401—74 рекомендует специальные формы карт технологического процесса. Как правило, данные о литниковой системе приводятся на первом листе карты и на карте эскизов. На первом листе карты приводятся данные о размерах площадей поперечных сечений стояка, коллектора и питателей, а также особые указания по изготовлению литниковых каналов.

Построение элементов литниковой системы на карте эскизов принципиально ничем не отличается от их построения на чертеже элементов литейной формы. Однако, поскольку чертеж на карте эскизов выполняют в уменьшенном масштабе, естественно, стремятся к минимальному числу построений. В качестве примера построения литниковой системы на карте эскизов (рис. 89) приведен чертеж элементов литейной формы для крышки размером $500 \times 500 \times 165$ мм.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ КАК МЕТОД ОТРАБОТКИ ИХ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИИ

Решение вопроса о проектировании рациональной конструкции литниковой системы на практике осложняется, по крайней мере, следующими обстоятельствами. Во-первых, при изготовлении отливок особо ответственного назначения сложной конфигурации нередко возникает необходимость применения литниковой системы такой конструкции, для которой на основе имеющихся в литературе данных трудно выбрать величину коэффициента расхода, а значит, и скорость заполнения формы. Во-вторых, нередко из-за ограниченных технических возможностей литейного цеха (отсутствие опок нужного размера, грузоподъемных средств и т. п.), а также стремления снизить затраты на формовку приходится отступать от само собой напрашивающегося наиболее рационального варианта конструкции литниковой системы, способа и места подвода расплава к отливке. Применение нетиповой конструкции литниковой системы требует опытной проверки ее гидравлических сопротивлений, шлакозадерживающей и других функций.

Кроме того, иногда требуется освоить производство отливок в сжатые сроки, когда время на эксперименты очень ограничено.

На производстве не всегда возможно на основе только расчетных методов выбрать рациональную конструкцию и расчи-

тать оптимальные размеры литниковых систем для широкой номенклатуры машиностроительных отливок.

Большое значение при проектировании литниковых систем имеет личный опыт и наблюдения технолога-литейщика, занимающегося разработкой литейной технологии. Однако нередко даже богатый опыт технолога и литейного цеха — изготовителя литья не могут подсказать оптимальное решение при выборе конструкции литниковой системы, способа и мест подвода расплава в форму и режимов их заполнения.

В этих условиях важную роль играет применение метода моделирования. Иногда же, например при выяснении физической картины явлений, происходящих в литниковых каналах и форме, моделирование является по существу единственным методом, с помощью которого можно получить дополнительную информацию о процессе заполнения формы.

В частности, на основе наблюдений за динамикой потока расплава в рабочей полости формы могут быть внесены коррективы в конструкцию литниковой системы, например, с целью снижения удара струи о стенку формы или стержня, уменьшения волнообразного движения, обеспечения лучшей последовательности заполнения отдельных частей формы, исключаящего их перегрев, образование неслитин и недоливов.

Поскольку течение расплавленного металла, как уже отмечалось, подчиняется основным законам гидравлики, естественно стремление использовать при моделировании холодные жидкости. При этом существенно упрощается проведение опытов, снижаются расходы на эксперименты. Кроме того, в большинстве случаев можно вести визуальные наблюдения за характером потока расплава в литниковых каналах и рабочей полости формы, используя прозрачные модели.

Таким образом, метод моделирования позволяет значительно облегчить проверку новых конструкций литниковых систем, отработать их рациональные размеры и тем самым существенно способствовать улучшению качества отливок и сокращению расхода металла.

Этот метод можно применять при проектировании литниковых систем для решения следующих основных задач:

- а) определение коэффициентов гидравлических сопротивлений или коэффициента расхода литниковой системы;
- б) исследование шлакозадерживающей функции и выбор рациональных форм каналов литниковой системы;
- в) изучение характера движения металла в литниковых каналах с целью определения допустимой турбулентности, очагов возникновения возмущений или инжекции воздуха и газов;
- г) нахождение рациональных соотношений между элементами литниковой системы, обеспечивающих равномерное распределение металла по питателям;

д) определение условий спокойного ввода расплава в форму и др.

Необходимо иметь в виду, что, поскольку на холодных жидкостях невозможно воспроизвести тепловые процессы, взаимное влияние металла, формы и газовой среды (связанное с специфическими свойствами жидкого металла — окисляемостью, газовыделением и газопоглощением, смачиваемостью, поверхностным натяжением и др.), то такое моделирование является приближенным и охватывает в большинстве случаев только гидравлическую часть процессов. Поэтому результаты моделирования нередко расходятся с натурными испытаниями даже для чисто гидравлических процессов (расход по питателям, коэффициент расхода, шлакозадержание и др.). Это означает, что окончательному принятию решения о формах и размерах литниковых каналов, а также способе и месте подвода расплава в форму, как правило, должны предшествовать опыты в натуральных условиях заливкой отливок тем сплавом, из которого они будут изготовлены.

Таким образом, выбор на основе анализа применяемых ранее конструкций, изучения заполнения формы на прозрачных моделях новых литниковых систем и, при необходимости, их проверка в натуральных условиях позволяют применить такие литниковые системы, использование которых ускоряет освоение опытных партий отливок и сокращает расход материалов на освоение.

Основные положения по моделированию литниковых систем на основе изучения их гидравлических особенностей сформулированы Б. В. Рабиновичем [56—58] и заключаются в следующем.

Геометрическая особенность моделирования литниковых систем холодными жидкостями заключается в том, что с изменением масштаба модели одновременно вынужденно изменяется высота стояка, а следовательно, напор и скорость, т. е. при моделировании литниковых систем скорость потока является зависимой переменной.

Физическая специфика процесса заполнения песчаных форм расплавом характеризуется свойством газопроницаемости стенок, падением температуры расплава по течению потока, а также развитием процесса вспенивания и окисления легких сплавов.

Конструировать и рассчитывать модели литниковых систем необходимо так, чтобы во всех их сечениях гарантировалось положительное давление расплава. В противном случае не исключен подсос воздуха и газов через стенки и разъем формы, искажающий физическую картину процесса ее заполнения и отрицательно влияющий на качество отливок.

Течение такого потока (с положительным давлением) не зависит от газопроницаемости стенок, поэтому движение рас-

плава в газопроницаемой форме можно изучать на моделях из оргстекла, кварцевого стекла и других газонепроницаемых материалов.

Другой важный вопрос касается влияния на характер течения вязкости расплава и ее изменение в зависимости от температуры. Опытами установлено, что течение алюминиевых и магниевых сплавов, заливаемых с общепринятым для фасонного литья перегревом, в достаточно тонких каналах ($d=10$ мм) не сопровождается образованием корочки на их стенках. Однако с падением температуры расплава по течению потока всегда увеличивается его вязкость. Следовательно, чем выше перегрев, тем ближе расходы в натуральных условиях к расходам при изотермическом моделировании холодными жидкостями.

Движения металла и моделирующей жидкости должны быть связаны подобием геометрических, кинематических и материальных характеристик.

При заполнении литейной формы расплавом на него действуют силы тяжести, инерции, трения и поверхностного натяжения. При течении сплава по литниковым каналам (и тонким стенкам литейной формы) в основном действуют силы инерции и трения.

Подобие сил инерции и трения, обусловленных в натурном и модельном потоках, достигается равенством чисел Рейнольдса:

$$\text{Re}_n = \text{Re}_m, \text{ т. е.} \\ \frac{d_n v_n}{\nu_n} = \frac{d_m v_m}{\nu_m}, \quad (57)$$

где индексы «н» и «м» относятся соответственно к натуре и модели.

Заливая расплав, склонный к вспениванию и окислению, необходимо обеспечить спокойное его течение в форме. Существенное значение при этом имеет состояние уровня поверхности расплава при его подъеме в форме. Здесь уже на течение действуют силы инерции и тяжести. В таких случаях подобие обусловлено равенством чисел Фруда Fr , характеризующего соотношение между силами инерции и тяжести в потоке жидкости.

Для того чтобы течение при наличии свободной поверхности было подобным, должно быть

$$Fr_n = Fr_m, \text{ т. е.} \\ \frac{v_n^2}{l_n g} = \frac{v_m^2}{l_m g}, \quad (58)$$

где l_n, l_m — характерный размер натуре и модели; g — ускорение силы тяжести.

Если одновременно принимать во внимание силы трения и

тяжести, то, изменяя вязкость, можно достигнуть равенства чисел Re и Fg модели и натуре.

При моделировании жидкостью с известной вязкостью ν это равенство можно обеспечить масштабом модели, т. е. константой геометрического подобия:

$$C_l = \frac{d_H}{d_M} = \frac{l_H}{l_M} = \frac{H_H}{H_M},$$

где d, l, H — соответственно диаметр, длина и высота канала. Учитывая, что

$$v_H = k_H \sqrt{H_H}; \quad v_M = k_M \sqrt{H_M}; \quad k_H = k_M,$$

из (57) получим

$$v_M = v_H \frac{\nu_M}{\nu_H} C_l, \quad \text{а из (58)} \quad v_M = v_H \sqrt{\frac{1}{C_l}}.$$

Для одновременного соблюдения критериев Re и Fg достаточно иметь одинаковую скорость v_M , т. е.

$$v_H \frac{\nu_M}{\nu_H} C_l = v_H \sqrt{\frac{1}{C_l}},$$

откуда находим масштаб модели

$$C_l = \left(\frac{\nu_H}{\nu_M} \right)^{2/3}. \quad (59)$$

Для перерасчета результатов испытания модели на натуре масштабы расхода C_Q и времени C_τ выражают через масштаб модели [58]:

$$C_Q = \frac{Q_H}{Q_M} = C_F C_v = C_l^{5/2}$$

и

$$C_\tau = \frac{\tau_H}{\tau_M} = \frac{C_l^3}{C_F C_v} = C_l^{1/2}.$$

Чтобы подсчитать C_l , необходимо знать величины кинематической вязкости сплавов и холодных жидкостей. Данные о вязкости приводятся в физико-химических справочниках.

В табл. 27 даны вычисленные по уравнению (59) теоретические константы геометрического подобия для некоторых комбинаций сплавов и жидкостей при моделировании.

Из сравнения числовых значений вязкости материалов и моделирующих жидкостей следует, что в тех случаях, когда вязкость жидкости меньше вязкости расплава, модель должна быть больше отливки, т. е. $C_l > 1$. Если же вязкость жидкости больше вязкости металла, то модель должна быть меньше отливки, т. е. $C_l < 1$. Применение моделей небольшого размера значительно

Константы геометрического подобия

Сплав и его вязкость*	Моделирующие жидкости и их вязкость*			
	Вода при 20°C, $\nu=1,006 \cdot 10^{-6}$	Ртуть при 15°C, $\nu=1,1 \cdot 10^{-7}$	Смесь глицерина (50%) с водой при 20°C, $\nu=5,98 \cdot 10^{-6}$	Сплав Вуда при 100°C, $\nu=1,25 \times 10^{-6}$
Алюминиевый $\nu=6 \cdot 10^{-7}$	0,84	1,76	0,465	0,80
Магниеый, $\nu=7 \cdot 10^{-7}$	0,89	1,86	0,49	0,825

* Вязкость в м²/с.

облегчает исследование литниковых систем для крупных отливок.

Рассмотрим решение методом моделирования отдельных задач, возникающих при освоении новых литых деталей.

Моделирование литниковых систем с целью определения их коэффициента расхода. В развитом турбулентном потоке вязкостные сопротивления малы по сравнению с инерционными и при достаточно больших Re в автомобильной области потери напора вообще не зависят от вязкости. Здесь коэффициенты сопротивлений становятся независимыми от Re [58].

Однако течение металла с высокой турбулентностью недопустимо для легких сплавов, поэтому в практике литья легких сплавов такие потоки являются скорее исключением, чем пра-

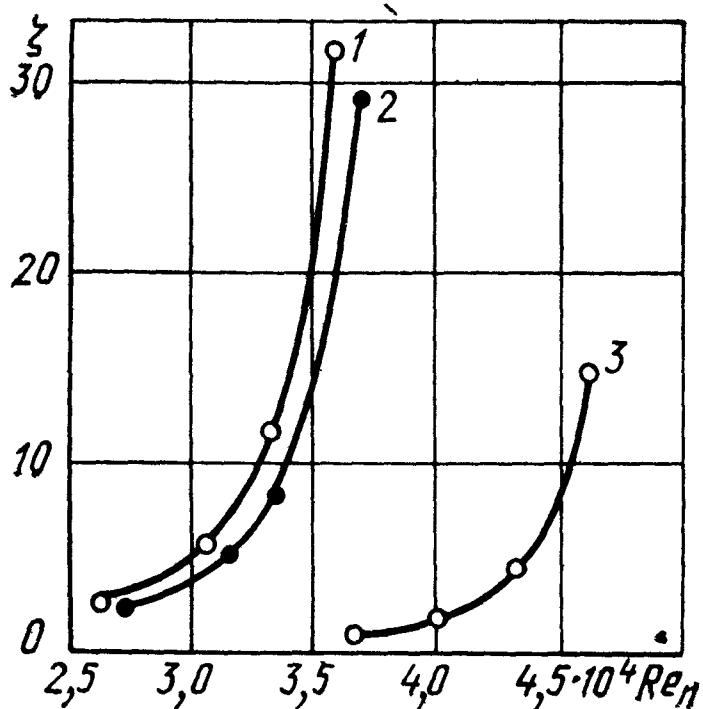


Рис. 90. Зависимость коэффициентов местного сопротивления литниковой системы, состоящей из чаши, стояка, коллектора и питателя, от критерия Рейнольдса [50] — для потока в питателе при отнесении потерь к скорости течения металла в коллекторе. Питатель присоединен к коллектору под углом:

1— $\alpha=137^{\circ}10'$; 2— $\alpha=90^{\circ}$; 3— $\alpha=42^{\circ}50'$

вилом. В интервале значений Re , характерных для потоков в литниковых каналах, коэффициенты местных сопротивлений в большинстве случаев непостоянны и являются функцией числа Re (рис. 90), что необходимо учитывать при моделировании таких систем [50].

