

ГЛАВА 5. ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ

5.1. СУЩНОСТЬ СПОСОБА. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ. ОБЛАСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Сущность центробежного литья заключается в том, что заполнение формы расплавом и формирование отливки происходит при вращении формы вокруг горизонтальной, вертикальной, наклонной оси или при сложном вращении формы. Это обеспечивает дополнительное воздействие на расплав и затвердевающую отливку поля центробежных сил. Процесс реализуется на специальных центробежных машинах и столах.

Чаще используют два варианта способа, при которых расплав заливается в форму с горизонтальной осью вращения или с вертикальной осью вращения. В первом случае получают отливки - тела вращения малой и большой протяженности, во втором - тела вращения малой протяженности и фасонные отливки.

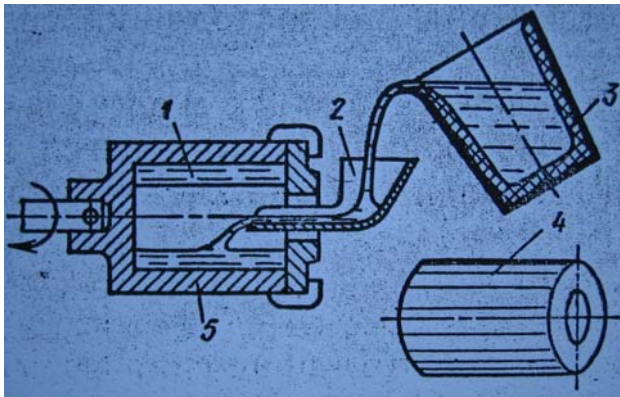


Рис. 5.1. Схема получения отливки при вращении формы вокруг горизонтальной оси. 1- расплав, 2- заливочный желоб, 3- ковш, 4- отливка, 5- форма.

Наиболее распространен способ литья во вращающиеся металлические формы с горизонтальной осью вращения пустотелых цилиндрических отливок. По этому способу (рис. 5.1) отливка формируется в поле центробежных сил со свободной цилиндрической поверхностью, а формообразующей поверхностью служит внутренняя поверхность изложницы. Расплав из ковша 3 заливают во вращающуюся форму 5 через заливочный желоб 2. Расплав 1 растекается по внутренней поверхности формы, образуя под действием поля центробежных сил пустотелый цилиндр. После затвердевания металла и остановки формы происходит извлечение отливки 4. Такой способ характеризуется наиболее высоким технологическим выходом годного (ТВГ~100 %), так как не расходуется металл на литниковую систему.

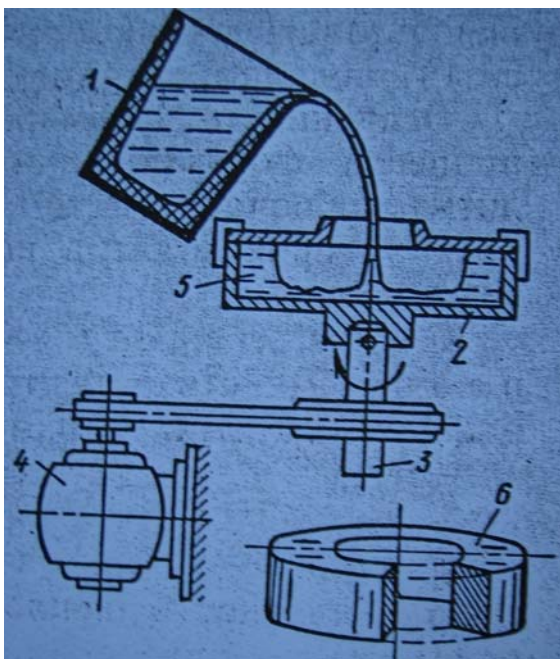


Рис. 5.2. Схема получения отливки при вращении формы вокруг вертикальной оси: 1- ковш, 2- форма, 3- шпиндель, 4- электродвигатель, 5- расплав, 6- отливка.

