

ГЛАВА 4. ЛИТЬЕ ПОД РЕГУЛИРУЕМЫМ ДАВЛЕНИЕМ

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Методы литья под регулируемым низким давлением (ЛРД) используют при заполнении формы и кристаллизации расплава разницу давления газа, который действует на зеркало расплава в печи установки и в полости литейной формы (регулируемое газовое давление – ЛРГД) или давление в металле, создаваемое электромагнитным насосом. По величине скоростей течения металла в форме они занимают промежуточное место между обычным заполнением формы при литье в кокиль и литьем под давлением.

Способы ЛРГД относительно молодые, появились в промышленности после II мировой войны, хотя идея их высказывалась ранее, в частности академиком А.А. Бочваром и профессором А.Г. Спасским.

Общим технологическим признаком этих методов является заполнение формы расплавом, путем выдавливания его снизу вверх из тигля установки через металлопровод, под действием перепада газового давления Δp . На рис. 4.1. представлены упрощенные схемы установок для литья под регулируемым газовым давлением.

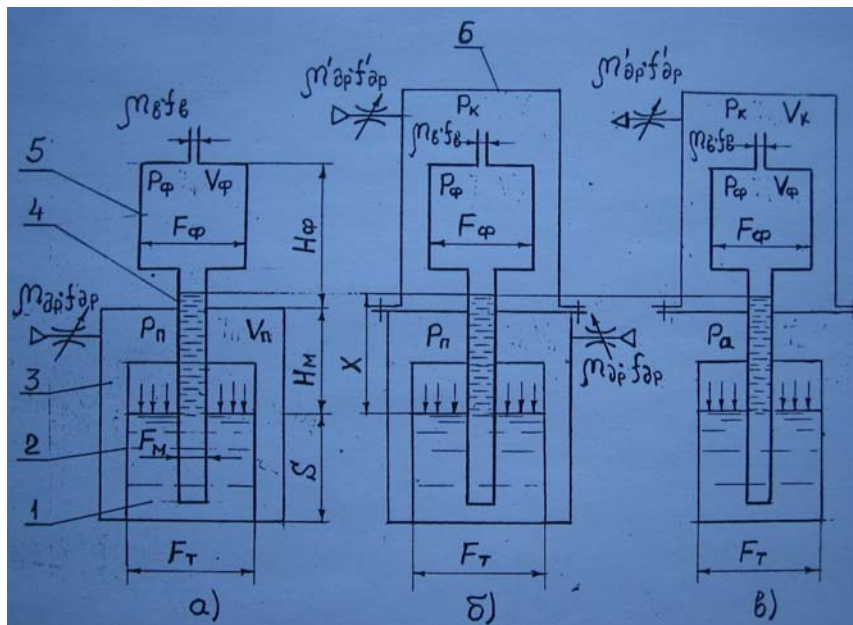


Рис. 4.1. а – под низким давлением; б – с противодавлением; в – вакуумным всасыванием; 1 – расплав; 2 – тигель с расплавом; 3 – герметичная печь установки; 4 – металлопровод; 5 – литейная форма; 6 – камера герметизирующая форму.

$\mu_\phi, \mu_{\phi'}, \mu_{\phi''}, \mu_{\phi'''} -$ коэффициенты расхода вентиляционной системы формы, дросселя камеры печи, дросселя

камеры формы;

$f_\phi, f_{\phi'}, f_{\phi''}$ - площади сечения вентиляционной системы формы, дросселя печи, дросселя камеры формы; P_a – атмосферное давление; $P_\phi, V_\phi, P_n, V_n, P_k, V_k$ – давление и объем формы свободного пространства печи, камеры для размещения формы; F_ϕ, F_m, F_T – площади поперечного сечения рабочего пространства формы, металлопровода и зеркала металла в тигле; S – высота металла в тигле; H_m – высота металлопровода, не заполненного металлом к началу процесса.

Если давление газа в полости формы (p_ϕ) равно атмосферному (p_a), а заливка формы осуществляется благодаря созданию избыточного давления газа над поверхностью расплава в тигле установки ($p_n = p_{изб}$), такой процесс называется *литье под низким давлением* (ЛНД рис. 4.1а). При этом:

$$\Delta p = p_n - p_\phi = p_{изб} - p_a.$$

Термин «низкое давление» используют потому, что для заполнения расплавом формы требуется избыточное давление обычно не более 0,05 МПа.

Положим, что вначале в камерах, где расположена форма и тигель с металлом создано одинаковое, но больше атмосферного, давление воздуха или газа $p_k = p_\phi = p_n = p_a$.

Затем подача воздуха в камеру формы прекращается, а в камеру печи продолжается. Тогда расплав будет подниматься по металлопроводу вследствие разницы давлений Δp (рис. 4.1.б)

$$\Delta p = p_{\text{п}} - p_{\text{ф}} = p_{\text{изб}} - (p_{\text{а}} + \Delta p_{\text{ф}})$$

По-видимому, того же результата можно достичь, если на втором этапе понижать давление в камере формы, оставляя постоянным давление в камере печи. Такие процессы называют литье под низким давлением с противодавлением, или сокращенно *литье с противодавлением* (ЛПРД).

Если в герметичной камере с формой *б* создавать вакуум, а над металлом в тигле сохранять атмосферное давление, то заполнение формы произойдет за счет разницы давлений:

$$\Delta p = p_{\text{а}} + p_{\text{ф}}$$

Такой способ литья называют *литьем вакуумным всасыванием* (ЛВВ) (рис. 4.1.в).

Очевидно, пневматические и гидравлические процессы при заполнении формы рассмотренными способами имеют единую физическую природу.

Анализ этих процессов показывает, что при определенных режимах наблюдается ярко выраженное колебание скорости заполнения расплавом литейной формы. В качестве примера на рис. 4.2 показаны изменения уровня металла (x) и скорости течения металла в форме при заполнении панели размером 350x550x5 мм их сплава АЛ4 на установке ЛНД.

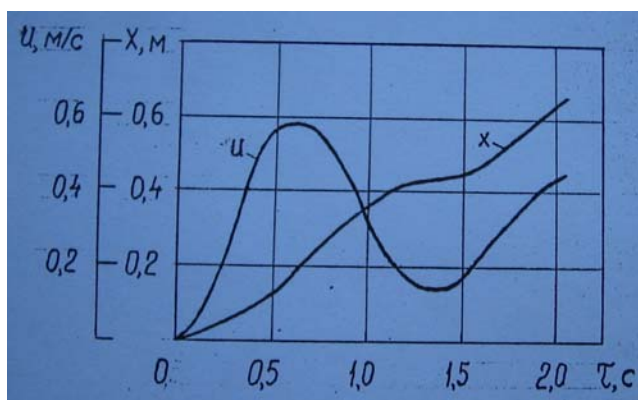


Рис. 4.2. Изменение высоты заполнения x и скорости заполнения u при литье панели ЛНД.

Уменьшить отрицательный эффект пульсации скорости заполнения металлом формы можно:

- использованием для работы первого периода колебательного процесса, что приемлемо для небольших, невысоких отливок с малым временем заполнения формы;
- уменьшением амплитуды колебательного процесса для высоких и металлоемких отливок, путем правильного выбора конструктивных параметров установки и технологических параметров процесса.

В целом, к снижению пульсации скорости заполнения приводят увеличение свободного пространства печи или отношения $V_{\text{п}} / V_{\text{ф}}$, отношения $F_{\text{т}} / F_{\text{ф}}$, площади сечения $f_{\text{др}}$, повышения давления воздуха или газа в ресивере (магистральной). Для ЛВВ имеет большое значение параметр $\omega = \mu_{\text{в}} f_{\text{в}} / (\mu_{\text{др}} \cdot f_{\text{др}})$ и отношение $V_{\text{к}} / V_{\text{ф}}$.

Характерные общие черты всех этих способов следующие:

1) для подъема расплава из тигля установки до верхней точки полости формы на высоту $H_{\text{м}} + H_{\text{ф}}$ необходимо приложить к расплаву в тигле избыточное относительно формы давление $p_{\text{зап}} = \rho g (H_{\text{м}} + H_{\text{ф}} + \Delta H) + \Delta p_{\text{пот}}$, (где ΔH - понижение уровня расплава в тигле при заполнении формы; $\Delta p_{\text{пот}}$ - гидравлические потери в системе);

2) скорость подъема расплава можно регулировать, изменяя скорость нарастания давления $p_{\text{зап}}$; при большой скорости нарастания давления $p_{\text{зап}}$ скорость подъема расплава

может стать настолько большой, что расплав будет фонтанировать из металлопровода, при оптимальной скорости расплав быстро, но плавно заполнит полость формы;

3) скорость нарастания давления в установке зависит от того, как быстро будет изменяться проходное сечение отверстия в регуляторе, через которое газ подается в камеру установки или отсасывается из нее, от величины давления подаваемого газа, от соотношения геометрических размеров системы в целом; свободных объемов камер 6 и 3, объема формы, процессов прогрева газа, подаваемого в камеру установки и т. д.;

4) движение расплава в металлопроводе и полости формы — неустановившееся, характер его и скорость движения расплава зависят от скорости нарастания давления, геометрических характеристик системы — размеров тигля, площади его зеркала, диаметра и длины металлопровода, размеров полости формы и т. д., а также гидравлических сопротивлений ее звеньев — металлопровода, полости формы, литниковой системы.