Наиболее распространенной установкой для моделирования литниковых систем водой с целью определения их коэффициен-

та расхода является установка конструкции МАМИ, техника моделирования на которой описана Б. В. Рабиновичем [57]. В этом случае модель рациональнее всего выполнять из прозрачного органического стекла, так как это позволяет одновременно наблюдать картину потоков.

Определять коэффициент расхода при заливке жидкого металла можно на установке, приведенной на рис. 91. Техника проведения опытов при работе с жидким металлом описана в работе [14]. Эту установку можно использовать при заливке как песчаной, так и металлической формы.

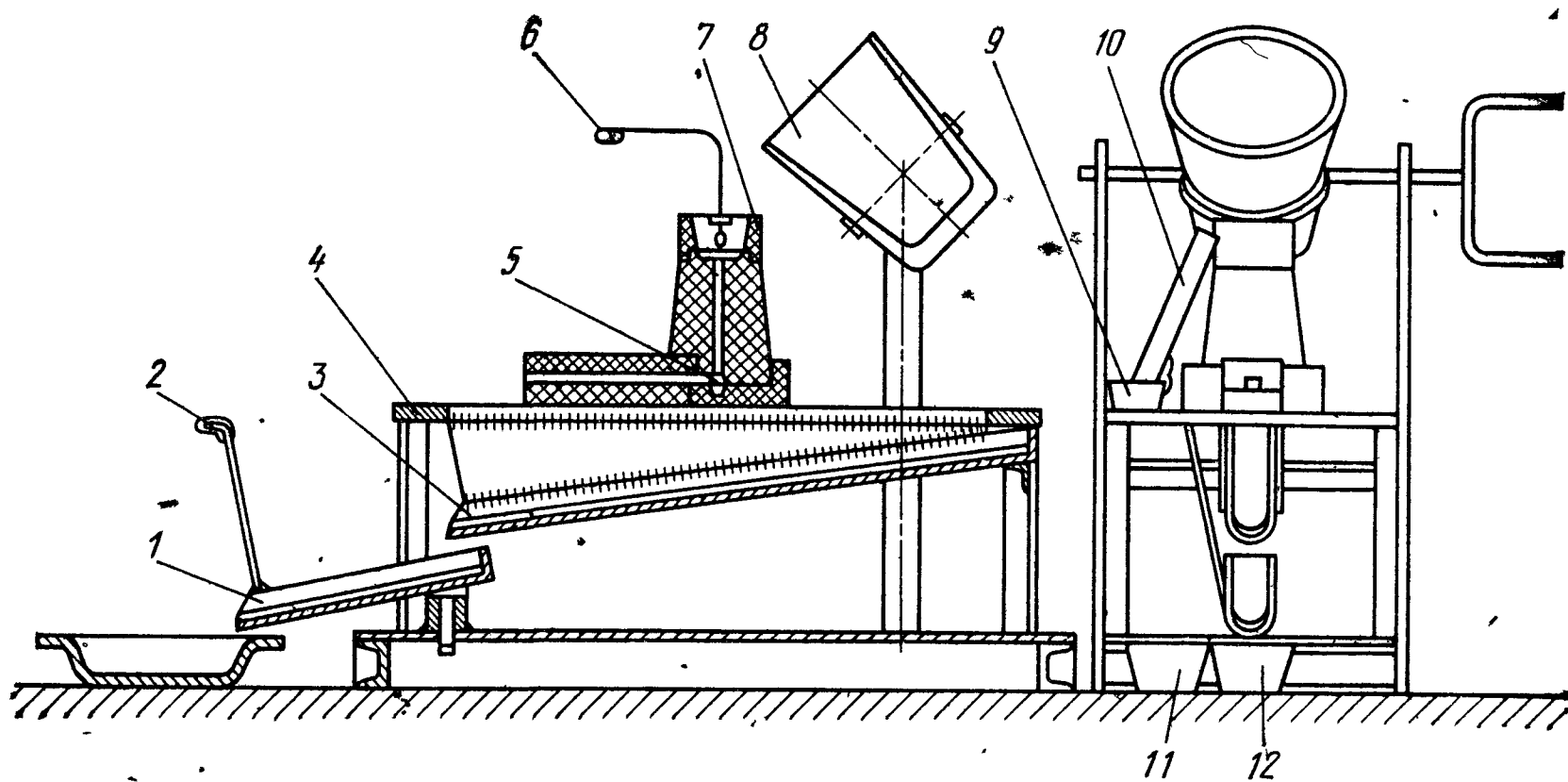


Рис. 91. Схема установки для определения расхода металла:

1 — поворотный желоб; 2 — тяга; 3 — стационарный желоб; 4 — стол; 5 — литейная форма в сборе; 6 — пробка; 7 — чаша; 8 — поворотный ковш; 9 — изложница; 10 — съемный желоб; 11 — запасная изложница; 12 — рабочая изложница

При работе в цеховых условиях особенно тщательно следует контролировать размеры литниковых каналов в опытной форме, состав, температуру заливки сплава и постоянство напора в литниковой чаше, т. е. факторы, которые в наибольшей степени влияют на коэффициент расхода.

Литниковые каналы целесообразно выполнять в стержнях, так как это сокращает время на проведение опытов и одновременно повышает точность выполнения контролируемых размеров.

Помимо указанных факторов на результаты опытов большое влияние оказывает точность изготовления натуре и модели, допускаемые отклонения, размеры которых зависят от выбранного класса точности изготовления [59].

Следует отметить, что нарушение точности линейных размеров при изготовлении модели дает квадратичную ошибку в площади при пересчете на натуре. Это, в свою очередь, приведет к ошибке в расходе, которая при пересчете на «натуре» возрастет

тает в $C_l^{5/2}$ раз. Точность изготовления моделей должна быть тем выше, чем больше C_l .

Моделирование движения неметаллических включений в литниковых системах. Для моделирования движения неметаллических включений (шлака, пены, флюсов) применяют твердые материалы соответствующей плотности: пробку, древесные опилки и уголь, микропористую резину и кусочки древесины, гранулы пенополистирола, зерна кремнезема, кусочки металлургического шлака, кусочки нарезанной фольги, а также специально приготовленный шлак, кусочки измельченной пены, оставшейся в литниковой чаше после заливки, и др. (табл. 28).

Таблица 28

Материалы, применяемые для имитации движения неметаллических включений

Материал, размер частиц	Плотность, г/см ³	Моделирующая жидкость
Кусочки сырой пробки без покрытия [96]; $l=0,2 \div 0,5$ см	0,33	Вода
Кусочки пробки с водонепроницаемым лаковым покрытием [96]: $l=0,8$ см $l=0,2$ см	0,26 0,33	» »
Кусочки древесины [38]	0,56	Вода
Микропористая резина [38]	0,48	»
Кремнезем [96]; $l=0,17 \div 0,87$ см	2,5	Металл
Шлак; $l=0,18 \div 0,8$ см	Близка к плотности шлака металла	»
Гранулы пенополистирола [70]; $d=2 \div 3$ мм	0,02	Вода

Все эти материалы, конечно, не воспроизводят жидкого шлака и пены, на поведение которых в расплаве в значительной степени оказывают влияние поверхностные явления.

Твердые модельные частицы, в отличие от жидкого шлака, смачивающего форму и прилипающего к потолку коллектора, иногда отрываются от стенок и заносятся в питатель. Несмотря на это, проверка работы литниковой системы на шлакоулавливание при помощи твердых частиц имеет определенный смысл: так как ее проводят в более трудных условиях, чем натурную, то литниковые системы, показывающие удовлетворительные результаты при моделировании, окажутся заведомо работоспособными при эксплуатации в реальных условиях.

Особое значение при разработке конструкций шлакоулавливающих элементов системы и мероприятий по предотвращению образования вторичных включений (шлаков, засоров) придается определению траекторий движения неметаллических частиц в

литниковых каналах и траекторий потоков расплава в рабочей полости формы.

Эту задачу чаще всего решают с помощью объемно-прозрачной модели, позволяющей вести визуальные наблюдения за потоками или производить их съемку на скоростную киноплёнку [70].

Моделирование поведения неметаллических включений осуществляют при таком выборе размеров и материала, имитирующего включения, который удовлетворял бы условию равновсплываемости, характеризующемуся скоростью всплывания частиц, имеющих плотность меньше, чем жидкость.

Как видно из (18), эта скорость пропорциональна диаметру частиц и относительной плотности. Поэтому условие равновсплываемости модельных частиц и реальных шлаковых включений будет иметь вид

$$d_c \frac{\Delta\rho_{с.ш}}{\rho_c} = d_m \frac{\Delta\rho_{ж.м}}{\rho_{ж}},$$

откуда можно определить масштаб геометрического подобия

$$\frac{d_c}{d_m} = \frac{\Delta\rho_{ж.м}\rho_c}{\Delta\rho_{с.ш}\rho_{ж}},$$

где d_c , d_m — диаметр неметаллических включений соответственно в сплаве и моделирующей жидкости; ρ_c , $\rho_{ж}$ — плотность соответственно сплава и моделирующей жидкости; $\Delta\rho_{с.ш}$ — разность плотностей сплава и шлака; $\Delta\rho_{ж.м}$ — разность плотностей жидкости и твердых частиц.

Применив, например, в качестве моделей неметаллических включений кусочки микропористой резины с плотностью $0,48 \text{ г/см}^3$, а в качестве моделирующей жидкости воду ($\rho_{ж} = 1 \text{ г/см}^3$), получим:

для алюминиевых сплавов

$$\frac{d_c}{d_m} = \frac{1 - 0,48}{2,4 - 1,8} \cdot \frac{2,4}{1} \approx 2,1;$$

для магниевых сплавов

$$\frac{d_c}{d_m} = \left(\frac{1 - 0,48}{1,64 - 1,35} \right) \frac{1,64}{1} \approx 2,9.$$

Моделирование динамики потока в литниковых каналах и рабочей полости формы. Наблюдения (визуальные, с помощью скоростной киносъемки и рентгеновской съемки) за характером потока жидкости в литниковых каналах и рабочей полости формы проводят с целью определения допустимой турбулентности потоков на отдельных участках пути и волнообразного движения поверхности металла в форме, выявления очагов возникновения возмущений и инъекции воздуха, изучения путей движения в полости формы свежих порций металла и образования застой-

ных и проточных зон, а также для ряда других технологических задач.

На практике наиболее широко используют прозрачные формы. Для улучшения визуального наблюдения пользуются индикаторами, вводимыми в поток. В качестве индикаторов применяют различные цветные эмульсии, а также твердые частицы, плотность которых равна плотности воды.

Заливка водой и подкрашивание потоков (один из первых методов, применяемых в гидравлике для изучения турбулентности) помогают установить последовательность заполнения формы, влияющего на образование неслитин и на процесс прогрева отдельных ее частей, наблюдать перемешивание жидкости и, как следствие этого, засасывание шлака и воздуха, удаление неметаллических включений, газов и пр.

Этот метод широко используют при отработке литниковых систем, мест подвода и процесса заливки крупных отливок: диафрагм паровых турбин, гребных винтов и других деталей. Как показывают эксперименты, он дает хорошие результаты.

Установлено, что применение в качестве материала моделей форм стиракрила позволяет прозрачные оболочки заливать алюминиевыми и магниевыми сплавами, причем прозрачность и геометрия оболочек при движении расплава не нарушаются. Это явление объясняется малой теплопроводностью стиракрила и образованием тонкой газовой прослойки на границе оболочка—расплав. Прочность прозрачной оболочки для заливки металла иногда повышают, заливая в нее проволочные каркасы или применяя воздушное охлаждение ее наружной поверхности.

Чаще всего для заполнения металлом применяют разовые частич-

но прозрачные оболочки, которые изучают визуально или снимают на пленку. Для увеличения контрастности используют подсвечивание. На рис. 92 показана модель оболочки, изготовленной из стиракрила, применяемой для изучения процесса заполнения рабочих полостей форм [29].

При сложных формах для лучшего понимания взаимосвязи явлений, происходящих в форме при заливке, прозрачные оболочки исследуют по частям, так как дефекты часто образуются не там, где они обнаруживаются впоследствии в отливках. В отдельных случаях дефект изучают локально, ограничиваясь местом его образования.