При получении отливок со свободной параболической поверхностью при вращении формы вокруг вертикальной оси (рис. 5.2) расплав из ковша 1 заливают в форму 2, закрепленную на шпинделе 3, приводимом во вращение электродвигателем 4. Расплав 5 под действием центробежных и гравитационных сил распределяется по стенкам формы 2 и затвердевает, после этого вращение формы прекращают и извлекают из нее затвердевшую отливку 6.

Отливки с внутренней поверхностью сложной конфигурации получают с использованием стержней (рис. 5.3, а) в формах с вертикальной осью вращения. Так отливают венцы зубчатых колес. Расплав из ковша через заливочное отверстие и стояк 1 поступает в центральную полость 2 формы, выполненную стержнями 3 и

4, а затем через щелевые питатели (под действием центробежных сил) в рабочую полость формы. Технологический выход годного здесь меньше, чем в предыдущем способе. Избыток 5 расплава (сверх массы отливок) в центральной полости 2 формы служит прибылью и питает отливки при затвердевании.

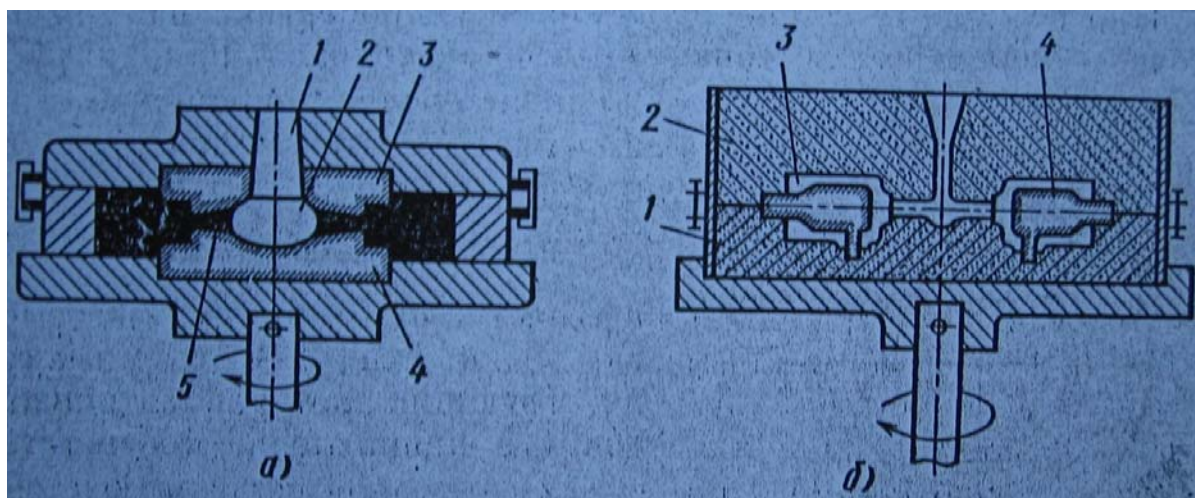


Рис. 5.3. Схема получения фасонных отливок: а - венцов шестерен, 1- стоек, 2- центральная полость формы, 3 и 4- стержни, 5- прибыль; б - мелких фасонных отливок, 1- нижняя полуформа, 2- верхняя полуформа 3- рабочая полость формы, 4- стержень.

Мелкие фасонные отливки изготовляют по варианту (рис. 5.3, б), в котором применяют, например, песчаную форму. Части формы 1 и 2 устанавливают на центробежный стол и крепят на нем. При необходимости используют стержни 4. Рабочие полости 3 должны располагаться симметрично относительно оси вращения для обеспечения балансировки формы. Расплав заливают через центральный сток, из которого по радиальным каналам он попадает в полости формы. ТВГ при таком способе литья приближается к выходу годного при литье в песчаные формы. При центробежном литье можно использовать песчаные, металлические, оболочковые и объемные керамические, комбинированные формы.