Таким образом, *установки литья под регулируемым давлением — сложные динамические системы, позволяющие регулировать скорость заполнения формы расплавом*. Использование таких установок позволяет заполнить формы тонкостенных отливок, изменить продолжительность заполнения отдельных участков формы отливок сложной конфигурации с переменной толщиной стенки с целью управления процессом теплообмена расплава и формы, добиваясь рациональной последовательности затвердевания отдельных частей отливки.

Приложение дополнительного давления на затвердевающий в форме расплав позволяет улучшить условия питания отливки, повысить ее качество — механические свойства и герметичность. Положительное влияние давления газов на процесс формирования отливки, возможность благодаря этому повысить качество литого металла отмечал еще Д. К. Чернов [1].

В рассматриваемых процессах после заполнения формы давление действует на расплав, который из тигля через металло-провод поступает в затвердевающую отливку и питает ее. Благодаря этому усадочная пористость в таких отливках уменьшается, плотность и механические свойства возрастают.

Способы литья под регулируемым давлением создают возможность уменьшения газовой и газоусадочной пористости в отливках. Например, используя способ заполнения формы по схеме показанной на рис. 4.1, в, возможно после заполнения форм перекрыть металлопровод в верхнем сечении специальным затвором, а затем создать в камере установки давление, существенно большее атмосферного. Тогда отливка будет затвердевать в условиях всестороннего газового давления. Внешнее всестороннее давление уменьшает выделение газов из расплава при кристаллизации отливки и препятствует зарождению и росту газовых пузырьков в массе расплава и на примесях. Благодаря действию всестороннего давления газа объем отливки уменьшается на некоторую малую величину по ее внешним контурам, а поскольку объем расплава в форме остается прежним, то питание отливки протекает более интенсивно, объем усадочных пор в ней также уменьшается.

Используя ту же схему установки (см. рис. 4.1, б) возможно вначале процесса создать в камерах 6 и 3 вакуум и осуществить дегазацию расплава, а затем, понизив давление в камере 6, заполнить форму в условиях вакуумного всасывания. Дегазация расплава понизит содержание растворенных в расплаве газов и уменьшит пористость в отливках. Возможен и другой процесс:

после дегазации расплава и заполнения формы вакуумным всасыванием перекрыть затвором металлопровод в верхнем сечении и создать в камере 6 избыточное давление, осуществляя кристаллизацию отливки в условиях всестороннего газового давления. Такой способ литья был разработан Н. Н. Белоусовым и получил название «*вакуумно-компрессионное литье*» (ВКЛ). Этот способ литья позволяет резко уменьшить газоусадочную пористость в отливках, повысить их герметичность и механические свойства.

Литье под регулируемым давлением осуществляется на специальных установках в которых процесс заполнения формы расплавом выполняется автоматически. Конструкции установок и машин для этих литейных процессов часто обеспечивают также автоматизацию операций сборки и раскрытия форм, выталкивания отливки и ее удаления из

формы. Таким образом, процессы литья под регулируемым давлением позволяют повысить качество отливок и обеспечить автоматизацию их производства.

В практике наибольшее применение нашли следующие процессы литья под регулируемым давлением: литье под низким давлением, литье под низким давлением с противодавлением, литье вакуумным всасыванием, литье вакуумным всасыванием с кристаллизацией под давлением (вакуумно-компрессионное литье).

4.2. ЛИТЬЕ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ (ЛНД)

Установки ЛНД обычно состоят из механизмов сборки и разборки форм, отделения отливок от формы и стержней (по существу состав кокильной машины), агрегата заливки (печи – металлораздатчика), гидравлической, пневматической и электрической систем управления. Многочисленные конструкции разработанных универсальных и специализированных установок различаются: размерами рабочей зоны для размещения формы, числом подвижных элементов для сборки и разборки формы, типами печей – металлораздатчиков, компоновочной схемой реализующей варианты обслуживания отдельных агрегатов установки, степенью автоматизации вспомогательных операций.

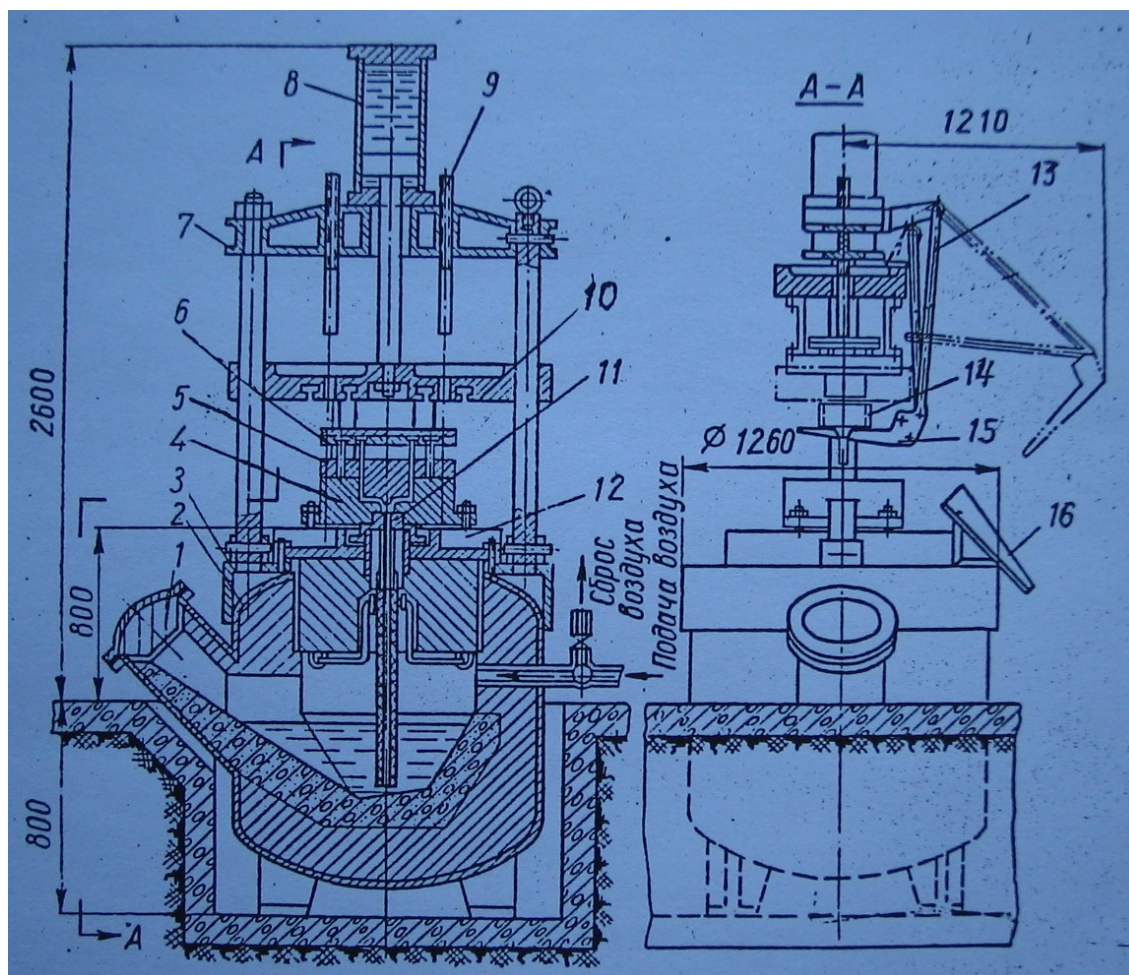


Рис. 4.3. Установка ЛНД для получения отливок из алюминиевых сплавов.

- 1- крышка заливочного окна, 2 – металлораздатчик, 3 – рама печи, 4 – нижняя половина формы, 5 – верхняя половина формы, 6 – плита толкателей, 7 – неподвижная траверса, 8 – гидроцилиндр, 9 – штанги для движения плиты толкателей, 10 – подвижная траверса, 11 – металлопровод, 12 – плита, 13 – рычажный механизм, 14 – отливка, 15 – приемный лоток, 16 – склиз.