При изучении очагов образования турбулентности в литни-

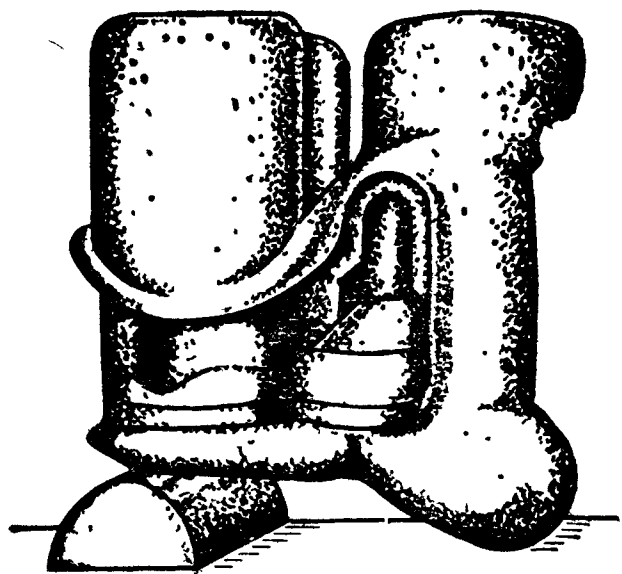


Рис. 92. Модель оболочки с прозрачным коллектором, питателем и частью поверхности юбки поршня в момент заполнения алюминиевым сплавом

ковых каналах особенно следует наблюдать за движением жидкости в зумпфе или при переходе на плоскую поверхность незаполненного коллектора, где может возникнуть энергичное вращательно-поступательное движение, переходящее в волнообразное в коллекторах и постепенно затухающее. Это вращательное движение металла в зумпфе сопровождается аэрацией потока, вызывающей образование вторичного шлака и воздушных раковин. Даже уменьшение скорости потока в стояке или увеличение вязкости жидкости не ликвидирует этого явления [29]. Вихревое движение в зумпфе особенно сказывается (при литниковых системах с короткими коллекторами) на работе питателей, пропускающих шлак с первыми порциями металла. В таких системах полезным может оказаться установка рассекателей против выходного сечения стояка. Входная кромка рассекателя может входить в стояк, находиться на уровне выходного отверстия стояка или ниже этого уровня (см., например, рис. 6, о, с). Рассекатели хорошо komponуются с различными стояками, сетками, коллекторами (при одном и двух стояках).

Информация о характере потока и связанных с ним процессах окисления металла может быть получена при визуальном наблюдении или снятии на пленку свободно вытекающей из отверстия ковша или формы струи металла.

Исследования [97] показывают, что окисление движущегося металла более интенсивно, чем неподвижного и непосредственно связано со структурой истекающей струи. Снятие на кинопленку движущейся струи металла позволяет установить новые особенности гидродинамических явлений и их влияние на развитие вторичных процессов.

Изготовление моделей. При моделировании холодными жидкостями лучшим материалом для изготовления моделей является органическое стекло. В этом случае модель может быть полностью изготовлена объемно-прозрачной [17, 27], что позволяет вести визуальное наблюдение или производить скоростную съемку на кинопленку.

В зависимости от сложности и размеров литниковой системы ее элементы можно изготавливать различными способами: деформированием (изгибанием) подогретого стекла по профилю, например деревянной промодели, механической обработкой, склеиванием листовых заготовок.

В первом случае (при деформировании) применяют стекло толщиной 0,5—3 мм, а в других 6—60 мм. Для сохранения оптических свойств органического стекла необходимо, чтобы между отдельными пластинками не было воздушных пузырей. С этой целью склеиваемые поверхности сначала притирают, а затем выдерживают под нагрузкой. Части элементов склеивают специальными клеями, ацетоном, дихлорэтаном и др. Лучшие результаты дает полиметилметакриловый клей ЛММ (на основе дихлорэтана), не нарушающий оптические свойства стекла в

местах склейки. При использовании этого клея необходимо детали, изготовленные механической обработкой, полировать на суконом круге с применением пасты из окиси хрома [17].

Целесообразными являются сборно-разборные конструкции моделей с взаимозаменяемостью отдельных элементов литниковой системы: стояка, коллектора, питателей и т. д. В этом случае мелкие элементы литниковой системы делают из стекла или калиброванных латунных трубок, а стержни — из дерева и покрывают водонепроницаемой краской. Элементы модели соединяют между собой шурупами [27].

Модели таких конструкций позволяют экономить время и средства при моделировании различных вариантов и комбинаций литниковой системы.

Кроме органического стекла для изготовления прозрачных моделей можно использовать листовые термопласты и стирокриловую пластмассу. Модели из стирокриловой пластмассы, как уже отмечалось, можно непосредственно заливать металлическими расплавами. Прозрачность или полупрозрачность оболочек достигается окрашиванием их кремнеорганическим лаком.

Описанные способы изготовления прозрачных моделей хотя и несложны, однако трудоемки, а стоимость моделей достаточно высока, что ограничивает внедрение моделирования в литейную практику. Поэтому на заводах разрабатывают более производительные способы изготовления прозрачных форм, в частности используют вакуум-формовочные машины [33]. В этом случае прозрачные оболочки получают непосредственно по деревянным, гипсовым моделям, а также по действительным отливкам, укладываемым на алюминиевой плите, установленной по уровню на столе вакуум-формовочной машины. Материалом служит часовой органический стекло, формуемое при нагреве до 140—175°C.

Местные дефекты модели исправляют специальным пистолетом, подающим нагретый воздух на требуемый участок модели. Внутренние стержни и вкладыши прозрачной модели изготавливают из пластмассы АСТ-Т или гипса. При таком способе изготовления значительно сокращаются сроки и трудоемкость изготовления оболочек [4, 33].

Глава VII

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

1. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Как было показано в предыдущих главах книги, литниковая система, обеспечивая доставку жидкого металла от литниковой чаши к полости формы и осуществляя ее заполнение с заданной скоростью, оказывает тем самым важнейшее влияние на качество поступающего в отливку расплава, динамику его потоков в форме и тепловой режим охлаждающейся отливки. Все эти факторы определяют структуру литого металла, а следовательно, формируют основные свойства отливки, от которых зависит качество, надежность и долговечность в работе литых деталей.

Отмечалось также, что неправильное устройство литниковой системы может вызвать появление в отливке большого количества разнообразных дефектов, образующихся во время заполнения формы или в процессе охлаждения и затвердевания отливки, особенно дефектов типа неслитин и недоливов, неметаллических включений, главным образом пены и шлаков, и дефектов усадочного происхождения (раковин, пористости, трещин коробления и др.), связанных с нарушением теплового режима заполнения формы.

Указанные виды дефектов оказывают решающее влияние на плотность, прочность и эксплуатационные свойства отливок. Кроме того, они в технологическом отношении (особенно неметаллические включения) наиболее трудноустраняемы. Поэтому отработка технологических режимов изготовления новых отливок и сроки их освоения на производстве (если не считать изготовления литейной оснастки) во многом связаны с тем, насколько удачно выбрана конструкция литниковой системы, правильно определены ее размеры, способ и место подвода расплава в форму. От конструкции литниковой системы зависят также размеры литейной формы, а значит, и затраты труда и материалов на ее изготовление.

Таким образом, совершенствование применяемых на практике литниковых систем и методов их проектирования способст-

вует повышению качества, эксплуатационных свойств, себестоимости отливок и эффективности производства. При этом технико-экономические преимущества внедрения в промышленность современных литниковых систем и методов их проектирования обеспечиваются в результате: 1) повышения прочности и плотности отливок, достигаемого вследствие уменьшения их дефектности; 2) снижения расхода металла на литниковую систему и уменьшения массы литой детали вследствие увеличения удельной прочности сплава; 3) сокращения окончательного и исправимого брака, который в разных цехах колеблется в среднем от 5 до 10%, а по отдельным отливкам достигает 30—40%; 4) сокращения трудоемкости и сроков разработки литейной технологии, а также сроков и трудовых затрат при освоении новых литых деталей на производстве.

2. ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТЛИВОК

Наибольшее влияние на механические свойства сплавов из технологических факторов, связанных с процессом заполнения формы, оказывают скорость течения расплава в форме, конструкция литниковой системы, способ подвода сплава и температура его заливки. Эти факторы влияют на формирование структуры сплава, развитие пористости, возникновение неметаллических включений и таким образом определяют прочностные характеристики отливки.

Влияние скорости течения расплава в форме на механические свойства отливок изучали многие исследователи. Так, в работе [43] заливали сплавом АЛ9 горизонтально расположенные в кокиле пластины толщиной 5, 8, 12 и 16 мм. Литниковую систему, состоящую из стояка, коллектора и питателей сечением $50 \times \delta_{отл}$ мм выполняли в песчаных стержнях, изменяя соотношения $F_c : F_k : F_n$ в пределах от 1:4:6 до 1:1,2:1,1. Изменение скорости течения металла в форме достигали применением стояков различного диаметра: 8, 14, 16 и 24 мм, высота которых, т. е. напор, оставалась неизменной и составляла во всех случаях 100 мм. Механические свойства изучали на гагаринских образцах, вырезаемых

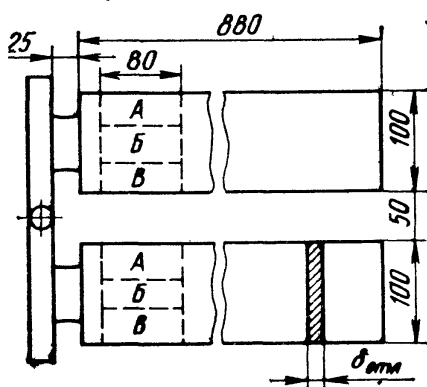


Рис. 93. Схема подвода металла к пластинам и вырезки образцов для определения механических свойств

из трех зон (А, Б и В) по ширине пластин (рис. 93). Механические свойства пластин толщиной 8 мм в зависимости от скорости потока в форме приведены на рис. 94. При этом значения скоростей потока в форме рассчитаны автором данной книги по

из трех зон (А, Б и В) по ширине пластин (рис. 93). Механические свойства пластин толщиной 8 мм в зависимости от скорости потока в форме приведены на рис. 94. При этом значения скоростей потока в форме рассчитаны автором данной книги по

формуле

$$v_{\phi} = v_c \frac{F_c}{F_{\phi}} = \mu \sqrt{2gH} \frac{F_c}{F_{\phi}},$$

где F_{ϕ} — площадь поперечного сечения формы, равная $100 \times \delta_{\text{отл}}$, мм; H — высота напора, равная 100 мм.

Расчеты проведены с некоторыми допущениями, а именно поперечное сечение потока металла при его продвижении вдоль формы принято равным поперечному сечению формы. Значения коэффициента расхода для стояков диаметром 8, 14, 18 мм и больше соответственно приняты 0,65, 0,75 и 0,85.

Как видно, с увеличением скорости потока (диаметра стояка) разброс показателей механических свойств по зонам пластин (рис. 94,а) увеличивается, и разница по σ_b доходит до 12 кгс/мм². Показатели относительного удлинения (рис. 94,б) с увеличением v_{ϕ} распределяются хотя и более равномерно, однако разница по зонам и здесь остается существенной (66%). Наименьшее значение прочности, наблюдаемое в средней части пластин (зона Б), объясняется образованием проточных зон, в которых вследствие дополнительного прогрева металл затвердевает в последнюю очередь и с наименьшей скоростью. Рентгеновские снимки пластин показали наличие пористости в проточных зонах, которая увеличивается с увеличением скорости потока в форме. Аналогичную картину распределения механических свойств авторы работы [43] наблюдали и на пластинах других толщин.

Влияние скорости подъема расплава в песчаной форме на прочность отливок изучали [6], заполняя сплавом АЛ2 через нижнюю и вертикально-щелевую системы вертикальные пластины высотой $h_{\text{отл}}=400$, шириной $b=300$ и толщиной $\delta_{\text{отл}}=10, 15$ и 20 мм. Изменение скорости достигали подбором стояков различного диаметра при сохранении соотношения $F_c : F_k : F_{\text{п}}=1 : 2 : 3$. Среднюю скорость подъема металла в форме оценивали отношением высоты отливки к продолжительности заливки, а механические свойства определяли на плоских образцах.

Как видно на рис. 95, максимальная прочность наблюдается с понижением скорости заполнения формы до ее оптимальной величины $v_{\text{опт}}$. Дальнейшее снижение скорости потока в форме (см. рис. 95) приводит к образованию в отливке дефектов типа неслитин.