Краткие исторические сведения. Первый патент на центробежный способ изготовления отливок был получен в Англии в 1809 г. Однако это изобретение А. Экхерта практического применения не нашло. Предложенный 40 лет спустя центробежный способ литья труб также не дал положительных результатов. Обусловлено это целым рядом причин, главными из которых являются следующие.

В то время отсутствовал массовый спрос на отливки типа труб, втулок и колец. Потребность в них вполне обеспечивалась другими способами литья. Показатели качества отливок при центробежном способе их получения были весьма низкими, так как отсутствовал удобный привод, позволяющий управлять скоростью вращения изложницы и свойствами отливок. В 20 веке с ростом строительства городов, развитием автомобильной и тракторной промышленности потребность на водопроводные и канализационные трубы, втулки и гильзы различного назначения увеличилась настолько, что традиционные способы не обеспечивали требуемого количества и качества изделий. В конце 20 века был создан надежный электропривод, промышленность стала способной изготавливать детали для быстроходных машин с требуемой точностью. Все это создало необходимые предпосылки для широкого промышленного распространения центробежного литья.

Особенности формирования отливки. Главная особенность процесса формирования отливок при центробежном способе литья заключается в том, что заполнение формы и затвердевание отливки происходят в поле действия центробежных сил, во много раз превосходящих силу тяжести.

Силы, действующие во вращающемся расплаве. Действие поля центробежных

сил, приходящееся на единицу объема вращающегося расплава, может быть выражено зависимостью

$$\rho_{ц} = \rho \omega^2 r / g,$$

где ρ - плотность расплава; ω - угловая скорость вращения формы; r - радиус вращения произвольной точки расплава; g - ускорение свободного падения.

Коэффициент $k = \rho_{ц} / \rho = \omega^2 r / g$, который принято называть гравитационным коэффициентом, показывает соотношение между центробежными силами и силой тяжести.

Статическое давление, действующее во вращающемся расплаве.

Положим, что расплав вращается вместе с формой вокруг неподвижной оси, перпендикулярной к плоскости чертежа, с постоянной угловой скоростью вращения ω (рис. 5.4). Если допустить, что расплав в этой системе подвержен действию только центробежных сил, то он находится в состоянии покоя относительно формы и поэтому можно воспользоваться уравнениями гидростатики. Это допущение оправдано тем, что обычно при центробежном литье $k \gg 1$.

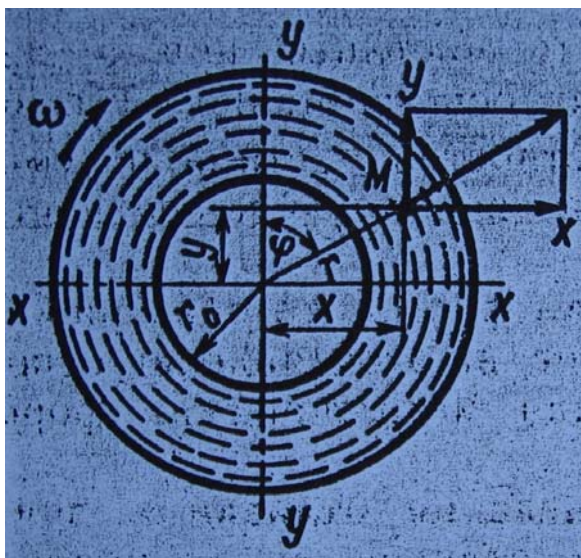


Рис. 5.4. Схема к определению статического давления во вращающемся расплаве.