На рис.4.3. показана одна из установок ЛНД для получения отливок из алюминиевых сплавов в металлических формах с горизонтальной плоскостью разъема. Металлораздатчик 2 установки - герметезированная электропечь сопротивления ванного типа с заливочной горловиной, закрываемой футерованной крышкой 1 на паралоновой прокладке. На раме 3 печи, расположена плита 12 с металлопроводом 11 из жаростойкого материала. К нижней стороне этой плиты на болтах подвешен свод печи с нагревателями, а на верхней плоскости закреплена нижняя неподвижная половина формы 4. Верхняя половина формы 5 крепится в пазах подвижной траверсы 10. На неподвижной траверсе 7 размещен гидроцилиндр 8, предназначенный для перемещения верхней половины формы. Регулируемые по высоте штанги 9 служат для выталкивания отливки плитой толкателей 6 из верхней половины формы. Отливка 14 удаляется из рабочего пространства установки вспомогательным устройством, состоящим из приемного лотка 15 перемещаемого рычажным механизмом 13. При раскрытой форме лоток 15 находится под отливкой, при закрытой – отходит в сторону, сбрасывая отливку на склиз 16. Металлопровод 7 погружают в расплав так, что конец его не достает до дна тигля на 40...60 мм. Полость в отливке может быть выполнена металлическим, оболочковым или песчаным стержнем 1.

Воздух или инертный газ под давлением до 0,05 МПа через систему регулирования поступает по трубопроводу внутрь камеры установки и давит на зеркало расплава. Вследствие разницы между давлением в камере установки и атмосферным давлением расплав поступает в форму снизу через металлопровод 11, со скоростью, регулируемой давлением в камере установки. По окончании заполнения формы давление в системе может быть увеличено до конца затвердевания отливки, после чего автоматически открывается клапан, соединяющий камеру установки с атмосферой. Давление воздуха в камере снижается до атмосферного и незатвердевший расплав из металлопровода сливается в тигель. После охлаждения отливки до заданной температуры форма раскрывается, отливка извлекается и цикл повторяется.

ЛНД применяется самостоятельно и как дополнение к другим способам литья в качестве эффективного метода автоматического заполнения формы жидким металлом. Удобство способа, в последнем случае, связано с отсутствием необходимости герметизации формы. Его используют для получения отливок в песчаные, металлические, графитовые формы. В последнее время появились варианты заливки под низким давлением алюминиевых сплавов на автоматических линиях формовки безопочных форм типа Disamatic и другие. Самостоятельно ЛНД чаще используют для литья в кокили или кокили с песчаными оболочковыми стержнями, так как процесс сборки кокиля легче автоматизировать.

Способ ЛНД характеризуется следующими основными преимуществами, определяющими области его распространения и конструктивные особенности установок:

- управление гидродинамическими параметрами течения металла позволяет заполнить форму с минимальными потерями тепла, что особенно важно для сложных тонкостенных, крупногабаритных отливок. Заполняемость форм возрастает в 1,3...1,5 раза;
- при подводе металла в наиболее массивные части отливок питание их в процессе кристаллизации осуществляется через металлопровод, что позволяет упростить конструкцию литниково-питающей системы, сократить расход жидкого металла на нее, так как часто отсутствует необходимость устанавливать приливы;
- избыточное давление в сплаве после заполнения формы улучшает условия питания кристаллизующихся слоев, как в тонких, так и в массивных сечениях отливки, увеличивает скорость затвердевания металла, благодаря интенсификации теплообмена его с формой. Это способствует повышению плотности, измельчению структуры металла отливок. Прочность металла может возрасти на 15...25%, пластичность в 1,5...2,0 раза;
- подача металла в форму снизу позволяет обеспечить ее плавное заполнение, уменьшить эффекты разбрызгивания и перемешивание металла, способствующие его окислению и захвату воздуха;
- уменьшена возможность окисления металла в печи и исключена вероятность попа-

дания в форму шлака и флюса с зеркала расплава, так как металл поступает в форму с глубинных слоев ванны печи;

- полностью решена проблема автоматизации процесса заливки литейной формы жидким металлом;
- низкие, в сравнении с литьем под давлением, скорости течения металла при заполнении формы, позволяют использовать не только металлические, но и разовые элементы формы из других менее прочных материалов, что накладывает меньше ограничений на конструктивное оформление отливок;
- повышенная скорость затвердевания и охлаждения отливок, сокращает в 1,5 раза время выдержки отливки в металлической форме по сравнению с литьем в кокиль, что увеличивает производительность установок.

Наряду с указанными преимуществами способ литья под низким давлением имеет недостатки: невысокая стойкость части металлопровода постоянно погруженной в расплав, что затрудняет использование способа для сплавов с высокой температурой плавления – чугуна и стали; сложность регулирования скорости потока расплава в форме, вызванная скоротечностью операции и динамическими процессами, происходящими в установке при заполнении ее камеры воздухом; возможность изменения свойств сплава при длительной выдержке его в печи установки.

Преимущества и недостатки способа определяют рациональную область его применения. Основную долю производства ЛНД составляют отливки из алюминиевых сплавов. Реже изготавливают отливки из медных сплавов, стали, чугуна в том числе высокопрочного с толщиной стенки до 3 мм (в песчаную форму). Минимальная толщина стенок отливок из алюминиевых сплавов – 1,5 мм, средняя толщина для крупных отливок 3...6 мм; для медных сплавов минимальная толщина стенок отливок – 3 мм.

В характерную номенклатуру входят:

- отливки, к которым предъявляются повышенные требования по плотности, герметичности и прочности (рабочие колеса и другие детали гидравлических устройств, корпусные детали лодочных моторов, диски автомобильных колес, другие силовые детали);
- протяженные тонкостенные отливки, для которых при гравитационной заливке трудно обеспечить заполнение формы (оболочковые и корпусные отливки, роторы электродвигателей, выпускные коллекторы и др.);
- разностенные отливки с одним или несколькими тепловыми узлами, питание которых может быть обеспечено одним или несколькими металлопроводами (блоки и крышки цилиндров, картер моховика и др.).

Причем, в крупносерийном и массовом производстве часть создают специализированные установки для изготовления одной или однотипных деталей. При этом динамические характеристики системы изменяются незначительно и процесс литья становится более устойчивым.

Особенности формирования отливки при литье под низким давлением. Заполнение форм расплавом при этом способе литья может осуществляться со скоростями потока, которые можно регулировать. Для получения качественных отливок предпочтительно заполнять форму сплошным потоком, при скоростях, обеспечивающих качественное заполнение формы и исключающих захват воздуха расплавом, образование в отливках газовых раковин, попадание в них окисных плен и неметаллических включений (см. раздел 3.3). Однако уменьшение скорости потока, необходимое для сохранения его сплошности, может вызвать преждевременное охлаждение и затвердевание расплава, то есть до полного заполнения формы. Поэтому, как и в других литейных процессах, *важно согласовывать гидравлические и тепловые режимы заполнения формы расплавом.*

Известно, что при литье алюминиевых сплавов нарушений сплошности потока в полость формы не происходит, если критерий Рейнольдса $Re = uR/\nu < 2300$ (см. раздел 2.3) (где u — скорость потока, R — гидравлический радиус полости формы; ν — кинематическая вязкость жидкости). Положим, что в простейшем случае полость формы — плоская щель толщиной $2l_0$ достаточно большой ширины. Гидравлический радиус $R = F/\Pi$ (где F — площадь сечения потока в плоскости, перпендикулярной вектору скорости; Π — периметр

сечения). Для плоской щели $R=l_0$, то есть половине толщины стенки отливки. Полагая, что отливка изготавливается из алюминиевого сплава ($v=0,2 \cdot 10^{-6}$ м/с), построим зависимость $u=f(Z)$ при $Re=2300$. Результаты расчета приведены на рис. 4.4. Область, лежащая над кривой 1, соответствует турбулентному режиму движения расплава, область под кривой 1 — ламинарному.

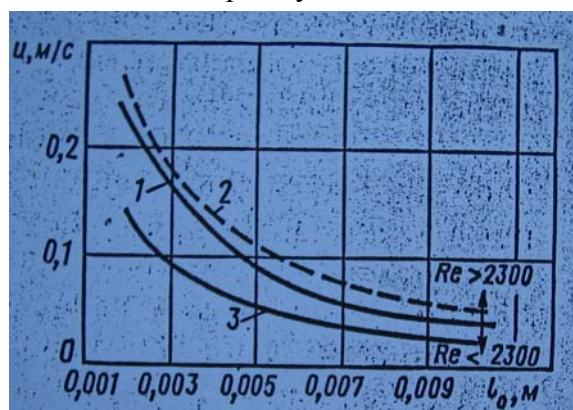


Рис. 4.4. Зависимость скорости подъема металла в форме от толщины стенки отливки.