При вертикально-щелевой литниковой системе заливали пластины с $h_{\text{отл}}=400$, $\delta_{\text{отл}}=5 \div 10$ и $b=400$ мм и полые цилиндры с $h_{\text{отл}}=400$, наружным диаметром 300 и $\delta_{\text{отл}}=5 \div 10$ мм. Расплав подводили к торцовой части пластины, т. е. вдоль полости формы, а при заливке цилиндров — радиально, в стержень, который выполнял роль гидравлического сопротивления типа «экран». Среднюю скорость оценивали отношением расхода на

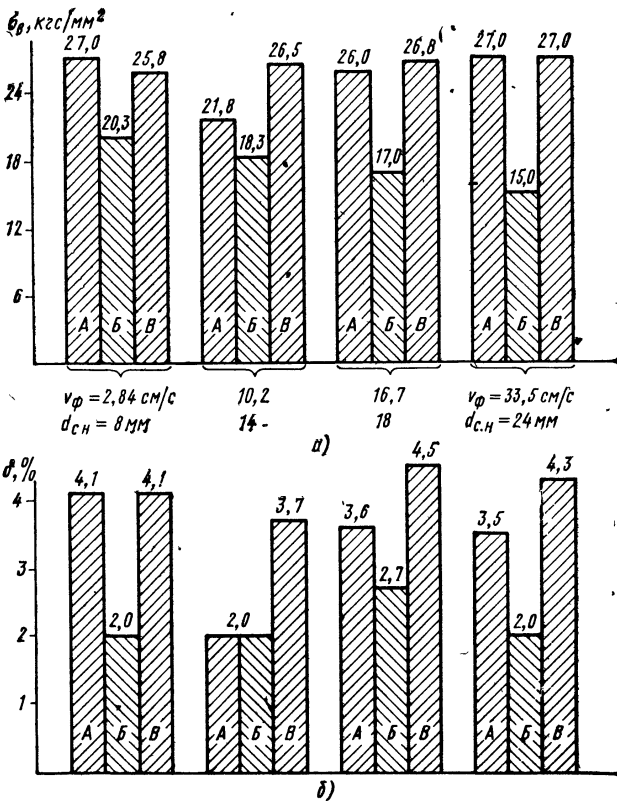


Рис. 94. Зависимость предела прочности при растяжении (а) и относительного удлинения (б) образцов из сплава АЛ19 (термообработка по режиму Т5) от скорости течения расплава в форме: А, Б, В — зоны вырезки образцов по рис. 94

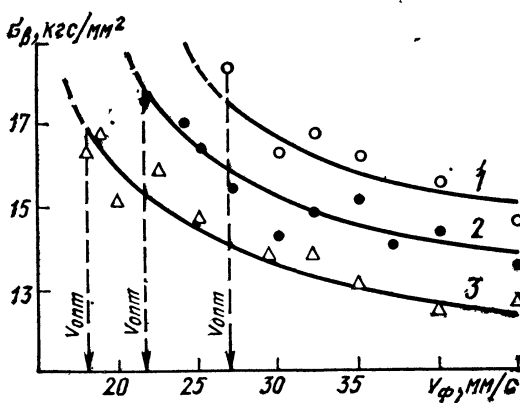


Рис. 95. Зависимость прочности отливок от скорости течения металла в форме при толщине стенки: 1—10; 2—15; 3—20 мм

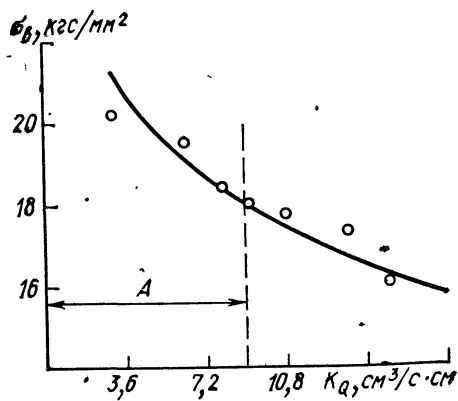


Рис. 96. Изменение прочности пластины в зависимости от коэффициента расхода металла K_Q (А — оптимальная область)

единицу длины отливки (l), т. е. величиной $K_Q = Q/l = \delta_{отл} v_{ф}$. С увеличением скорости заполнения K_Q прочность отливок резко снижается (рис. 96).

Основная причина неоднородности механических свойств отливки — завышенная скорость металла в полости формы, приводящая к разбрызгиванию сплава и пенообразованию.

В цилиндрических отливках эта тенденция наблюдается при гораздо меньших значениях скоростей, что связано с возникновением дополнительных возмущений потока из-за наличия «экрана», приводящих к образованию пены и окислов.

Условие надежности и долговечности станочных отливок (отклонение прочности от среднего значения не более 12—14% [6]) обеспечивается при $K_Q \leq 8,7 \text{ см}^3/(\text{с} \cdot \text{см})$ в случае подвода металла по ходу полости формы и при $K_Q \leq 3,6 \text{ см}^3/(\text{с} \cdot \text{см})$ в случае наличия гидравлического сопротивления типа «экрана» (см. рис. 96, зона А).

Результаты, полученные при заливке опытных образцов отливок, подтверждены опытами на реальных отливках. Так, в работе [66] описана заливка с различной скоростью сплавом АЛ9 крупных кокильных отливок сложной конфигурации массой 106—109 кг. При снижении скорости подъема расплава в форме примерно в 2,1 раза (время заливки увеличено с 10,5 до 22,4 с) во всех сечениях отливок механические свойства стали более равномерными, а среднее значение прочности σ_b образцов, вырезанных из отливок, возросло с 19,4 до 20,3 кгс/мм².

Конструкция литниковой системы, способ и место подвода расплава в форму существенно влияют на распределение механических свойств, так как от этих факторов зависит равномерность поступления металла по периметру и высоте отливки.

В результате неблагоприятных условий заполнения нарушается тепловой режим формы, образуются проточные зоны и перегрев отдельных мест, в которых развивается пористость, укрупняется структура и, как результат этого, снижаются прочностные показатели сплава.

Как было показано (см. гл. I, п. 2, гл. II, п. 5 и 6), неравномерность заполнения особенно сказывается на крупногабаритных тонкостенных отливках, заливаемых через нижние и вертикально-щелевые системы. Поэтому эти системы и являются объектом более глубокого изучения с точки зрения влияния способа подвода на распределение свойств в отливке. С целью изучения этого влияния производили заливку сплавом АЛ2 вертикальных пластин высотой $h_{отл} = 200 \div 400$, шириной $b = 300$ и толщиной стенки $\delta_{отл} = 5 \div 20$ мм [76]. Металл в полость песчаной формы подводили снизу литниковыми системами с различным числом питателей (рис. 97).

Как видно (рис. 98), наибольший разброс механических свойств наблюдается при применении сосредоточенного подвода расплава (литниковые системы типа I, II, рис. 97), когда снизу

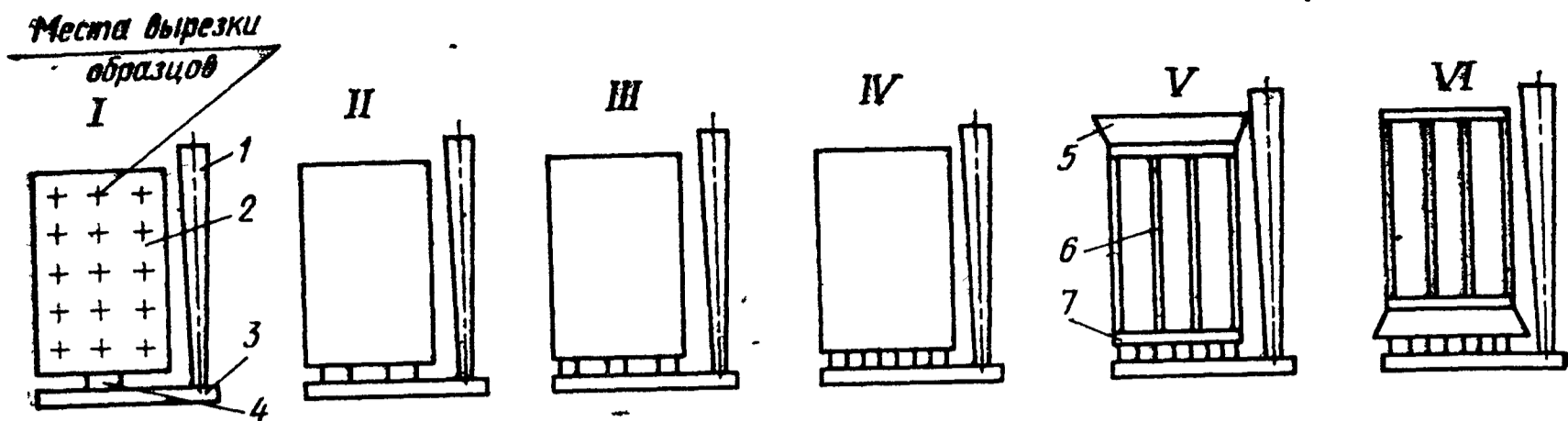


Рис. 97. Схема подвода расплава к вертикальным плитам через нижнюю литниковую систему:

I — с одним питателем; II — с двумя питателями; III — с тремя питателями; IV — с четырьмя питателями; V — с четырьмя питателями и прибылью в верхней части, VI — с четырьмя питателями и прибылью в нижней части (поворот формы после заливки на 180°); 1 — стояк; 2 — отливка; 3 — коллектор; 4 — питатель; 5 — прибыль; 6 — ребро (технологическое); 7 — фланец

возникает проточно-поперечное заполнение. Рассредоточенный подвод металла, размещение на отливке ребер в местах образования протоков и их подпитка за счет прибыли (литниковые системы типа IV—VI, рис. 97) способствуют резкому снижению неравномерности свойств отливки.

С увеличением высоты отливки и уменьшением толщины ее стенки (рис. 98), т. е. с увеличением отношения $h_{отл}/\delta_{отл}$ увеличивается разброс значений ее прочности. По данным работы [76], нижние системы обеспечивают удовлетворительную прочность плоскостных отливок (отклонение прочности от оптимальных значений не превышает 12—14%), если отношение $h_{отл}/\delta_{отл} \leq 35 \div 55$ (в зависимости от способа подвода расплава).

При бóльших значениях $h_{отл}/\delta_{отл}$ необходимо применять вертикально-щелевые или ступенчатые литниковые системы, кото-

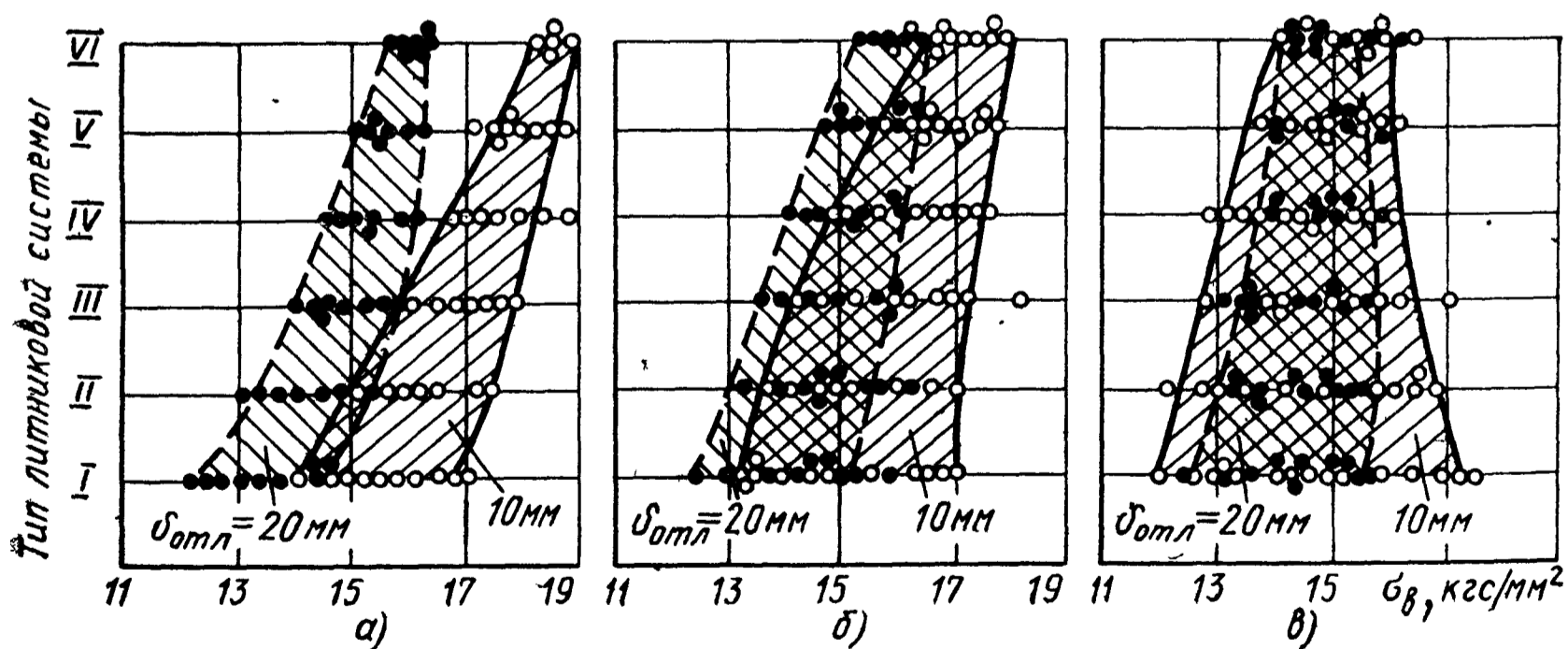


Рис. 98. Зависимость разброса прочности отливки от способа подвода расплава (типы литниковых систем и места вырезки образцов для механических испытаний по рис. 97):

а — $h_{отл} = 200$; б — $h_{отл} = 300$; в — $h_{отл} = 400$ мм

рые позволяют создать более благоприятные тепловые режимы заполнения и питания отливки.