При элементарном перемещении точки M в произвольном направлении в жидкой среде приращение давления определяется уравнением Эйлера:

$$dp = Xdx + Ydy + Zdz, \quad (5.1)$$

где dx, dy, dz — проекции перемещения точки; X, Y, Z — объемные силы, действующие на рассматриваемую точку в направлении соответствующих осей. В радиальном направлении на точку M действует объемная сила $\rho \omega^2 r$, составляющие которой по осям $X = \rho \omega^2 x, Y = \rho \omega^2 y, Z = 0$. Так

как $x = r \sin \varphi$ и $y = r \cos \varphi$, то приращение давления в точке при ее элементарном перемещении составит:

$$dp = (\rho \omega^2)(x dx + y dy). \quad (5.2)$$

Интегрируя (5.2) и определяя постоянную интегрирования, находим, что во вращающемся расплаве, вызванное действием поля центробежных сил давление, определяется зависимостью

$$p = (\rho \omega^2 / 2)(r^2 - r_0^2), \quad (5.3)$$

где r_0 - радиус свободной поверхности отливки.

Из (5.3) следует: в расплаве, вращающемся вместе с формой с постоянной угловой скоростью, дополнительное давление изменяется пропорционально квадрату расстояния до рассматриваемой точки от оси вращения; на свободной поверхности расплава при любой скорости вращения давление, вызванное действием центробежных сил, равно нулю.

Формула (5.3) может быть использована и для определения давления в расплаве при движении его в каналах формы для фасонных отливок и давления на оформляющие поверхности формы, но она справедлива лишь для невысоких форм. Примеры таких литейных форм изображены на рис. 5.2 и 5.3,а. При заливке высоких форм из материалов с малой прочностью (сырые песчаные формы, оболочковые формы по выплавляемым моделям, схема которых изображена на рис. 5.3,б), угловая скорость может быть меньше, а напор расплава в стояке может быть больше и его следует учитывать:

$$p = \rho \omega^2 r^2 / 2 + \rho gh,$$

где h — расстояние от уровня расплава в чаше на оси вращения до горизонтальной плоскости, в которой находится рассматриваемая точка.

Силы, действующие на инородные частицы в расплаве. Если твердая или жидкая частица погружена в расплав и ее плотность отлична от плотности расплава, то действующая на частицу сила со стороны расплава не уравнивается ее собственной центробежной и силой тяжести. Поэтому частица перемещается в ту или другую сторону по отношению к свободной поверхности. В соответствии с законом Архимеда, результирующая сила, действующая на погруженную во вращающийся расплав частицу

$$P_u = V(\rho_l - \rho) \omega^2 r, \quad (5.4)$$

где V — объем частицы; ρ_l — плотность частицы. При $\rho_l > \rho$ сила положительна и частица движется от оси вращения к стенке формы, при обратном соотношении плотностей частица перемещается к оси вращения и всплывает на свободную поверхность расплава.

Если твердая частица касается стенки формы, то она прижимается расплавом к стенке и не всплывает. На этом явлении основано применение сыпучих покрытий для металлических форм при центробежном литье.

Действие поля центробежных сил обязательно учитывается при разработке систем шлакозадержания и питания, например, песчаных форм для стальных фасонных отливок при их центробежной заливке.

Особенности охлаждения и затвердевания отливки в поле центробежных сил.

При изготовлении отливок со свободной поверхностью расплав охлаждается в изложнице неравномерно по объему. Часть теплоты отводится от расплава в стенку изложницы и ее крышку, другая часть — конвекцией и излучением со стороны свободной поверхности. Количество теплоты, отдаваемое воздуху свободной поверхностью отливки, значительно. Воздух в полости отливки вовлекается во вращение и выходит из нее, на его место вдоль оси вращения поступает холодный воздух. Более интенсивна циркуляция в случае вращения формы с расплавом вокруг вертикальной оси вследствие естественного подъема горячего воздуха вверх.