1 — для $Re = 2300$; 2 — при $Z = 0,3$ м; $\varepsilon = 0,0002$ м; 3 — при $Z = 0,3$ м; $\varepsilon = 0,0004$ м.

Связь между скоростью потока u в металлической форме — кокиле, расстоянием Z , которое проходит расплав, пока температура его поверхности не становится равной температуре кристаллизации, теплоемкостью c_1' расплава,

плотностью ρ , его коэффициентов β теплообмена между движущимся потоком расплава и стенкой формы, температурой T_ϕ формы, температурой $T_{кр}$ кристаллизации сплава, температурой его заливки $T_{зал}$ и толщиной $2l_0$ стенки отливки, выражается зависимостью [24]

$$Z = (c_1' \rho l_0 u / \beta) \ln[(T_{зал} - T_\phi) / (T_{кр} - T_\phi)] \quad (4.1)$$

Положим далее, что отливка имеет высоту $Z = 0,3$ м и изготавливают ее из алюминиевого сплава, для которого

$$c_1' = 1,254 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K}), \quad \rho = 2500 \text{ кг}/\text{м}^3, \quad T_{зал} = 923 \text{ K}, \quad T_\phi = 473 \text{ K}, \\ T_{кр} = (T_L + T_S)/2, \quad T_L = 873 \text{ K}, \quad T_S = 793 \text{ K}, \quad T_{кр} = 863 \text{ K}.$$

Кокиль покрыт огнеупорной краской толщиной $\varepsilon = 0,0002$ м и теплопроводностью $\lambda_{кр} = 0,3$ Вт/(мК), тогда $\beta = \lambda_{кр}/\varepsilon = 1500$ Вт/(м²К).

Используя приведенные выше данные, построим зависимость $u=f(Z)$. Результаты расчета приведены на рис. 4.4 (кривая 2). Кривая 2 располагается несколько выше кривой 1. Это значит, что скорости потока, необходимые для того, чтобы расплав заполнил форму без образования на ее поверхности твердых корочек, при данных тепловых параметрах процесса находятся в области турбулентного режима. Для перехода в область ламинарного движения необходимо снижать скорость потока расплава, однако это может привести к его чрезмерному охлаждению. Тогда необходимо в допустимых пределах поднять температуру формы T_ϕ , температуру заливки $T_{зал}$ расплава или изменить условия теплообмена, увеличив, например, толщину слоя огнеупорного покрытия. Кривая 3 отражает результаты расчета зависимости $u=f(Z)$ при $\varepsilon = 0,0004$ м. Как видно на рис. 4.4, кривая 3 располагается в области ламинарного движения расплава, что создает лучшие условия для удаления газов и воздуха из полости формы, способствует более плавному ее заполнению, исключает замешивание окисных плен в расплав.

Для случая заполнения литьем под низким давлением песчаных форм согласовать гидравлические и тепловые режимы течения потока расплава в форме возможно, воспользовавшись уравнением

$$Z = \{ [c_1' \rho l_0 \sqrt{u} / 1,13 b_2] \ln[(T_{зал} - T_\phi) / (T_{кр} - T_\phi)] \}^2 \quad (4.2)$$

где b_2 — коэффициент тепловой аккумуляции формы.

Как видно из приведенного примера согласовать тепловые и гидравлические режимы процесса заполнения формы вполне возможно, используя общие положения теории формирования отливки. Гораздо сложнее обеспечить движение расплава в форме с необходимой технологической скоростью, особенно, для получения отливок с переменной толщиной стенок по высоте. Установка литья под низким давлением, включающая тигель

с расплавом, камеру, металлопровод, форму для фасонной отливки с литниковой и вентиляционной системами, трубопроводы для подачи воздуха и приборы регулирования подачи воздуха (вентили, клапаны, дроссели, регуляторы), в процессе работы представляют собой *сложную динамическую систему*. Изменение каждого из параметров этой системы влияет на скорость движения расплава в форме. В течение одного рабочего цикла установки понижается уровень расплава в тигле, что вызывает увеличение объема рабочего пространства камеры и уменьшение массы и глубины расплава в тигле. Изменяются также давление воздуха в камере установки и его температура и другие параметры системы. По мере производства отливок от цикла к циклу работы уменьшаются масса расплава в тигле и его уровень, что также изменяет скорость движения расплава в форме.

Математическое описание поведения этой системы включает уравнение движения расплава переменной массы при заполнении формы, термодинамические уравнения, характеризующие изменение состояния газа переменной массы входящего в установку с учетом его прогрева. Предложены различные математические модели этой системы. Наиболее важные практические выводы, вытекающие из результатов теоретических и экспериментальных исследований, сводятся к следующему.

В зависимости от сочетания конструктивных и пневматических параметров установки движение расплава в металлопроводе и литейной форме *при заполнении может происходить как при постоянной или монотонно изменяющейся скорости потока, так и при колебательном ее изменении*. Колебательный характер изменения скорости отрицательно влияет на качество отливок, поэтому конструкция установки и режимы работы ее пневмосистемы, а также конструкция вентиляционной системы формы должны способствовать гашению колебаний скорости.

Основными конструктивными параметрами установки литья под низким давлением являются: объем свободного пространства камеры печи (V_n) площадь поперечного сечения отверстия металлопровода (F_m), площадь зеркала расплава в тигле (F_T) рис. 4.1а.

Увеличение объема рабочего пространства камеры печи увеличивает скорость потока, способствует гашению колебаний, но полностью их не исключает.

Уменьшение площади сечения металлопровода в установках с объемом рабочего пространства менее $0,07 \text{ м}^3$ приводит к резкому гашению колебаний и увеличению скорости течения расплава, в установках с объемом рабочего пространства более $0,4 \text{ м}^3$ увеличение площади сечения отверстия металлопровода не влияет на характер движения потока и скорость расплава на входе в форму. Это объясняется совместным влиянием размеров металлопровода и конструктивных параметров установки: отношения площади F_m сечения отверстия в металлопроводе и объема V_n , рабочего пространства на скорость нарастания давления в камере установки. Если изменение скорости нарастания давления при заливке не превышает 5 %, то колебания расплава при его движении не возникают.

Увеличение площади зеркала расплава в тигле (F_T) при условии постоянства массы расплава в нем способствует спокойному заполнению. Поэтому установки с тиглем ванного типа, в которых зеркало расплава достаточно велико, более предпочтительны, так как обеспечивают устойчивый режим работы.

Увеличение гидравлического сопротивления в металлопроводе приводит к снижению ускорения расплава в начале заполнения и гасит возникающие колебания. При этом общая продолжительность заполнения и средняя скорость течения расплава остаются практически неизменными.

Важное значение для обеспечения постоянства заданной скорости от заливки к заливке, т. е. по мере понижения уровня расплава в тигле, имеет система управления подачей воздуха в камеру установки. Наиболее удовлетворительные результаты можно получить при использовании систем с регулированием скорости нарастания давления в камере установки. Системы регулирования по величине давления целесообразно использовать только в установках ванного типа. При этом точность регулирования должна быть в пределах $0,01 \dots 0,02 \text{ МПа}$; это обеспечивает поддержание скорости заливки с погрешностью $10 \dots 15 \%$. Для установок ванного типа и с уравновешенным тиглем используют дроссель-

ные системы регулирования подачи воздуха.

Конструкция полости формы и конструкция ее вентиляционной системы также оказывают влияние на характер движения расплава в полости формы. При заполнении форм сложных отливок с ребрами, бобышками создаются условия для захвата воздуха потоком расплава, попадания окислов с его зеркала внутрь отливки. Гидравлическое сопротивление полости формы оказывает существенное влияние на характер движения потока.

Конструкция вентиляционной системы влияет на характер движения потока расплава в полости формы и металлопроводе. Уменьшение площади вентиляционных каналов приводит к возрастанию противодавления воздуха в полости формы, способствует гашению колебаний и снижает скорость потока расплава. Площадь щелевых вентиляционных каналов для удаления воздуха из полости формы может быть найдена по формуле, предложенной В. Н. Майоровым

$$f_v \geq (1,7 \div 2,4) F_{\text{отл}} \cdot u \cdot \sqrt{T_v}, \quad (4.3)$$

где $F_{\text{отл}}$ — площадь сечения отливки в направлении, перпендикулярном к потоку расплава, м^2 ; T_v — начальная температура воздуха в полости формы, $T_v \cong T_{\text{ф}}$, u — скорость расплава, м/с .