Влияние способа подвода расплава на качество отливок и разброс механических свойств наблюдали также, заливая в горизонтальном положении отливки панельного типа [11] и вертикального расположенные в форме фасонные отливки [66].

Таким образом, эксперименты подтверждают, что механические свойства отливок, скорость заполнения формы, конструкция литниковой системы, способ и место подвода расплава в форму взаимосвязаны. Конечно, полученные при этом количественные показатели механических свойств, строго говоря, относятся только к конкретным условиям литья (температура заливки, способ обработки сплава, материал и температура формы и др.), при которых проводились опыты. Однако здесь важно показать, что благодаря применению рациональной литниковой системы для каждой конкретной отливки, можно достичь существенного улучшения распределения свойств по ее сечению, а значит, повысить прочность и служебные свойства литой детали. Такого рода эксперименты уже давно широко практикуются в передовых литейных цехах и ставятся всякий раз, когда перед технологом возникает задача проектирования литниковых систем для высоконагруженных отливок ответственного назначения.

3. СНИЖЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Разработкой и освоением литейной технологии занимаются тысячи квалифицированных специалистов литейного производства. Поэтому снижение трудоемкости проектирования технологии литейной формы и, в частности, литниковой системы приобретает народнохозяйственное значение.

Трудоемкость освоения отливки и связанные с этим технологические работы по отработке и корректировке намеченной первоначально литниковой системы во много раз превышают трудоемкость первоначальных затрат инженерного труда на разработку литниковой системы.

Внедрение в промышленность расчетных методов проектирования литниковой системы сокращает время технолога на поиск необходимых данных, позволяет в первоначальном варианте заложить конструкцию литниковой системы, которая является близкой к оптимальной и требует относительно меньшего времени на ее доводку.

Важным резервом дальнейшего сокращения сроков проектирования и освоения литниковых систем является разработка отраслевых стандартов на конструкцию и размеры литниковой системы для определенных групп отливок. Такие стандарты [26], отражающие передовой опыт заводов отрасли, устанавли-

вают типовые режимы заполнения формы, достижение которых также обеспечивается литниковыми системами, разработанными по типовой технологии. Это не только сокращает время на все виды технологических работ, но и, что самое важное, повышает качество отливок на однотипную продукцию, а также дает возможность установить единые трудоемкости на проектирование литниковых систем и освоение новых отливок.

Унифицированные конструкции литниковых систем, как правило, позволяют уменьшить на 20—30% площадь узкого сечения, что сокращает расход металла на отливку на 10—15%.

Дальнейшим этапом снижения трудоемкости проектирования литниковой системы является использование ЭВМ при выборе типа литниковой системы [28], рационального способа подвода расплава в форму [54], выполнение расчетов узкого места литниковой системы и других проектно-технологических работ.

Опыты свидетельствуют о целесообразности применения ЭВМ для проектирования литниковых систем.

С внедрением ЭВМ сокращается трудоемкость и сроки разработки литейной технологии, а значит, и общий цикл технологической подготовки производства, что благоприятно сказывается на сроках освоения и выпуска изделий новой техники, играющих важнейшую роль в ускорении научно-технического прогресса.

4. ПРИМЕРЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Как было показано, неправильное устройство литниковой системы приводит к появлению различных дефектов, снижающих качество отливок или приводящих к их окончательному браку.



Рис. 99. Крышка из сплава АЛ2 с литниковой системой, не обеспечивающей качество детали (конструкция усовершенствованной литниковой системы показана на рис. 85)

Ниже на основе заводских данных рассмотрены примеры совершенствования литниковых систем.

Литье в песчаные формы. На рис. 99 показана отливка, крышка с литниковой системой, состоящей из двух коллекторов, трех основных, двух промежуточных питателей и стояка диаметром 25 мм. ($F_c : F_k : F_{\Pi} = 1 : 2 : 4$). Первоначально деталь отливали с одним коллектором, что приводило к появлению в верхней части крышки шлаковых включений, нарушающих герметичность крышки.

Введение второго коллектора снизило количество шлаков, но не ликвидировало их полностью — до 15% отливок по-прежнему уходили в брак при испытании на герметичность. Брак по негерметичности был полностью устранен после применения литниковой системы, размеры и конструкция которой приведены на рис. 85.

Таблица 29

Гидродинамические параметры литниковых систем двух вариантов для отливки «крышка»

Система	F_c , см ²	$d_{c.н}$, мм	Re_c	Re_k	Re_{Π}	Re_{Φ}
Представленная на рис. 85 (улучшенный вариант)	3,4	12	33 000	19 000	6600	1070
Представленная на рис. 99	4,9	25	70 000	31 000	6800	1450

Из табл. 29 видно, что улучшенная система отличается тем, что ее каналы обеспечивают движение расплава с меньшей турбулентностью.

На рис. 100 представлен корпус, отлитый с применением усовершенствованной литниковой системы, состоящей из четырех стояков диаметром 16 мм, коллектора и восьми питателей ($F_c : F_k : F_{\Pi} = 1 : 4 : 6$).

Внедрение данной системы взамен прежней (два стояка с $d_{c.н} = 25$ мм, $F_c : F_k : F_{\Pi} = 1 : 2 : 4$) позволило значительно снизить турбулентность потоков в литниковых каналах и форме и устранить дефекты в виде пены и шлаков, скапливающихся в верхней части корпуса.

На рис. 101 показан корпус, отлитый с усовершенствованной литниковой системой, состоящей из стояка ($d_{c.н} = 20$ мм, $h_c = 150$ мм), коллектора и четырех вертикально-щелевых питателей. Кажется бы для такой невысокой отливки ($h_{отл} = 120$ мм) целесообразной является нижняя литниковая система. Однако при заливке через нижнюю систему происходил разогрев нижних частей и боковых толстых стенок отливки ($\delta_{отл} = 25$ мм).

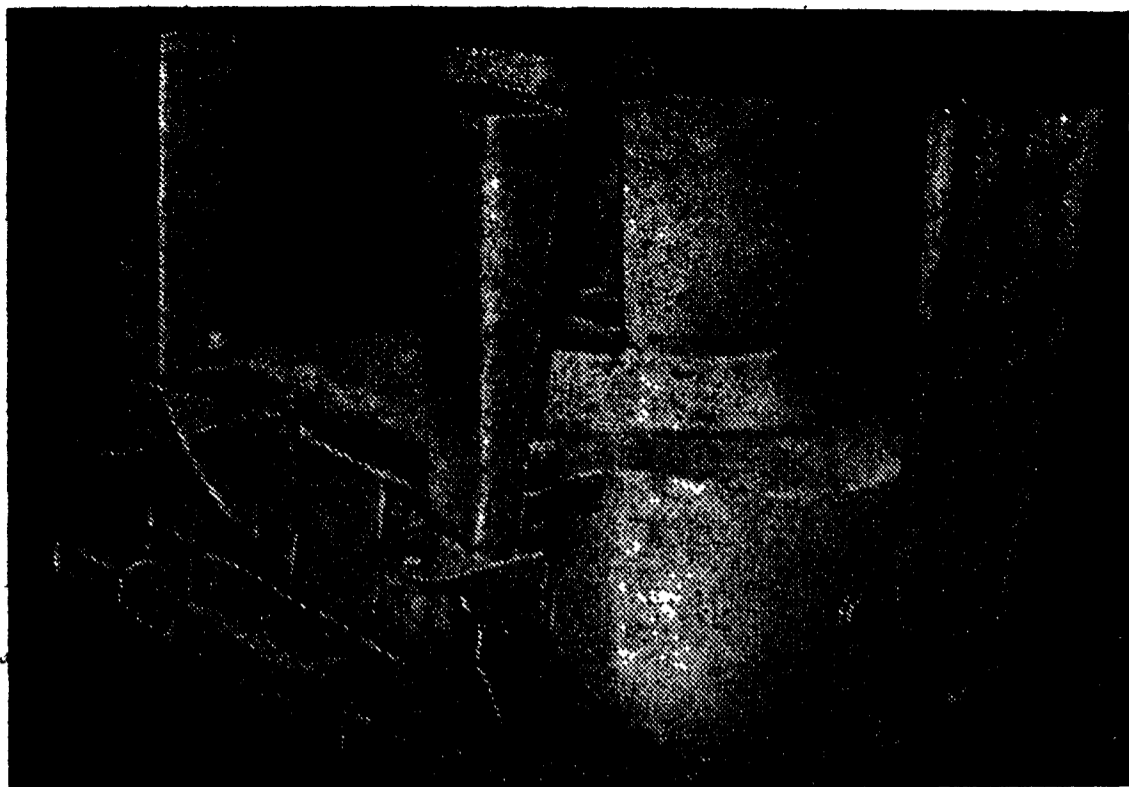


Рис. 100. Корпус из сплава АЛ9, отлитый с применением улучшенной литниковой системы (масса отливки без прибылей 46 кг, габаритные размеры 780×490×300 мм, толщина стенки 6 мм)

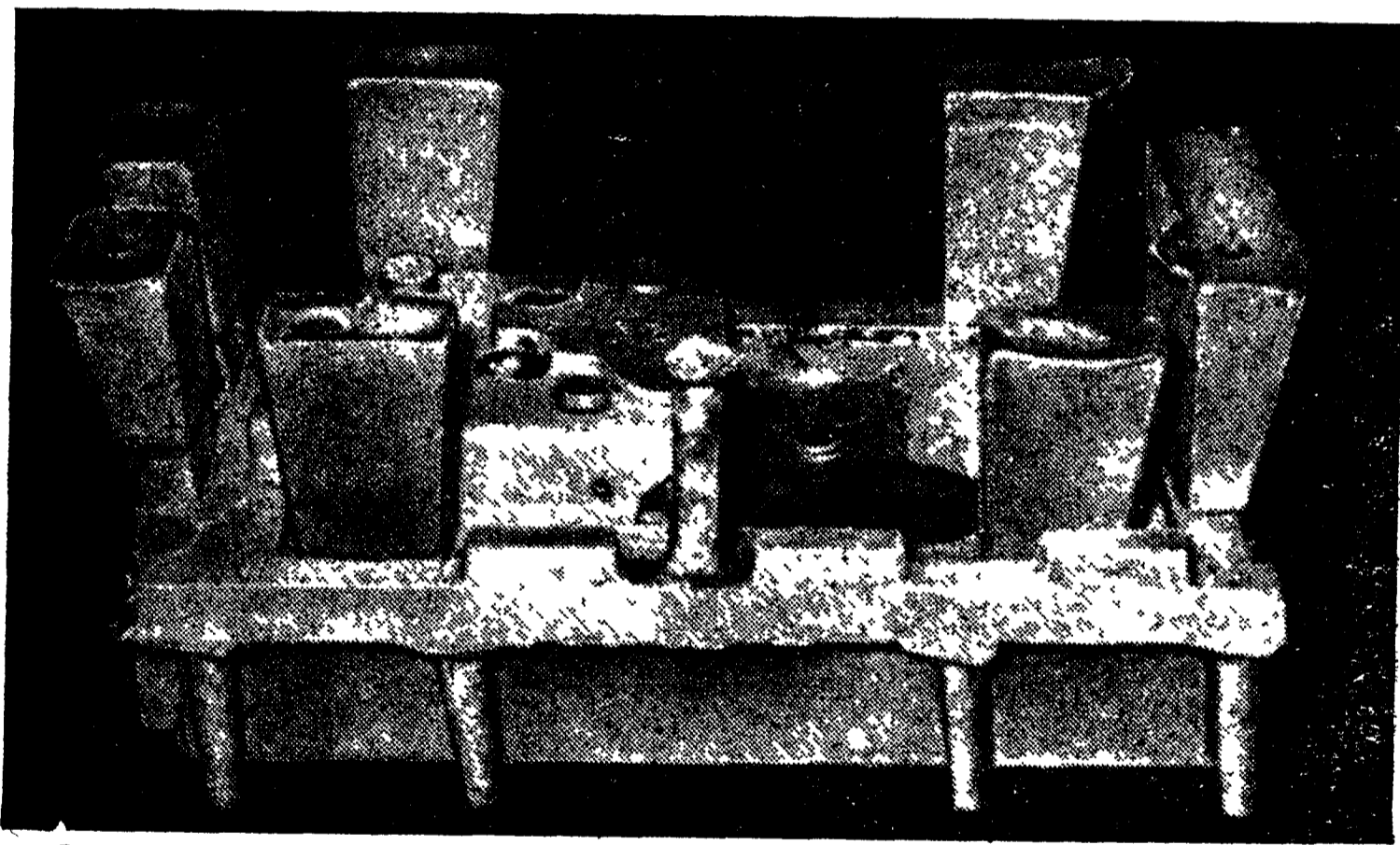


Рис. 101. Корпус из сплава АЛ2, отлитый с применением улучшенной литниковой системы (масса отливки без прибылей 20 кг, габаритные размеры 750×340×120 мм)

Вследствие этого возникли дефекты усадочного характера, вскрываемые при механической обработке деталей.