Такая неравномерность охлаждения, особенно толстостенных отливок, приводит к возникновению конвекции в расплаве. Охлажденный более плотный расплав перемещается от свободной поверхности во внутренние слои затвердевающей отливки, а горячий и менее плотный в обратном направлении. Вследствие этого в расплаве возникают конвекционные потоки, циркулирующие в радиальном направлении (рис. 5.5, а). В условиях центробежного литья это наблюдается даже при небольшой разнице температур и плотностей, так как Дей

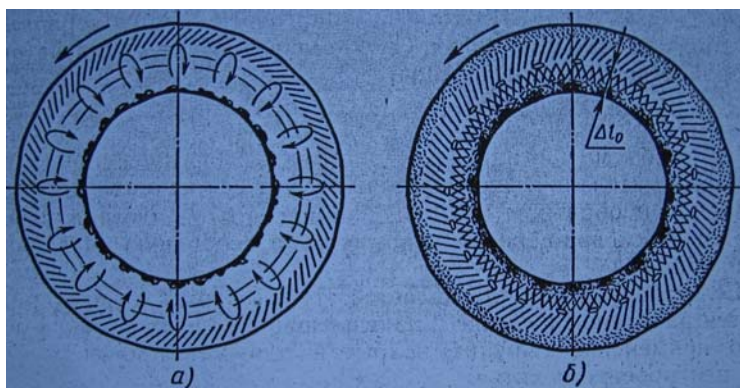


Рис. 5.5. Схема возникновения конвективных потоков во вращающемся и затвердевающем расплаве (а) и кристаллического строения отливки (б).

ствующие в этой системе силы возрастают пропорционально гравитационному коэффициенту k . Это способствует направленному затвердеванию отливки в радиальном направлении и

тем больше, чем больше угловая скорость вращения.

При направленном затвердевании от стенок изложницы фронт растущих в радиальном направлении кристаллов находится под значительным избыточным давлением расплава, обусловленным действием поля центробежных сил. Вследствие этого кристаллы растут в направлении поступающего расплава (рис. 5.5, б), поэтому они несколько наклонены в сторону навстречу направлению вращения. Давление, развиваемое при вращении расплава, спо-

способствует прониканию его в межкристаллитные пространства, что улучшает питание затвердевающей отливки, повышает ее плотность. Свободная поверхность расплава затвердевает в последнюю очередь и, при горизонтальной оси его вращения, остается геометрически правильной цилиндрической формы. Из формулы (5.4) следует, что инородные частицы (газы, шлак и т. д.), имеющие плотность меньшую, чем расплав, под действием силы, обусловленной разностью плотностей и действием поля центробежных сил, интенсивно всплывают на свободную поверхность расплава. Это приводит к необходимости назначать большие припуски на обработку свободных поверхностей отливок.

Таким образом, направленное затвердевание позволяет получить отливки с плотным строением тела, без усадочных дефектов и инородных включений. Однако центробежные силы способствуют направленному затвердеванию, но только в тех случаях, если выделяющиеся на свободной поверхности кристаллы твердой фазы имеют плотность большую, чем плотность остающегося расплава. Для большинства литейных сплавов это условие соблюдается. Исключение составляют два случая: когда сплав затвердевает с расширением объема (например, серый чугун) и когда выделяющиеся подвижные кристаллы обогащены компонентами сплава, имеющими меньшую плотность, чем остающийся расплав. Например, при затвердевании заэвтектических силуминов (содержание кремния более 11,7%) первичные кристаллы обогащены кремнием, менее плотным, чем алюминий. Эти более легкие кристаллы остаются на свободной поверхности или всплывают, если зародились внутри переохлажденного расплава. В результате отливка начинает затвердевать от стенок изложницы и со стороны свободной поверхности. К концу затвердевания вследствие недостатка питания внутри стенки отливки образуются усадочные поры. В этом случае, чем быстрее вращается форма, тем интенсивнее выносятся кристаллы на свободную поверхность, а усадочная пористость распространяется на большую глубину.

Усадочная пористость под свободной поверхностью наблюдается также при изготовлении толстостенных отливок (см. рис. 5.5, б). В тонкостенных отливках большой протяженности глубина Δl_0 расположения зоны усадочной пористости меньше. Это объясняется соотношением скоростей охлаждения со стороны наружной и внутренней (свободной) поверхности отливки. Чем меньше скорость охлаждения внутренней поверхности и больше со стороны наружной поверхности отливки, тем меньше глубина Δl_0 .