Тепловые условия формирования отливки при литье под низким давлением создают возможность направленного затвердевания отливки и питания ее усадкой. Части формы, расположенные на верхней плите рабочей камеры установки (см. рис. 4.3), нагреваются до температуры большей, чем верхняя часть формы. Кроме того, через нижние сечения полости формы, расположенные ближе к металлопроводу, проходит большее количество расплава, чем через сечения, расположенные в верхней части, что существенно увеличивает разницу температур в нижней и верхней частях отливки. Поэтому массивные части отливки, требующие питания, располагают внизу формы, соединяют их массивными питателями с металлопроводом; сверху же формы располагают части отливки, не требующие питания.

Статическое давление на расплав по окончании заполнения формы улучшает контакт затвердевающей корочки и поверхности формы, вследствие чего увеличивается скорость затвердевания отливки. Вместе с тем давление воздуха на расплав в тигле способствует постоянной подпитке усаживающейся отливки, в результате чего уменьшается усадочная пористость, возрастает плотность и повышаются механические свойства отливки.

Однако, избыточное давление в потоке расплава при заполнении формы больше, чем при гравитационной заливке, и гидравлический удар, который возникает при окончании заполнения формы, может привести к прониканию расплава в поры песчаного стержня, появлению механического пригара на отливках.

Тепловые и гидравлические режимы зависят от химического состава сплава и конструкции отливки. При литье под низким давлением стремятся заполнить форму расплавом с возможно меньшим перегревом, достаточным, однако, для хорошего заполнения формы. С уменьшением толщины стенки отливки и увеличением ее размеров температуру заливки принимают большей. Температуру кокиля также назначают с учетом свойств сплава, толщины стенки и размеров отливки, руководствуясь правилами, известными из практики кокильного литья.

Литниковые системы конструируют с учетом литейных свойств сплава и конструкции отливки. Для отливок простой конфигурации литниковая система может состоять из одного элемента, непосредственно примыкающего к массивной части, для более сложных тонкостенных отливок — из литниковых ходов, коллектора и питателей.

Регулирование газового давления. При литье под низким давлением скорость движения расплава в каналах литниковой системы и полости формы регулируют давлением на расплав в камере установки.

Требуемые режимы изменения давления в металлораздатчике связаны с особенностями используемого метода и номенклатуры изготавливаемых отливок.

Наиболее простой режим для отливок с площадью постоянного поперечного сече-

ния по высоте в общем виде показан на рис. 4.5 и состоит из нескольких стадий.

1. Повышение избыточного давления воздуха в печи до максимально необходимого перепада давлений для заполнения формы $\Delta p_{\text{зал}} = p_{\text{п.зал.}} - p_{\text{ф}}$ при постоянном сечении впускного отверстия дросселя. В этих условиях давление в печи изменяется по экспоненте с затухающей скоростью в конце процесса (рис. 4.5 а).

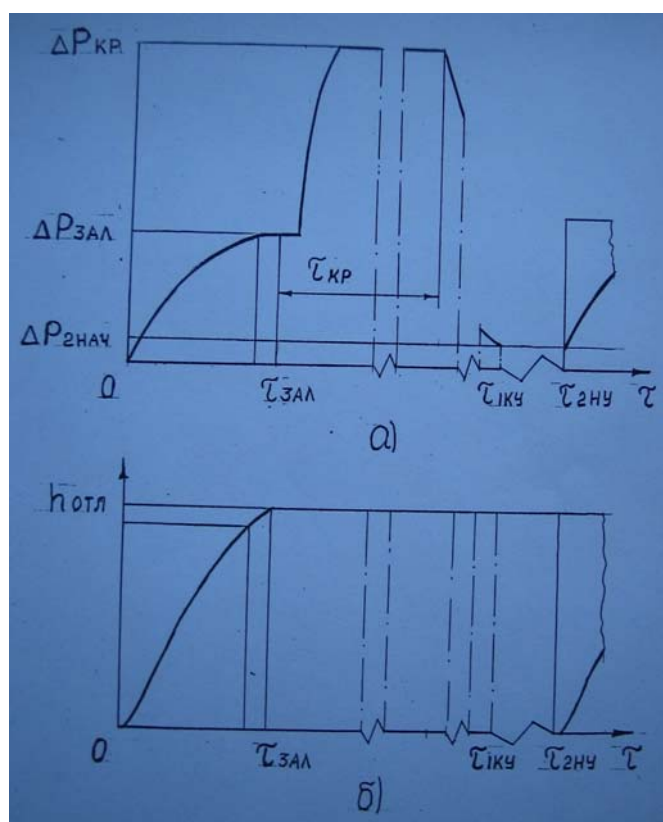


Рис. 4.5. Режимы изменения параметров при ЛНД

а. Изменение избыточного давления ΔP в цикле.

б. Изменение высоты заполнения формы.

Скорость течения металла в форме зависит от скорости нарастания давления в металлораздатчике и соотношения площадей поперечного сечения отливки на различных участках металлпровода и зеркала металла в печи. При постоянной площади поперечного сечения отливки по высоте скорость металла в форме также будет уменьшаться к концу заполнения формы, снижая отрицательные последствия сильного гидравлического удара в конечный момент.

2. После достижения в системе $\Delta p_{\text{зал}}$ необходима некоторая выдержка, так как заполнение формы сплавом про-

исходит с запаздыванием (рис. 4.5 б) из-за инерционности системы. Кроме того, после заполнения формы перед повышением давления целесообразна небольшая задержка для начала формирования корочки металла на поверхности формы, чтобы избежать появления пригара на отливке при использовании песчаных элементов формы.

3. Быстрое повышение избыточного газового давления до перепада $\Delta p_{\text{кр}}$ (рис. 4.5 а) для периода затвердевания отливки.

4. Выдержка при этом давлении длительностью достаточной для затвердевания отливки.

5. Уменьшение давления для удаления жидкого металла из верхней части металлпровода. Чтобы исключить сильное колебание и перемешивание расплава в тигле, обеспечить идентичность условий заливки следующей отливки, избыточное давление сбрасывают плавно ($\sim 0,01$ МПа/с) и не до конца, а до необходимого значения $\Delta p_{\text{зал}}$ для поддержания такого же уровня металла в металлпроводе, как в начале первого цикла. С этого значения избыточного давления, после удаления охладившейся отливки до температуры, обеспечивающей манипуляторной прочности и подготовки формы начинается новый цикл.

Таким образом, $\Delta p_{\text{нач}}$ от цикла к циклу повышается, обеспечивая постоянство начальных условий. Если масса отливки мала и опускание уровня металла в печи за один цикл не существенно (достигнутая точность регулирования уровня металла в металлпроводе ± 10 мм) учет этого явления осуществляют через несколько циклов.

Рассмотренный режим пригоден для многих мелких и средних простых отливок, когда заполнение продолжается несколько секунд и из-за инерционности системы регулирование давления в этот период неэффективно.

Для крупных, разностенных, высоких отливок целесообразен более сложный режим, который предусматривает регулирование изменения скорости повышения давления в печи на первой стадии, в соответствии с рациональной скоростью u течения металла в

форме на разных участках по высоте.

Принципы определения рациональной скорости течения металла в форме, согласования гидравлических и тепловых параметров литья изложены ранее в подразделе: «Особенности формирования отливки при ЛНД».

Для целесообразной номенклатуры отливок массового и крупносерийного производства, во многих случаях, достаточно металлической формы с одной горизонтальной плоскостью разъема и одной подвижной частью кокиля. Однако существуют и установки с возможностями по сборке и разборке форм сопоставимыми по сложности с кокильными машинами (рис. 2.4). Исключено лишь применение подвижных стержней снизу и сложно размещать систему выталкивания отливок в нижней половине кокиля.

Типаж оборудования ЛНД, разработанный АО НИИТАвтопром включает универсальные установки с максимальными размерами пространства для размещения форм от 400x320x250 до 1600x1250x1000 мм.

Существуют специализированные установки и комплексы для литья поршней, головок блока цилиндров из алюминиевых сплавов и др.

Магнитодинамический способ подачи металла в форму. Процесс, похожий на ЛНД осуществляют, используя магнитодинамический принцип подачи расплава в форму. Этот способ литья разработан в институте проблем литья АН Украины.

Схема варианта магнитодинамического насоса показана на рис. 4.6. Расплав из тигля 3 попадает в центральный канал 1 через два боковых вертикальных 7 и 9 и горизонтальные каналы. Участок соединения каналов расположен в межполюсном зазоре электромагнита 10. При включении обмоток индукторов в сеть переменного тока в металле возникает электрический ток, который взаимодействуя с внешним магнитным потоком создает давление, действующее на расплав.