С введением вертикально-щелевых питателей уменьшился перегрев нижних слоев отливки и устранились указанные выше дефекты.

На рис. 102 приведены два варианта технологии заливки патрубков.

При заливке через обычную нижнюю систему (рис. 102, а) 20% отливок имело неисправимый брак по негерметичности. Течь обнаруживалась главным образом в узлах сопряжения внутренних ребер с вертикальной стенкой, где выявлялись дефекты усадочного характера.

Дополнительное введение второго яруса по верхнему разъему форм с подводом металла через две отводные прибыли (рис. 102, б) улучшило тепловой режим охлаждения отливки, ее питание и обеспечило полную ликвидацию указанного брака.

Несмотря на небольшую толщину питателей отводных прибылей (8—16 мм), последние работали эффективно, что подтверждалось усадкой верхней и боковых поверхностей прибылей.

На рис. 103 дана схема старой и новой технологии отливки головки фильтра.

При подводе металла к отливке посредством двух питающих колодцев с вертикально-щелевыми питателями (рис. 103, а) возникали внутренние утяжины под верхним фланцем в районе большой правой прибыли. При сверлении отверстий на этом участке вскрывались усадочные рыхлоты, которые приводили к потере герметичности отливок. Окончательный брак по течи составлял около 20%.

Указанные дефекты не удалось ликвидировать ни путем введения холодильников на утолщениях, ни увеличением толщины прибылей.

Введение дополнительной ветви коллектора с подачей расплава через третий вертикальный колодец в щелевой питатель в правый торец отливки (в основание средней прибыли) позволило уменьшить местный перегрев подприбыльных участков поверхности формы и одновременно подавать в прибыль более горячий металл. Была снята также левая средняя прибыль, так как в нее невозможно было подать горячий металл, и в то же время расширена нижняя часть оставшейся прибыли для обеспечения питания средних массивных узлов верхнего кольца.

Благодаря указанному изменению литниковой системы был полностью ликвидирован систематический брак по негерметичности.

Литье в кокиль. На рис. 104 приведены два варианта технологии отливки корпуса маслоуловителя. При заливке по схеме (рис. 104, а) происходил захват воздуха и скопление мелких воздушных раковин у верхней рабочей поверхности отливки, на участке около ее вертикальной оси. Причем установленный в этом месте отливки шлакоборник не полностью улавливал неметаллические включения.

Для снижения турбулентности потока, предотвращения захвата воздуха и проникновения пены в коллектор был изменен профиль стояка, произведено его плавное соединение со шлакоборником, установленным в нижней части системы, введен про-

межуточный канал, удлинен коллектор, а вместо одного большого питателя установлены два, но меньших размеров. В результате брак отливок был снижен с 6 до 1,5%.

На рис. 105 приведены два варианта технологии отливки кронштейна.

При подводе металла через боковой питатель (рис. 105, а) наблюдался значительный брак отливок по трещинам и рыхлотам, возникающим вследствие местного перегрева боковой части отливки.

С подводом расплава к нижней части кронштейна через отводную прибыль (рис. 105, б) устранился местный перегрев, улучшилось питание нижнего фланца и полностью ликвидировался брак отливок.

Частыми дефектами отливок тракторных поршней, вскрываемыми при механической обработке, являются: газовые раковины на поверхности и в отверстиях бобышек поршня; усадочные рыхлоты на днище и под питателем, усадочные дефекты в верхней части поршня против питателя и в отверстии, газовая пористость и неметаллические включения.

Для предотвращения указанных дефектов опробовали [52] три варианта вертикально-щелевых систем с незаполненным стояком (рис. 106).

В первом случае (рис. 106, а) стояк соединен с прибылью сплошной вертикальной щелью. При заливке струя металла с высоты, равной разности уровней в стояке и прибыли, падает в полость кокиля в течение некоторого времени, вызывая возникновение завихрений, вспенивание и захват воздуха, пока уровень металла в прибыли не приблизится к его уровню в стояке. По-

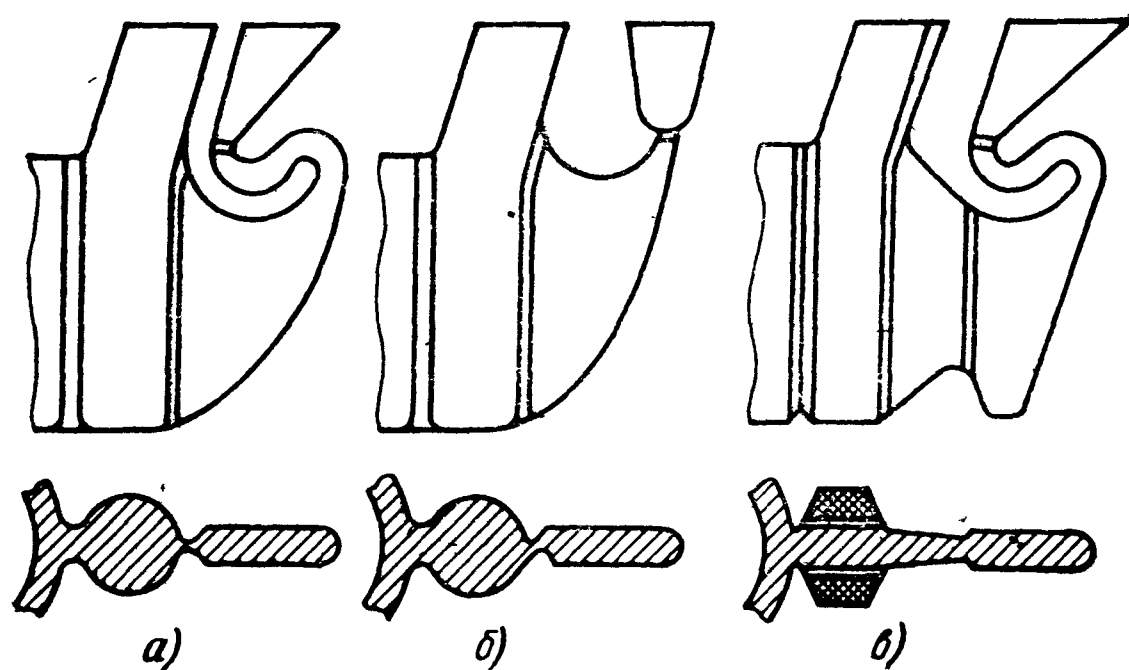


Рис. 106. Три варианта схем литниковой системы для отливок автомобильных поршней из заэвтектических сплавов [52]

следующее заполнение происходит уже струей с небольшой высоты. Брак по газовым раковинам при этом составлял 4—5% при общем 8—10%.

Во втором варианте (рис. 106, б) расплав подведен к прибыли по касательной и изменена конфигурация заливочной чаши

и стояка. Брак по газовым раковинам после внедрения этой литниковой системы не уменьшился.

В третьем варианте системы (рис. 106, в), разработанной на прозрачной гидромодели, стояк соединяется с прибылью расширяющимся наклонным щелевым каналом. Мощность вихрей здесь значительно меньше, и заполнение формы происходит спокойно, ламинарными потоками. После внедрения в производство этой системы брак по газовым раковинам на поверхности и в отверстии под «палец» снизился в 2 раза.

На дальнейшем этапе совершенствования этой системы была поставлена задача увеличить объемный расход расплава при одновременном сохранении низкой линейной скорости движения металла, а значит, и минимальной турбулентности [53]. Эта задача была решена путем замены одного стояка четырьмя карандашными, расположенными в половинках кокиля в шахматном порядке (рис. 107).

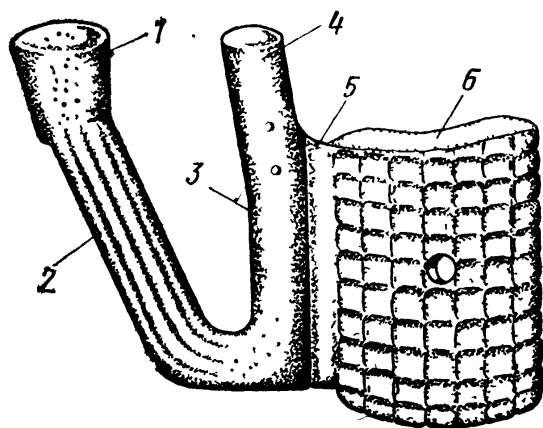


Рис. 107. Отливка поршня с улучшенной конструкцией литниковой системы [53]:

1 — чаша; 2 — стояки (4 шт.); 3 — вертикальный колодец; 4 — прибыль; 5 — щелевой питатель; 6 — отливка

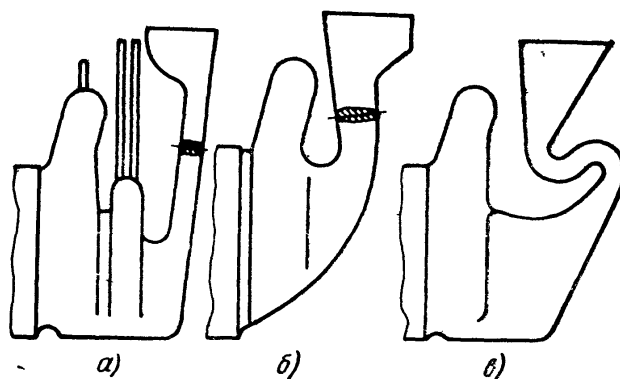


Рис. 108. Три варианта схем литниковых систем для отливок тракторных поршней из сплава АЛ10В [88]

Близкое расположение каналов (зазор не более 2 мм) замедляет охлаждение в них металла, а перемычки между каналами имеют достаточную толщину (до 14 мм), что предотвращает выкрашивание из-за разгара и трещин. Стояки в нижней части соединены общим щелевым каналом, площадь поперечного сечения которого меньше, чем у стояков.

Металл в колодец подводится по касательной с тем, чтобы создать дополнительное торможение. Толщина щелевого питателя между отливкой и колодцем в верхней части равна 12 мм, в нижней части — 16 мм, а в месте перехода от массивного днища к «юбке» поршня питатель имеет расширение до 25 мм.

Внедрение этой системы позволило избежать излишнего охлаждения расплава в литниковой системе, что предотвращает

чрезмерный рост и обособление первичных кристаллов кремния при заливке поршней заэвтектическими силуминами.

В отливках тракторных поршней обнаруживаются несколько дефектов одновременно: брак по усадке возникает при недостаточной толщине питателя, образование шлаковых включений происходит вследствие турбулентного движения металла, вызывающего разрыв окисной пленки на поверхности струи, захват пузырьков воздуха и их замешивание в расплав.

Уменьшение скорости подъема расплава в форме способствует всплыванию захваченных литниковой системой пузырьков воздуха.

Для повышения качества поршней и снижения брака опробовали [88] три варианта системы (рис. 108).

Лучшие результаты дала литниковая система (рис. 108, б), при которой сплав из плоского прямого стояка — «гусиная шейка» с наклоном до 8° подводится в питающую прибыль, а из нее через вертикально-щелевой питатель переменной ширины (с сужением вверху) в отливку. Брак отливок поршней был снижен с 6—8 до 0,6—1,0%, а выход годного увеличен на 5—6%.

Описанные примеры показывают, как благодаря изменению размеров и конструкции литниковых систем удается исключить или свести к минимуму появление в отливках различных дефектов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПЛОТНОСТЬ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Алюминий		АЛ2		Al + 19,4% Cu	
$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$
800	2345	775	2390	800	2715
765	2345	770	2390	750	2745
730	2363	740	2400	700	2758
720	2368	720	2400	650	2772
700	2373	700	2410	600	2787
690	2376	660	2415	—	—
670	2379	650	2420	—	—

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ [34]

Сплав	$t, ^\circ\text{C}$	$\sigma, \text{н/м}$
Алюминий (чистый)	700—750	0,850
Силумин с 10% Si	700—750	0,840—0,830
Al — Zn		0,820
Al — Mg		0,650—0,630
Магний (чистый)	Перегрев над ликвидусом 50—80	0,526—0,509
Млб		0,529
Mg — Zn		0,550—0,530

**НЕКОТОРЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ СВОЙСТВА
АЛЮМИНИЕВЫХ И МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ [1]**

Сплав	Линейная усадка, %	Жидкотекучесть (прутковая проба), мм	Сплав	Линейная усадка, %	Жидкотекучесть (прутковая проба), мм
АЛ8	1,3	280	Мл2	1,6—1,9	270
АЛ27	1,2	270	Мл3	1,4—1,6	215
АЛ13	1,2	320	Мл4	1,2—1,4	245
АЛ22	1,2	380	Мл4 п. ч.	1,2—1,4	245
АЛ2	0,9	420	Мл5	1—1,2	290—300
АЛ4	1,0	360	Мл5 п. ч.	1—1,2	390—300
АЛ9	1,0	350	Мл5 о. н.	1—1,2	290—300
АЛ7	1,4	163	Мл6	1,1—1,2	330
АЛ19	1,25	205	Мл8	1,2—1,4	290
АЛ3	1,15	240	Мл9	1,2—1,4	250
АЛ5	1,1	344	Мл10	1,2—1,5	250
АЛ6	1,1	300	Мл11	1,2—1,4	290
АЛ4М	1,0	375	Мл12	1,2—1,4	290
АЛ1	1,35	260	Мл15	1,2—1,5	320
АЛ20	1,2	320			
АЛ21	1,2	360			
АЛ24	1,2	230			
АЛ25	1,11	425			
АЛ26	1,1	400			

Примечание. Температура заливки алюминиевых сплавов 700°C.

**ИНТЕРВАЛЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ
АЛЮМИНИЕВЫХ И МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ [1]**

Марка	Температура ликвидуса, °С	Температура, солидуса, °С	Марка	Температура ликвидуса, °С	Температура солидуса, °С
АЛ1	630	535	Мл2	650	645
АЛ2	577	577	Мл3	628	561
АЛ3	616	577	Мл4	610	400
АЛ4	601	569	Мл5	607	430
АЛ5	622	570	Мл6	600	440
АЛ6	620	577	Мл10	640	550
АЛ7	649	544	Мл11	648	593
АЛ9	620	577	Мл12	635	550
АЛ19	650	548	Мл15	631	539
АЛ12	623	592			

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтман М. Б., Лебедев А. А., Чухров М. В. Плавка и литье легких сплавов. М., «Металлургия», 1969. 680 с.
2. Андрус Р. С. Л. Техника оболочкового литья в США. Пер. с англ. Под ред. В. М. Шестопала. М., «Машиностроение», 1968. 223 с.
3. Аникин Б. А., Галдин Н. М. Опыт повышения качества и надежности литых деталей машин. Материалы конференции «Надежность и долговечность литых деталей машин». М., МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1966, с. 29—34.
4. Бабайцев А., Шляпин В. Моделирование процесса течения жидкого алюминиевого сплава в кокиле и улучшение конструкции литниковых систем. — В кн.: Прогрессивные методы и процессы в литейном производстве. (Тезисы докладов научно-технической конференции). Волгоградское областное правление НТО Машпром, Нижне-Волжское ЦБТИ, г. Волгоград, 1968, с. 58—61.
5. Баландин Г. Ф. Основы теории формирования отливки. Часть 1. (Тепловые основные теории. Затвердевание и охлаждение отливки). М., «Машиностроение», 1976. 328 с.
6. Барбашин Н. Н., Неустроев А. А., Чистяков В. В. Влияние условий заполнения форм на свойства крупногабаритных тонкостенных отливок. — В кн.: Свойства сплавов в отливках. Труды семнадцатого совещания по теории литейных процессов. АН СССР. М., «Наука», с. 144—148.
7. Бастраков В. К. Некоторые рекомендации по выбору способа и места подвода металла в полость формы. — В кн.: Научные труды Пермского политехнического института, № 94. Пермь, ППИ, 1971, с. 19—27.
8. Бастраков В. К., Поручиков Ю. П. Давление струи металла на стенку формы. — В кн.: Научные труды Пермского политехнического института, № 55. Пермь, ППИ, 1969, с. 3—12.
9. Беднарик М. Исследование течения металла с целью усовершенствования техники литья. — В кн.: 27-й международный конгресс литейщиков. М., Машгиз, 1963, с. 199—217.
10. Василевский П. Ф. Технология стального литья. М., «Машиностроение», 1974. 408 с.
11. Влияние технологических факторов на механические свойства тонкостенных отливок. — В кн.: Механические свойства литого металла. Труды восьмого совещания по теории литейных процессов. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 275—280. Авт.: Г. Ф. Баландин, Э. Ч. Гини, Е. А. Соколов и др.
12. Волков В. М. Многопитательные литниковые системы. — «Литейное производство», 1968, № 8, с. 13—15.
13. Галдин Н. М. Условия задержания шлаковых включений в литниковых системах для алюминиевых сплавов. — В кн.: Дефекты отливок и меры по их предупреждению. Материалы семинара. М., МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1970, с. 159—165.

14. Галдин Н. М., Надежин А. М. Экспериментальное определение коэффициента расхода литниковых систем для отливок из алюминиевых сплавов. — В кн.: Вопросы производства отливок из алюминиевых сплавов. М., «Машиностроение», 1966. Труды МАТИ, вып. 67, с. 97—112.
15. Галдин Н. М., Шаров М. В. Расчет литниковых систем для отливок из алюминиевых сплавов. — «Литейное производство», 1971, № 2, с. 3—5.
16. Галдин Н. М., Шаров М. В., Надежин А. Н. Исследование литниковых систем, применяемых при литье алюминиевых сплавов. — В кн.: Исследования процессов литья алюминиевых, магниевых и титановых сплавов. М., «Машиностроение», 1969. Труды МАТИ, вып. 70, с. 87—96.
17. Горбунов Ф. Е., Никифиров И. А. Выбор литниковой системы с помощью объемно-прозрачной формы. — «Литейное производство», 1963, № 9, с. 39—40.
18. Гуляев Б. Б. Теория литейных процессов. Л., «Машиностроение», 1976. 214 с.
19. Гуляев Б. Б., Гетьман А. А. Особенности коэффициента расхода литниковых систем. — «Литейное производство», 1963, № 9, с. 39—40.
20. Дубицкий Г. М. Литниковые системы. Москва—Свердловск, Машгиз, 1962. 256 с.
21. Дубицкий Г. М., Лучинина Т. А. Исследование заполняемости форм при литье алюминиевых сплавов. — В кн.: Литейные свойства металлов и сплавов. Труды одиннадцатого совещания по теории литейных процессов. М., «Наука», 1967, с. 51—55.
22. Дубицкий Г. М., Токарев Ж. В. Конструкции и методы расчетов литниковых систем для отливок из цветных сплавов. — В кн.: XVIII Всесоюзная конференция литейщиков. НТО Машпром, М., «Машиностроение», 1966, 221—234.
23. Дубицкий Г. М., Чуркин Б. С. Исследование процессов течения технической чистых металлов и эвтектических сплавов в песчаных формах. — В кн.: Новое в теории и практике литейного производства. (Материалы научно-технической конференции, апрель, 1966). Пермское областное управление НТО Машпрома, Западно-Уральское ЦБТИ, Пермь, 1966, с. 63—70.
24. Емли Е. Ф. Новейшие достижения в технологии литья магниевых сплавов. — В кн.: 25-й международный конгресс литейщиков. М., Машгиз, 1961, с. 391—397.
25. Жанкола М., Коген де Лара Ж., Ганф Г. Гидравлическое исследование горизонтальных литниковых систем. — В кн.: 29-й Международный конгресс литейщиков. М., «Машиностроение», 1967, с. 150—161.
26. Зотов М. В., Горбач Е. А. Новый отраслевой стандарт на литниковую систему отливок чугунных диафрагм паровых турбин. — «Литейное производство», 1976, № 8, с. 46.
27. Зотов М. В., Павлов А. Ф. Моделирование заполняемости форм чугунных отливок диафрагм паровых турбин. — «Литейное производство», 1973, № 7, с. 15—19.
28. Иванов С. В., Ищенко В. В., Богословский Н. В. Алгоритмизация выбора типа литниковой системы. — В кн.: Труды Московского высшего технического училища им. Н. Э. Баумана, 1976, № 202, вып. 2, с. 8—11.
29. Ицкович Е. А. Моделирование заливки алюминиевых и магниевых сплавов. — «Литейное производство», 1967, № 4, с. 13—16.
30. Кальман А. Исследование явлений, протекающих в каналах литниковой системы чугунных отливок, с точки зрения равномерности заполнения форм. — В кн.: 28-й Международный конгресс литейщиков. М., Машгиз, 1964, с. 319—347.
31. Книпп Э. Пороки отливок. Пер. с нем. М., Машгиз, 1958. 276 с.
32. Кокильное литье. Справочное пособие. М., «Машиностроение», 1967. 460 с. Авт.: Н. П. Дубинин, О. А. Беликов, А. Ф. Вязов и др.
33. Комплекс оборудования и технология изготовления моделей для исследования процесса заполнения литейной формы — В кн.: Прогрессивные методы и процессы в литейном производстве. (Тезисы докл. науч. техн.

- конференции). Волгоградское областное управление НТО Машпром. Нижне-Волжское ЦБТИ. Волгоград, 1968, с. 57—58. Авт.: Н. Попов, В. Шляпин, М. Сляткес и др.
34. **Корольков А. М.** Литейные свойства металлов и сплавов. М., «Наука», 1967. 199 с.
 35. **Крупин А. Я., Пантелеева А. Н., Булатов В. А.** Расширяющиеся литниковые системы для бронзовых и чугуновых отливок. — «Литейное производство», 1975, № 9, с. 36.
 36. **Крылов В. Н., Ремизов И. И., Томилов В. И.** Применение фильтров при литье алюминиевых сплавов в кокиль. — «Литейное производство», 1976, № 2, с. 43—44.
 37. **Крымов В. В., Вышкварко Г. С.** Фасонное литье из магниевых сплавов. М., Оборонгиз, 1952. 203 с.
 38. **Лебедев К. П., Гусев Р. И., Молоканов Ю. В.** Исследование литниковых систем для гребных винтов на моделях. — «Литейное производство», 1975, № 6, с. 21—23.
 39. **Лебедев В. М., Мельников А. В., Николаенко В. В.** Отливки из алюминиевых сплавов. М., «Машиностроение», 1970. 216 с.
 40. **Литниковая система для крупногабаритных тонкостенных отливок.** — «Литейное производство», 1976, № 12, с. 21—22. Авт.: В. Д. Топоров, Г. И. Логиновский, М. И. Шляпников и др.
 41. **Литье тонкостенных конструкций.** М., «Машиностроение», 1966. 255 с. Авт.: Ю. А. Степанов, Э. И. Гини, Е. А. Соколов и др.
 42. **Ломазов С. В.** Выбор параметров технологического процесса литья крупногабаритных тонкостенных деталей в кокиль. — В кн.: Точное литье. Институт проблем литья АН УССР, Киев, ДНТП, 1970, с. 221—224.
 43. **Мальцев В. П., Крысин Б. Т., Суворов А. С.** Влияние технологических факторов на механические свойства сплава АЛ9, заливаемого в кокиль. — В кн.: Технология изготовления заготовок в машиностроении. М., «Машиностроение», 1971, с. 183—190.
 44. **Монин А. С., Яглом А. М.** Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. Ч. 1, М., «Наука», 1965. 639 с.
 45. **Ноткин Е. М.** Принципы построения литниковых систем для алюминиевых сплавов. — В сб. ВНИТОЛ: Фасонное литье алюминиевых сплавов. М., Машгиз, 1953, с. 99—141.
 46. **Огира Г.** Движение потока жидкого алюминия в сырых песчаных формах. — В кн.: 25-й Международный конгресс литейщиков, М., Машгиз, 1961, с. 585—612.
 47. **Опаич П. А., Поручиков Ю. П.** Уточненный гидравлический расчет литниковых систем. Сообщение 2. — «Изв. вузов. Черная металлургия», 1971, № 2, с. 122—124.
 48. **Петриченко А. М., Глизер З. Х.** Исследование литниковых систем кокильных отливок методом моделирования. — «Литейное производство», 1976, № 7, с. 23—24.
 49. **Поручиков Ю. П., Бастраков В. К.** К вопросу распределения струи металла в литейной форме. — В кн.: Новое в теории и практике литейного производства. Пермское областное управление НТО Машпрома, Западно-Уральское ЦБТИ, Пермь, 1966, с. 122—132.
 50. **Поручиков Ю. П., Опаич П. А.** О возможности достижения автомодельного режима течения в литниковых каналах. — «Изв. вузов. Черная металлургия», 1970, № 11, с. 148—152.
 51. **Поручиков Ю. П., Топоров В. Д.** О структуре некоторых эмпирических формул для определения оптимальной продолжительности заполнения литейных форм сплавами. — В кн.: Повышение качества и надежности литых деталей. УПИ им. С. М. Кирова, НИИЧермет. Свердловск, 1971, с. 203—207.
 52. **Потанин С. Л., Авдентов Л. С.** Отработка технологии отливок поршней дизелей в массовом производстве. — «Литейное производство», 1969, № 8, с. 1—3.