Скоростью охлаждения отливки можно управлять. Так, с наружной стороны это достигается путем изменения толщины или теплофизических свойств огнеупорного покрытия, изменением скорости охлаждения формы. Со стороны внутренней поверхности с этой целью можно использовать сыпучие огнеупорные материалы или экзотермические смеси (для отливок из стали такая смесь может иметь состав: 50% железной руды зернистостью 0,63; 26% алюминиевого порошка; 24% кварцевого песка $1K_3O_2016$).

При центробежном способе изготовления отливок ликвация (химическая неоднородность) чаще всего наблюдается в радиальном направлении и реже в осевом. Ликвация происходит при изготовлении отливок из сплавов, компоненты которых взаимно нерастворимы и не образуют эвтектик, химических соединений. К таким сплавам относится, например, свинцовистая бронза. В некоторых случаях при неправильных режимах литья, ликвация развивается настолько интенсивно, что весь свинец оказывается на поверхности отливки, образуемой изложницей, а медь и другие, менее плотные компоненты - на свободной ее поверхности. Если сплав содержит компоненты, взаимно растворимые при данном содержании их в сплаве, то ликвация проявляется лишь в обогащении слоев отливки, примыкающих к свободной поверхности менее плотными компонентами сплава и примесями.

В результате ликвации в слоях, расположенных ближе к свободной поверхности массивных отливок из чугуна, содержится большее количество углерода, фосфидной эвтектики, включений MnS ; в стальных отливках в этих слоях повышается содержание P, S, S, концентрируются оксиды, нитриды, силикатные включения.

Сплавы, склонные к обратной ликвации проявляют эти свойства и при центробежном

литье. Обратная ликвация - обогащение периферийной части отливки фазами с низкой плотностью. Такое явление наблюдается при литье сплавов меди с оловом, алюминия с магнием, в доэвтектических силуминах и др. Обратная ликвация возникает вследствие пропитывания менее плотной фазой каналов между ветвями дендритов. Это происходит под действием центробежного давления в расплаве и по причине уменьшения объема периферийной зоны при усадке.

Как правило, ликвация увеличивается с увеличением скорости вращения формы.

Форма свободной поверхности расплава в поле действия центробежных сил может быть определена, исходя из уравнения (5.1).

При вращении формы вокруг вертикальной оси на каждую частицу расплава кроме центробежных сил действует сила тяжести. Тогда из (5.1) при $dp=0$, $X=\rho\omega^2 x$, $Z=-\rho g$, $Y=0$ получим:

$$z = \omega^2 x^2 / (2g). \quad (5.5)$$

Из (5.5) следует, что свободная поверхность отливки при вертикальной оси вращения (z) — параболоид вращения, геометрическая ось которого совпадает с осью вращения. Вследствие этого отливки получаются разностенными в осевом направлении, что вынуждает назначать повышенные припуски на обработку резанием высоких отливок. Поэтому вращением вокруг вертикальной оси преимущественно изготавливают отливки небольшой протяженности в осевом направлении (кольца, венцы, короткие втулки).

Если при вращении формы с постоянной скоростью ω вокруг горизонтальной оси на расплав действуют только центробежные силы, то уравнение (5.1) при $dp=0$ имеет решение

$$x^2 + y^2 = r^2, \quad (5.6)$$

т. е. свободная поверхность расплава принимает форму кругового цилиндра, геометрическая ось которого совмещена с осью вращения формы. Однако на расплав действует также сила тяжести, поэтому на пути к нижней точке траектории его частицы движутся ускоренно, а к верхней замедленно - происходит пульсация расплава. Вследствие неразрывности потока слой расплава в нижней части формы должен быть тоньше, чем в верхней.