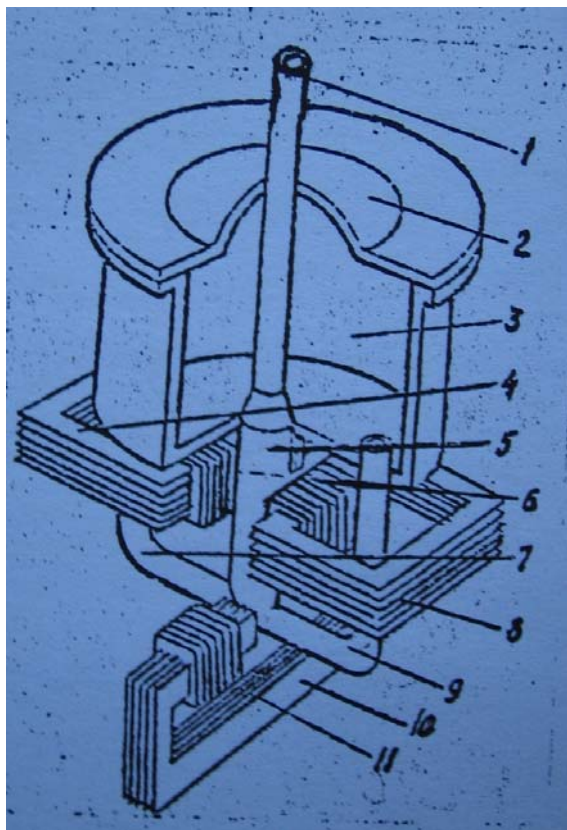


Рис. 4.6. Схема магнитодинамического насоса.

1 – металлоотвод, 2 – крышка печи, 3 – тигель с расплавом, 4,8 – индукторы, 5 – центральный канал, 6 – обмотка индуктора, 7,9 – боковые каналы, 10 – электромагнит, 11 – обмотки электромагнита.

Наличие двух индукторов и отдельное управление электромагнитными системами позволяет реализовать различные режимы движения металла:

1. Насоса. При синфазном включении индукторов и электромагнита металл из печи по боковым каналам поступает в центральный канал – магнитопровод под некоторым давлением. Его величина определяется электрическими параметрами индукторов и электромагнита.

2. «Стопора». При реверсивном включении электромагнита. Направление движения металла изменяется на обратное. Выбором режима работы индукторов можно поддерживать

необходимый уровень металла в металлопроводе.

3. Хранения. При противофазном включении индукторов через металл в каналах протекает удвоенный ток, а металл циркулирует в ванне печи, поступая через один боковой канал и вытекая через другой. Выбором режима работы индукторов можно поддерживать необходимую температуру металла в печи.

Объединяет этот процесс с ЛНД величины скоростей течения металла в форме и сходная методика определения гидравлических и тепловых параметров литья.

В отличие от установок с газовым давлением при этом способе не требуется герметизация металлораздатчика, что позволяет доливать металл в металлораздатчик без остановки процесса литья.

Дополнительные преимущества процесса:

- отсутствие сжимаемой газовой среды в камере установки упрощает реализацию необходимых режимов литья;
- повышается точность выполнения заданных режимов из-за меньшей инерционности электромагнитного воздействия;
- улучшаются условия регулирования тепловых условий литья – можно обеспечить перегрев расплава непосредственно в канале металлопровода.

Среди отрицательных отличий следует отметить:

- большую опасность выделения растворенного газа в расплаве и попадания его в отливку из-за отсутствия избыточного давления в ванне расплава;
- большую сложность эксплуатации установок.

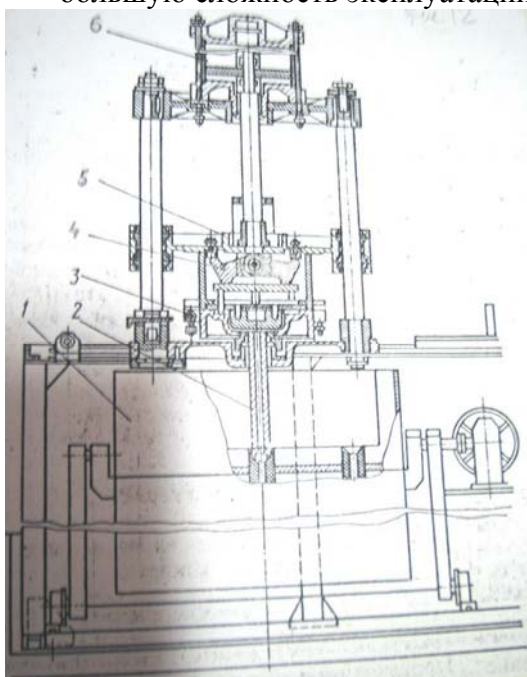


Рис. 4.7. Установка модели ЛЭМД – 002 для получения отливок из алюминиевых сплавов.

1 – магнитодинамическая заливочная установка МДН-6А; 2 – металлопровод; 3 – кокиль; 4 – рычажное устройство, 5 – подвижная траверса, 6 – цилиндр подвижной траверсы.

На рис. 4.7 представлена установка модели ЛЭМД – 002 для литья алюминиевых сплавов в металлическую форму с типом магнитодинамического насоса, показанного на рис. 4.6. В установке использован рычажный механизм, увеличивающий усилие выталкивания отливок из верхней половины кокиля.

4.3. ЛИТЬЕ С ПРОТИВОДАВЛЕНИЕМ (ЛПрД)

Развитием способа литья под низким давлением является литье с противодавлением. Установка для литья с противодавлением (рис. 4.8 а) состоит из двух камер **а** и **б**. В камере **а**, устройство которой подобно герметической камере установки литья под низким давлением, располагается тигель 7 с расплавом **б**. В камере **б** находится форма 3, обычно металлическая. Камеры **а** и **б** разделены герметической крышкой 4, через нее проходит

металлопровод 2, соединяющий тигель 7 и форму 3. Камеры **а** и **б** прочно соединены одна с другой зажимами 5.

В начальный момент, сжатый воздух или инертный газ при требуемом по технологии давлении, например 0,12 МПа, поступает через вентили 8—10 в камеры **а** и **б**. Вентиль 1 при этом закрыт, и расплав в тигле 7 остается неподвижным. По достижении заданного давления вентиль 10 закрывается, а вентиль 1 постепенно открывается. В результате давление в камере **б** понижается, и под действием разности давлений в камерах **а** и **б** расплав поднимается по металлопроводу и заполняет форму. Можно наоборот повысить давление в камере печи через вентиль 8. После заполнения формы давление в камерах **а** и **б** можно повысить, сохраняя их перепад, равный такому как в период заполнения формы. Обычно значение давления при кристаллизации отливки выше, чем в ЛНД (0,4...0,6 Мпа),

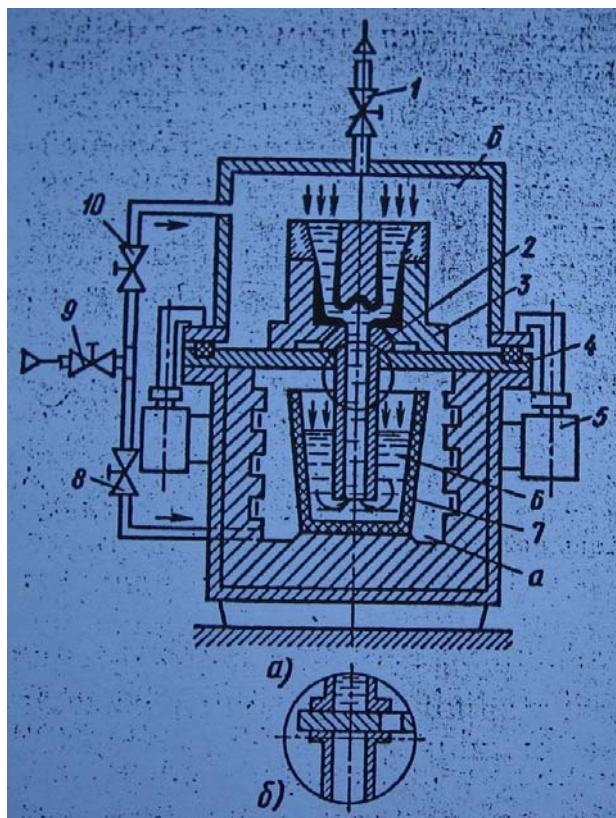


Рис. 4.8. Схема установки ЛПрД (а) и устройства для перекрытия металлопровода (б).

1, 8, 9, 10 – вентили пневмосистемы установки; 2 – металлопровод, 3 – форма, 4 – крышка печи, 5 – зажим, 6 – расплав; 7 – тигель.

что улучшает питание отливки, уменьшает усадочную и газовую пористость, повышает плотность отливки. Таким образом, по существу в этом процессе литья совмещены два: способ литья под низким давлением, используемый для заполнения полости формы, и способ кристаллизации отливок под всесторонним давлением газа или воздуха (см. раздел 4.1).