53. Потанин С. Л., Авдентов Л. С. Литье в кокиль поршней из заэвтектического силумина. — «Автомобильная промышленность», 1975, № 4, с. 74—76.
54. Проектирование литниковой системы для крупных отливок. — «Литейное производство», 1976, № 8, с. 26—27. Авт.: В. В. Десницкий, А. П. Русинов, И. Н. Примак и др.
55. Рабинович А. Р. Теория и расчет процесса заполнения форм вертикальных тонкостенных отливок при подводе металла сифоном. — «Литейное производство», 1967, № 3, с. 22—26.
56. Рабинович Б. В. Литниковые системы. — В кн.: Вопросы теории литейных процессов. М., Машгиз, 1960, с. 110—162.
57. Рабинович Б. В. Введение в литейную гидравлику, М., «Машиностроение», 1966. 423 с.
58. Рабинович Б. В., Наджафов Т. А. Моделирование как метод разработки рациональных конструкций литниковых систем. — «Литейное производство», 1969, № 7, с. 22—27.
59. Рабинович Б. В., Никольский В. М., Каменский Ю. В. Выбор масштаба гидравлической модели литниковой системы. — «Известия вузов. Машиностроение», М., изд-во МВТУ, 1967, № 5, с. 142—148.
60. Рыжиков А. А. Теоретические основы литейного производства. Изд. 2-е, М., Свердловск, Машгиз, 1961. 447 с.
61. Соболев К. А. К расчету литниковых систем. — «Литейное производство», 1975, № 11, с. 45—46.
62. Спасский А. Г. Основы литейного производства. М., «Металлургиздат», 1950, 318 с.
63. Сринивасон М. Н., Кондик В. О гидравлике литниковых систем. — В кн.: 30-й международный конгресс литейщиков. М., «Машиностроение», 1967, с. 267—274.
64. Токарев Ж. В. Расчет литниковых систем с равномерным распределением металла по питателям. — В кн.: Новое в теории и практике литейного производства (Материалы научно-технической конференции, апрель, 1966 г.). Пермское областное управление НТО Машпрома, Западно-Уральское ЦБТИ. Пермь, 1966, с. 23—35.
65. Токарев Ж. В., Дубицкий Г. М. Неравномерность действия питателей. — «Литейное производство», 1962, № 2, с. 27—28.
66. Токарев Ж. В., Дубицкий Г. М. Влияние условий заполнения формы на механические свойства отливок из алюминиевых сплавов. — В кн.: Механические свойства литого металла. Труды восьмого совещания по теории литейных процессов. Изд-во АН СССР, М., 1963, с. 281—286.
67. Топоров В. Д. О некоторых закономерностях процесса заполнения литейных форм магниевыми сплавами. В кн.: Научные труды Пермского политехнического института. ППИ, Пермь, 1971, № 94, с. 135—138.
68. Топоров В. Д., Поручиков Ю. П., Топорова Д. В. Разработка многофакторной математической модели оптимальной продолжительности заполнения литейных форм. — «Технология и организация производства», 1973, № 6, с. 37—39.
69. Тренкле Ш. Определение сечений питателей в отливках разных конфигураций и размеров из обычного чугуна, заливаемого в формы, изготовленные из разных формовочных смесей. — В кн.: 25-й международный конгресс литейщиков, М., Машгиз, 1961, с. 255—281.
70. Усовершенствование литниковой системы для фасонного тонкостенного литья. — В кн.: Прогрессивные методы изготовления литейных форм. Труды II-й Всесоюзной межвузовской конференции, Челябинский политехнический институт, Челябинск, 1975, № 155, с. 366—369. Авт.: К. Э. Клецкин, Н. А. Лиськов, Б. Г. Вагин и др.
71. Флемингс М. С., Тейлор Г. Применение теории к практике в производстве отливок из легких металлов. — В кн.: 25-й международный конгресс литейщиков. М., Машгиз, 1961, с. 156—186.
72. Храмов В. Д., Мишаков Е. В. Литье крупногабаритных тонкостенных деталей способом направленно-последовательной кристаллизации. — В кн.:

- Вопросы технологии литейного производства. М., Оборонгиз, 1961, Труды МАТИ, вып. 49, с. 5—23.
73. **Цветное литье. Легкие сплавы.** М., «Машиностроение», 1966. 391 с.
74. **Черногоров П. В., Клецкин Б. Э., Волковичер Л. С.** Моделирование при выборе технологии отливки. — «Литейное производство», 1970, № 11, с. 2—3.
75. **Черный С. А.** Гидро моделирование и расчеты литниковых систем для легких цветных сплавов. — В кн.: Новое в теории и практике литейного производства. Пермское областное правление НТО машпром, Западно-Уральское ЦБТИ, Пермь, 1966, с. 95—99.
76. **Чистяков В. В., Барбашин Н. Н.** Влияние характера заполнения форм на механические свойства отливок. — «Литейное производство», 1971, № 2, с. 7—9.
77. **Чистяков В. В., Воздвиженский В. М.** Расчет критической скорости заполнения формы. — «Литейное производство», 1971, № 3, с. 9—11.
78. **Чистяков В. В., Воздвиженский В. М.** Расчет минимального узкого сечения литниковой системы для отливок коробчатой формы. — «Известия высших учебных заведений», 1972, № 4, с. 146—149.
79. **Чистяков В. В., Воздвиженский В. М.** Оптимальная продолжительность заливки алюминиевых сплавов. — «Литейное производство», 1972, № 6, с. 22—24.
80. **Чистяков В. В., Неуструев А. А.** Заполнение протяженных полостей форм алюминиевым расплавом. — «Литейное производство», 1976, № 4, с. 25—26.
81. **Чистяков В. В., Неуструев А. А., Барбашин Н. Н.** Заполнение форм при вертикально-щелевом подводе металла. — «Литейное производство», 1974, № 3, с. 26—28.
82. **Чугаев Р. Р.** Гидравлика (Техническая механика жидкости). Л., «Энергия», 1975. 600 с.
83. **Чуркин Б. С., Дубицкий Г. М.** Продолжительность заполнения песчаных литейных форм сплавом. — «Известия вузов. Черная металлургия», 1969, № 4, с. 133—137.
84. **Чуркин Б. С., Дубицкий Г. М.** Расчет минимально допустимых скоростей подъема уровня металла при литье сплавов АЛ2 и АЛ9 в песчаные формы. — В кн.: Научные труды Пермского политехнического института. Пермь, ППИ, 1969, № 55, с. 33—36.
85. **Шаров М. В., Галдин Н. М.** Влияние турбулентности потока на образование загрязненности в алюминиевых сплавах. — «Литейное производство», 1971, № 1, с. 9—13.
86. **Швидковский Е. Г.** Некоторые вопросы вязкости расплавленных металлов. ГИТТЛ, 1955, с. 206.
87. **Шлихтинг Г.** Возникновение турбулентности. Пер. с нем. М., Изд-во иностр. лит., 1962. 203 с.
88. **Шляпин В. Н., Березин П. Г.** Литниковая система кокильной отливки тракторного поршня из сплава АЛ10В. — «Литейное производство», 1967, № 3, с. 37—39.
89. **Askeland D. R., Patel D. S., Wolf R. V.** Wirkung der Anschnittgestaltung auf die Fehlerfreiheit von Kokillenguss aus Aluminiumlegierungen. Gisser — Prax., 1976, N 18, s. 263—267.
90. **Bjorklund Evert.** Calculating in gate dimensions for gray iron castings. "Mod. Cast.", 1962, 41, N 4, p. 69—81.
91. **Brunhuber E.** Anschnittbemessung bei Schwemetallguss in Sand und Kokille. "Giesserei—Praxis", 1966, N 13, s. 237—245.
92. **Drossel G., Roland M.** Gießtechnologische Gesichtspunkte zur Gestaltung und Dimensionierung von Gießsystemen für Gußstücke aus Aluminiumgußlegierungen. "Gießereitechnik", 1974, 20, N 8, s. 264—271.
93. **Flemings M. C., Poitier E. J., Taylor H. F.** Premium quality magnesium Castings for missile applications. Techniques for producing. "Mod. Cast.", 1960, 38, N 3, p. 91—98.

94. **Hall J. R.** Esperienze pratiche di alimentazione e materozzagio per rame e sue leghe. "Fonderia ital", 1972, 21, N 10, p. 337—342.
95. **Holz Müller A.** Untersuchung des Geschwindigkeitsfaktors von Gußeisen. "Giesserei", 1963, 50, N 15, s. 454—457.
96. **Jencolans M., Devaux H.** La retenue des crasses dans les canaux des systemes d'attague. Cas des alliages ferreux et des bronzes. "Fonderie", 1969, N 285, p. 487—499, V, VII.
97. **Middleton J. M., White P.** Flow of liquid steel gating systems. "Proc. 16th. Ann. Conf. Harrogate, 1970, Steel Foundry Practice", S. L., 1970, 14/1—14/12.
98. **Polich R. E., Saunders A. J., Flemings M. C.** "Cating Premium Quality Castings", "Modern Castings", 1963, 44, N 2, p. 418—426.
99. **Swanson D. C.** New method of filtering molten aluminium. "Foundry", 1974, 102, N 7, p. 94—96.
100. **Taylor H. F., Flemings M. C., Pivonka T. S.** "Resering Aluminium Castings". "Foundry", 1960, 88, N 5, p. 216—226.
101. **Wallace J. F. and Evanc E. B.** Principles of Gating. "Foundry", 1959, 87, N 10, p. 74—80.
102. **Walton C. F., Yoh C. R.** Gating of gray iron castings. "Foundry", 1962, 90, N 1, p. 57—63.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Основные условные обозначения	3
Введение	5
Глава I. Теоретические положения и экспериментальные данные для проектирования литниковых систем	8
1. Гидравлика литниковых систем и ее особенности	9
2. Динамика потоков на отдельных этапах заполнения формы	10
3. Коэффициент расхода литниковой системы	24
4. Режим движения жидкого металла в каналах литейной формы	35
5. Заполняемость литейной формы	48
6. Шлакоотделение в литниковой системе	52
7. Устранение разряжения (вакуума) в литниковой системе	72
8. Неравномерность действия питателей	75
Глава II. Принципы построения литниковых систем	82
1. Основные дефекты отливок и причины их образования при заполнении форм	82
2. Основные функции литниковых систем и требования к ним	85
3. Принципы построения литниковых систем [15, 45, 71, 101]	86
4. Выбор рациональных методов расчета	89
5. Выбор типа и конструкции литниковых систем	98
6. Выбор способа и места подвода расплава в форму	103
7. Выбор литниковых чаш	106
Глава III. Проектирование литниковых систем для заливки песчаных форм	111
1. Последовательность определения исходных данных для расчета	112
2. Расчет и конструирование нижней литниковой системы	117
3. Расчет и конструирование вертикально-щелевой литниковой системы	127
4. Особенности расчета литниковых систем других типов	129
Глава IV. Особенности проектирования литниковых систем для литья в кокиль и оболочковые формы	130
1. Конструкции литниковых систем для литья в кокиль	131
2. Конструкции литниковых систем для литья в оболочковые формы	136
3. Расчет литниковых систем	138
Глава V. Примеры расчета литниковых систем	140
1. Расчет нижней литниковой системы	140
2. Расчет вертикально-щелевой литниковой системы	144
3. Расчет ярусной литниковой системы	148

Глава VI. Проектирование литниковых систем при разработке и освоении литейной технологии

1. Этапы проектирования и освоения литниковых систем
2. Изображение и обозначение литниковой системы при оформлении технологической документации
3. Моделирование литниковых систем как метод отработки их рациональных конструкций

Глава VII. Эффективность применения современных литниковых систем

1. Пути повышения эффективности
2. Повышение механических свойств отливок
3. Снижение трудоемкости проектирования литниковых систем
4. Примеры совершенствования литниковых систем

Приложение

Список литературы

ИБ № 649

НИКОЛАЙ МИХАЙЛОВИЧ ГАЛДИН

**ЛИТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОТЛИВОК
ИЗ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ**

Редактор *Н. С. Степанченко* Технические редакторы *А. Ф. Уварова,*
Л. Т. Зубко Корректор *И. М. Борейша*
Обложка художника *Ю. П. Сагань*

Сдано в набор 23.02.78. Подписано в печать 29.06.78. Т-09435.
Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная.
Печать высокая, Усл. печ. л. 12,5, Уч.-изд. л. 12,45. Тираж 8 000 экз.
Заказ 338. Цена 60 к.

Издательство «Машиностроение»,
107885, Москва, ГСП-6, 1-й Басманный пер., д. 3.

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при Государственном
комитете СССР по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли.

Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

НОВЫЕ КНИГИ

по литейному производству

Выпуск 1978 года

Галдин Н. М. Литниковые системы для отливок из легких сплавов. 13 изд. л. 90 к.

Гипсовые модели и оснастка. 10 изд. л. 55 к. Авт.: В. К. Барданьянц, Л. А. Лапидовская, Н. Н. Зубков, С. С. Печуро.

Горский А. И. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства. 36 изд. л. 2 р. 40 к.

Дорошенко С. П., Ващенко К. И., Дробязко В. Н. Получение отливок без пригара в песчаных формах. 14 изд. л. 95 к.

Жуковский С. С., Лясс А. М. Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей. 15 изд. л. 1 р.

Никулин Л. В., Липчин Т. Н., Заславский М. Л. Литье под давлением магниевых сплавов. 14 изд. л. 95 к.

Соколов Н. А. Литье в оболочковые формы. Изд. 2-е, перераб. и доп. 30 изд. л. 1 р. 95 к.

Справочник по чугунному литью. Под ред. Н. Г. Гришовича. Изд. 3-е, перераб. и доп. 58 изд. л. 3 р. 25 к.

Сумцов В. Ф. Электромагнитные железоотделители. 14 изд. л. 70 к.

*Своевременно приобретайте новые книги
издательства «Машиностроения»
в магазинах, распространяющих
техническую литературу.*