Эксцентриситет, обусловленный пульсацией расплава в форме тем меньше, чем больше угловая скорость ее вращения и чем больше вязкость расплава. По мере того как фронт затвердевания продвигается от стенок изложницы вглубь расплава, эксцентриситет уменьшается, достигая нуля к моменту затвердевания свободной поверхности. Свободная поверхность получается цилиндрической и готовая отливка не имеет разностенности ни в радиальном, ни в осевом направлении.

Получение отливки с геометрически правильной свободной поверхностью возможно лишь при определенной угловой скорости вращения (определяющей гравитационный коэффициент). При недостаточной скорости вращения свободная поверхность отливки искажается, повышается ее шероховатость, расплав плохо очищается от неметаллических включений, завышенная скорость может приводить к образованию в отливках трещин, усилению механического пригара и ликвационных процессов.

Рассмотренные особенности формирования отливки при центробежном литье указывают на следующие его преимущества: возможность улучшения заполняемости форм расплавом под действием давления, развиваемого центробежными силами; повышение плотности отливок вследствие уменьшения усадочных пор, раковин, газовых, шлаковых и неметаллических включений; уменьшение расхода металла и повышение выхода годного благодаря отсутствию литниковой системы при изготовлении отливок типа труб, колец, втулок или уменьшению массы литников при изготовлении фасонных отливок; исключение затрат

на стержни при изготовлении отливок типа втулок и труб.

Особенности формирования отливки обуславливают и недостатки этого способа ли-

тя: трудности получения отливок из сплавов склонных к ликвации; загрязнение свободной поверхности отливок неметаллическими включениями и ликватами; неточность размеров и необходимость повышенных припусков на обработку свободных поверхностей отливок, вызванная скоплением неметаллических включений в материале отливки вблизи этой поверхности и отклонениями дозы расплава, заливаемого в форму.

Наивысшие технико-экономические показатели центробежного способа достигаются при получении пустотелых цилиндрических отливок с различными размерами и массой (длиной до нескольких метров и массой до нескольких тонн): труб различного назначения из чугуна, стали, цветных и специальных сплавов; втулок и гильз для стационарных и транспортных дизелей; колец подшипников качения и др. Большое распространение получило центробежное литье для биметаллических изделий, изделий из сплавов с низкой жидкотекучестью и высоким поверхностным натяжением, при необходимости получения тонкостенных отливок со сложной геометрией и микрорельефом поверхности. К ним относятся, например, турбинные диски с лопатками, отливки художественного и ювелирного назначения (серьги, кулоны, перстни и др.). Для таких изделий применяют керамические оболочковые формы по выплавляемым моделям, гипсовые формы, кокили и др.

Эффективность достигается при этом вследствие возможности получения отливок без стержней, практически без отходов металла на литники и прибыли; получения высокого качества поверхности отливок, не имеющих дефектов усадочного и газового происхождения.

5.2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

Формы. Для изготовления отливок центробежным способом применяют различные литейные формы: металлические, песчаные, комбинированные (металлические с песчаными стержнями), керамические, оболочковые по выплавляемым моделям и др. Формы могут быть предназначены для изготовления отливок на машинах с горизонтальной и вертикальной осью вращения формы, для длинных или коротких отливок цилиндрической формы, для получения фасонных отливок; конструкция формы зависит также от характера производства (единичное, серийное, массовое).

Металлические формы. Такие формы для изготовления отливок центробежным способом обычно называют изложницами.