Давление воздуха, под которым происходит заполнение формы расплавом, будет соответственно равно разнице давлений в нижней p_a и верхней p_b камерах установки: $\Delta p = p_a - p_b$. Скорость подъема распла-

ва в металлопроводе и полости формы так же, как и при литье под низким давлением, будет зависеть от всей совокупности рассмотренных выше конструктивных и пневматических характеристик системы, определяющих скорость нарастания разницы давлений Δp , во время работы установки. Поэтому закономерности процессов заполнения формы и расчетные зависимости, приведенные выше, справедливы и для процесса литья под низким давлением с противодавлением.

Необходимо только учитывать, что под давлением повышается плотность используемого газа, сопровождающаяся ростом его теплопроводности. В результате время охлаждения и затем затвердевания отливок при ЛПрД может сократиться на 10...20%. Схемы изменения разности давлений Δp в период заполнения формы аналогичны показанной на рис. 4.5 и другим вариантам для ЛНД.

На производстве наряду с рассмотренным вариантом конструкции установок для литья с противодавлением используют установки с механическим перекрытием металлопровода после заполнения формы затвором специальной конструкции (рис. 4.8, б), устанавливаемым в месте, обозначенном на рис. 4.8, а кружком. В установках этого типа, после окончания заполнения и перекрытия металлопровода затвором давление в нижней камере понижается до атмосферного, а в верхней повышается до необходимого технологического; такие установки могут иметь менее прочную нижнюю камеру.

В отличие от ЛНД при ЛПрД и заливка литейной формы происходит в условиях

всестороннего повышенного газового давления. Это препятствует выделению растворенных в металле газов (образованию газовых пузырьков) не только при затвердевании отливки, но и при течении расплава. Отмеченное явление вместе с кристаллизацией отливки под более высоким газовым давлением и с увеличенной скоростью приводят к измельчению структуры металла, повышению его физико-механических и эксплуатационных свойств (табл. 4.1).

Таблица 4.1 Прочность отливок из сплава АЛ9, полученных различными способами

Способ литья	σ_b , МПа
Литье в кокиль	130...150 / 200...220
ЛНД давление 0,1 МПа	165...180 / 220...225
ЛПрД давление 0,4 МПа	170...185 / 225...250

Примечание: в числителе значение σ_b литого металла, в знаменателе - после термобработки по режиму Т5 (закалка с кратковременным искусственным старением).

Этот способ литья дает наибольший эффект при изготовлении отливок с массивными стенками равномерной толщины из алюминиевых и магниевых сплавов, кристаллизующихся в широком интервале температур. Использование второй стадии процесса — кристаллизации под всесторонним избыточным давлением для тонкостенных отливок не всегда приводит к заметному улучшению их свойств. Это объясняется тем, что продолжительность кристаллизации тонкостенных отливок мала и отливка затвердевает прежде, чем давление в верхней камере установки достигнет необходимой величины.

4.4. ЛИТЬЕ ВАКУУМНЫМ ВСАСЫВАНИЕМ (ЛВВ)

Сущность процесса литья вакуумным всасыванием состоит в том, что расплав под действием разрежения, создаваемого в полости формы, заполняет ее и затвердевает, образуя отливку. Изменяя разность между атмосферным давлением и давлением в полости формы можно регулировать скорость заполнения формы расплавом.

Кроме общих преимуществ способов литья под регулируемым давлением для ЛВВ характерно:

- увеличенная заполняемость полости формы жидким металлом, что позволяет получать особо тонкостенные отливки (толщина стенки до 1 мм, а иногда и меньше);
- отсутствие необходимости герметизации печи с жидким металлом, что упрощает конструкцию установок и их обслуживание.

Однако последнее обстоятельство ухудшает условия длительного хранения расплавов, склонных к повышенному окислению.

Используют установки двух основных разновидностей.

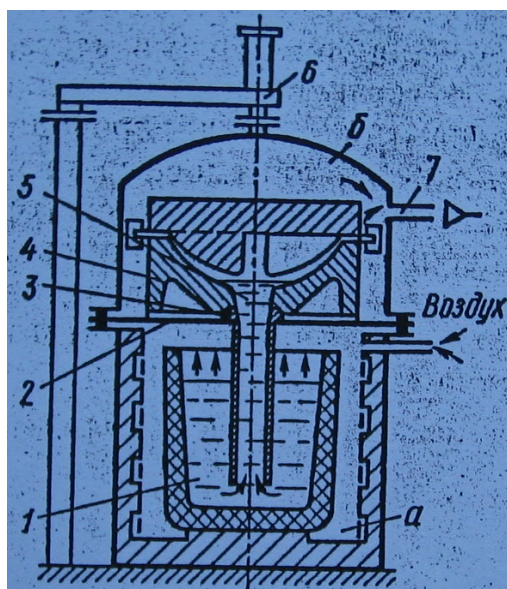


Рис. 4.9. Схема установки для ЛВВ.

1 – тигельная печь сопротивления; 2 – крышка печи; 3 – металлопровод; 4 – форма; 5 – литниковая система; 6 – прижим камеры «а»; 7 – вакуум провод.

Установки первого типа (рис. 4.9) имеют две камеры: нижнюю а и верхнюю б. Нижняя камера а представляет собой раздаточную печь и электрическим или газовым обогревом, в которой располагается тигель 1 с расплавом. Верхняя камера б расположена на крышке 2 нижней камеры; в крышке 2 размещен металлопровод 3.

Форму 4 устанавливают и закрепляют в камере б так, чтобы литник 5 соединялся в металлопроводе 3. Верхняя камера б герметически соединяется цилиндром прижимами б с крышкой 2. Полость верхней камеры б через вакуум-провод 7 соединена с ресивером, в котором насосом создается разрежение, регулируемое системой управления. В начальный момент клапан управления открывается, в камере б создается разрежение, и расплав вследствие разницы давлений в камерах а (атмосферное) и б (менее атмосферного) по металлопроводу 3 поднимается и заполняет полость формы. После затвердевания отливки клапан системы управления соединяет полость камеры б с атмосферой, давление в верхней и нижней камерах становится одинаковым, а остатки незатвердевшего расплава сливаются из металлопровода 3 в тигель 1. Камера б снимается, форма 4 с отливкой извлекается и цикл может повторяться.

Как и при литье под низким давлением, скорости движения расплава в металлопроводе и полости формы определяется сочетанием многочисленных конструктивных и пневматических параметров системы.

Подходы к определению рациональных режимов изменения избыточного давления Δp , обеспечивающих заполнение формы металлом и затвердевание отливок, общие для всех способов литья под регулируемым давлением (рис. 4.5). Отсутствие герметизации металлораздатчика не позволяет поддерживать уровень расплава в металлопроводе постоянными к началу каждого цикла. Он будет понижаться по мере расхода металла из металлораздатчика.

Методика выбора оптимальных гидравлических и тепловых параметров аналогична другим методам литья под регулируемым давлением.

В отличие от других методов при ЛВВ значительно влияет на динамику рабочего процесса величина отношения $\mu_v f_v / (\mu'_{др} f'_{др})$ определяющая скорость нарастания разрежения в форме (рис. 4.1, в). При значении этого параметра < 3 возникает опасность фонтанирования металла в форме. При увеличении его > 5 возникает пульсация металла в форме, ухудшаются условия заполнения тонких сечений отливок. Отношение объема ресивера к объему камеры V_k для устойчивой реализации процесса заполнения формы должно быть равным 9..10, чтобы давление в ресивере во время вакуумирования формы изменялось незначительно.

Предпочтительной номенклатурой для этого способа являются различные колеса вентиляторов с прямыми и изогнутыми лопатками, колеса компрессоров с лопатками толщиной 0,7...1,0 мм и др.

При литье вакуумным всасыванием улучшаются механические свойства отливок. Например, предел прочности отливок из алюминиевого сплава АЛ9 возрастает на 5...10%, а относительное удлинение на 30 % по сравнению с литьем в кокиль. Это объясняется лучшими условиями питания усадки отливки через металлопровод, чем из прибылей.

Установки второго типа используют только для литья слитков и заготовок простой конфигурации в водоохлаждаемые кристаллизаторы.

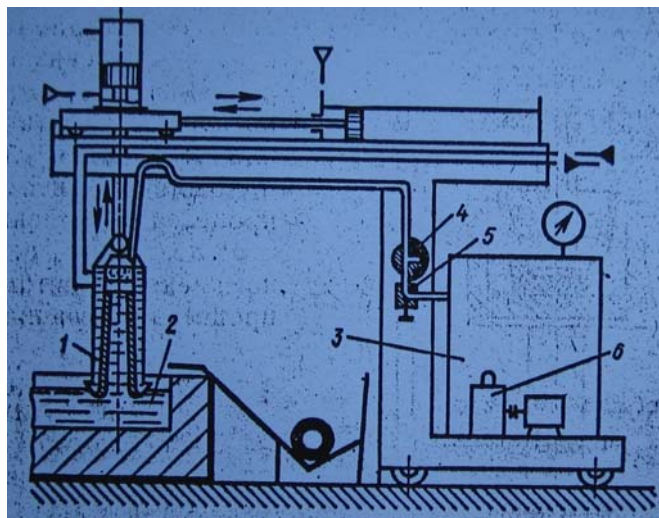


Рис. 4.10. Схема установки для литья вакуумным всасыванием слитков, втулок, гильз.

1 – водоохлаждаемый кристаллизатор; 2 – тигель с расплавом; 3 – вакуумный ресивер; 4 – вакуумный кран; 5 – регулирующий напекатель; 6 – вакуумный насос.

Носок металлического водоохлаждаемого кристаллизатора 1 (рис. 4.10) погружается в расплав, находящийся в тигле 2 раздаточной печи. Рабочая полость кристаллизатора, образующая отливку, со-

единяется вакуум-проводом с вакуумным ресивером 3. Разрежение в системе создается вакуум-насосом 6 и регулируется натекателем 5. Поворотом распределительного крана 4 рабочая полость кристаллизатора соединяется с вакуумным ресивером 8. В полости кристаллизатора создается разрежение, и расплав всасывается внутрь кристаллизатора, поднимаясь на высоту, пропорциональную разрежению $h_{рт}$ и обратно пропорциональную его плотности ρ :

$H = h_{рт} \rho_{рт} / \rho$, где $\rho_{рт}$ — плотность ртути. После затвердевания отливки носок кристаллизатора извлекают из ванны расплава, поворотом крана 4 рабочую полость соединяют с атмосферой и отливка выпадает из кристаллизатора в приемный короб.

Особенности формирования отливки. Форма может заполняться расплавом с требуемой скоростью, плавно, без разбрызгивания, сплошным фронтом; расплав, заполнивший форму, затвердевает в условиях вакуума; газы, содержащиеся в расплаве, могут из него выделяться, благодаря чему создаются условия для получения отливок без газовых раковин и пористости; одновременно под действием давления воздуха на зеркало расплава последний постоянно питает усаживающуюся отливку, в результате чего отливка может быть получена плотной, без усадочных дефектов. Однако для получения плотных отливок без усадочных необходимо согласовывать интенсивности затвердевания и питания отливки.

Обычно при литье вакуумным всасыванием слитков, втулок расплав засасывают в тонкостенный металлический водоохлаждаемый кристаллизатор, благодаря чему отливка затвердевает с высокой скоростью, что способствует устранению ликвации в отливках из сплавов, склонных к ликвационным явлениям.

Способом, рассмотренным выше, можно получать пустотелые заготовки типа втулок без стержней. В этом случае после всасывания расплава в кристаллизатор и намораживания на внутренних стенках кристаллизатора корочки твердого расплава заданной толщины вакуум отключается и незатвердевший расплав сливается обратно в тигель. Таким способом получают плотные заготовки втулок без газовых и усадочных раковин и пористости. Однако внутренняя поверхность втулок бывает волнистой из-за неравномерного затвердевания. Это вызывает необходимость увеличения припуска на обработку резанием внутренней поверхности втулки. Для уменьшения припуска можно отливать та-

кие заготовки с применением стержня, останавливаемого внутри кристаллизатора

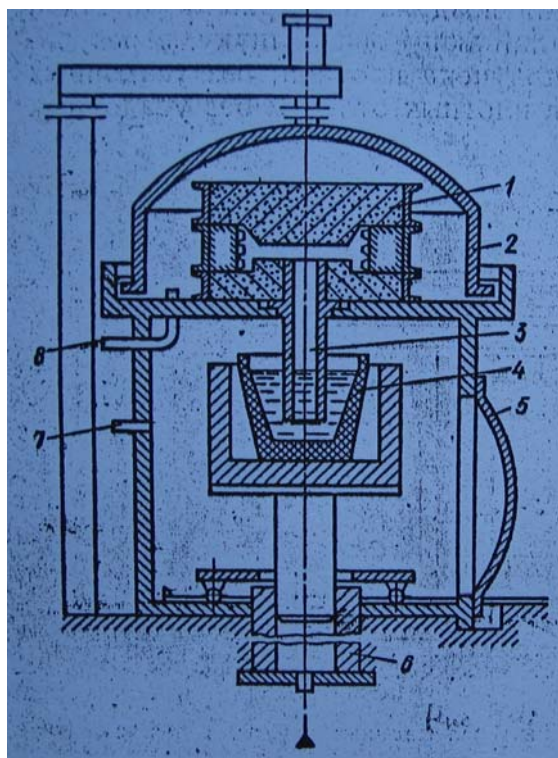
Способ позволяет получать отливки из легких цветных, медных сплавов, чугуна и стали. Наиболее часто этот способ используют для литья заготовок втулок, вкладышей, подшипников скольжения из дефицитных и дорогостоящих медных сплавов.

4.5. ВАКУУМНО-КОМПРЕССИОННОЕ ЛИТЬЕ

Этот способ совмещает предварительное вакуумирование расплава с целью понижения содержания в нем растворенных газов, заливку расплава в форму вакуумным всасыванием и всестороннее давление воздуха на затвердевающую отливку.

Рис. 4.11. Схема установки для вакуумно-компрессорного литья.

1 — форма; 2 — стальной колпак; 3 — металлопровод; 4 — тигель с расплавом; 5 — крышка нижней камеры; 6 — гидроцилиндр подъема тигля с расплавом; 7,8 — трубопроводы пневмосистемы установки.



расплавом; 7,8 — трубопроводы пневмосистемы установки.

Установка (рис 4.11) состоит из двух камер. В верхней камере располагается форма 1 (металлическая или песчаная) так, чтобы литниковая система соединялась с верхней частью металлопровода 3. Форму 1 покрывают стальным колпаком 2 и для герметичности запирают специальными затворами. В нижней камере размещают (в данном случае закатывают) тигель 4, камеру герметически закрывают крышкой 5. Камеры формы и тигля соединяются с вакуумной системой трубопроводами 7 и 8 для дегазации сплава и формы. По окончании дегазации гидроцилиндр 6 поднимает тигель с расплавом и металлопровод погружается в расплав. Затем давление в камере формы постепенно снижают, создается разница давлений в нижней и верхней камерах, благодаря чему происходит всасывание расплава из тигля в полость формы. Разница давлений в камерах формы и тигля обычно не превышает 25 кПа.

После заполнения формы отверстие металлопровода перекрывается и в камеру формы по трубопроводу 8 подается сжатый воздух, отливка затвердевает под всесторонним давлением. Избыточное давление в верхней камере выше давления газов в растворе. Поэтому оставшиеся в расплаве после вакуумирования растворенные газы из него не выделяются и не образуют в ней газовой пористости, что повышает механические свойства. Этим способом получают сложные отливки без пористости с высокими механическими свойствами.

Особенности использования методов литья под регулируемым давлением в массовом и мелкосерийном производстве.

При использовании методов литья под регулируемым газовым давлением в массовом производстве когда беспокоит проблема производительности установок, может представить интерес предложения по конструкции карусельных (многопозиционных) машин ЛНД, ЛВВ, аналогично карусельным кокильным машинам. Разделение кокиля на карусели и металлораздатчика с металлопроводом происходит после заполнения формы металлом и затвердевания отливки. Дальнейшее охлаждение отливки, извлечение ее из формы и сборка кокиля происходит на других позициях карусели.

В мелкосерийном производстве на не крупных предприятиях острее стоит проблема загрузки специального оборудования из-за недостатка пригодной номенклатуры с необходимым объемом производства. В этих условиях может быть эффективно использование универсальных комбинированных установок литья под регулируемым газовым давлением, позволяющих реализовывать несколько рассмотренных видов технологических процессов или их комбинаций.

Основным требованием при создании такого оборудования является наличие двух надежно герметизированных камер: для расплава и формы. Из выпускаемых машин этому требованию отвечают установки для литья с противодавлением. Дополнительно оснащенные специальными модулями они позволяют получать отливки методом ЛНД, ЛПрД, ЛВВ, ЛВФ и различными комбинациями этих методов.

Опыт показывает, что использование такой универсальной установки может позволить повысить коэффициент загрузки установки с 0,2...0,4 до 0,7...0,8. При этом приблизительно 15% всех отливок изготавливают с применением вакуумного модуля, способом ЛПрД приблизительно 10...15% и с применением ЛНД приблизительно 70...75%.