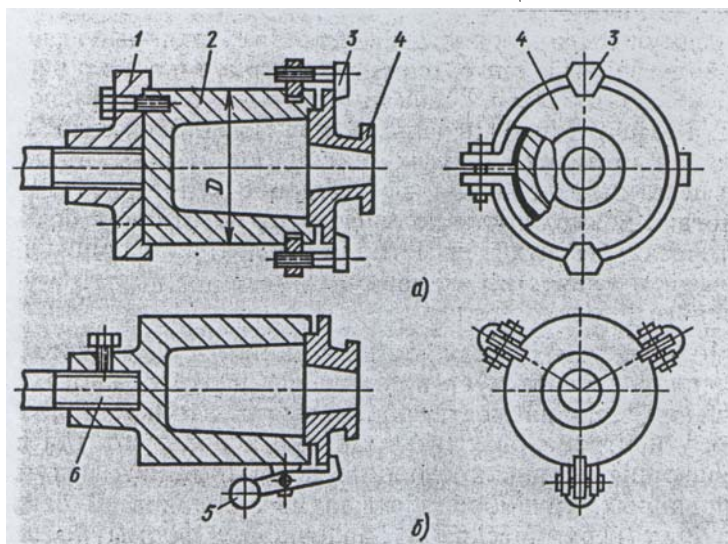


Рис. 5.6. Способы крепления крышек на изложницах. 1- планшайба, 2- форма, 3- болт, 4- крышка, 5- центробежный зажим, 6 - шпindelъ.

Формы с горизонтальной осью вращения. В зависимости от назначения и конфигурация отливок применяют короткие и длинные изложницы. Короткие изложницы 2 крепят на планшайбе 1 (рис. 5.6, а) или на шпинделе 6 (рис. 5.6, б) машины для центробежного литья. Эти изложницы используют для литья ко-

ротких втулок, колец, гильз. При установке изложницы на шпинделе ее стопорят болтом. При установке на планшайбе машины изложницу центрируют по диаметру D , для чего на планшайбе имеется специальная проточка. Изложницу крепят к планшайбе болтами с тыльной ее стороны.

Для предотвращения вибрации при вращении, заготовки изложниц подвергают механической обработке по внутренней и наружной поверхностям с одной установки, а при необходимости, балансировке. Внутренняя поверхность изложницы должна иметь

уклон, тем меньший, чем больше диаметр отливки. При диаметрах отливки более 300 мм уклона не делают, так как отливка легко извлекается вследствие образования зазора при усадке.

Крышки 4 крепятся к таким изложницам болтами 3 или центробежными зажимами 5 (см. рис. 5.6). Крепление крышки болтами используют при изготовлении небольших серий отливок. Центробежные зажимы применяют в условиях автоматизированного серийного и массового производства отливок. Зажимные устройства крышек конструируют и рассчитывают на прочность с учетом действия центробежных сил как на расплав, так и на другие части этой системы. Минимальное число болтов для крепления крышки - два, а центробежных зажимов - три. В некоторых конструкциях при использовании болтов для крепления крышки предусматривают температурные компенсаторы, исключающие смятие резьбы при разогреве изложницы и крышки. Конфигурация крышки должна исключать выплескивание расплава при заливке, например, быть такой, как это показано на рис. 5.6. Расплав не должен попадать на устройство для крепления крышки, для чего последняя снабжается цилиндрическим выступом. Диаметр отверстия в крышке должен быть достаточным для введения в изложницу заливочного желоба.

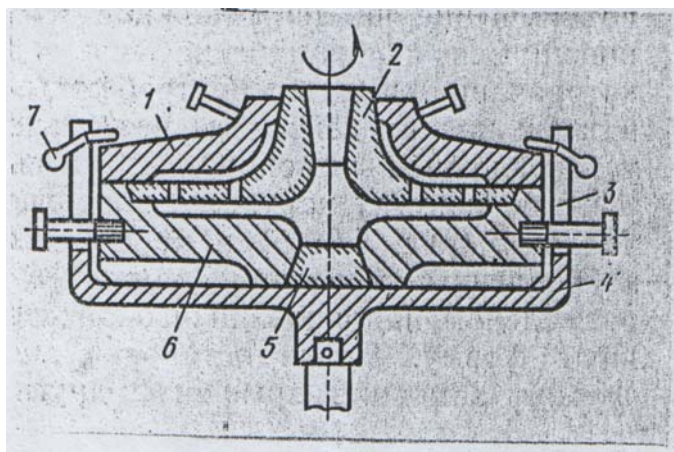


Рис. 5.7. Металлическая форма с песчаным стержнем для получения фасонных отливок. 1- верхняя полуформа, 2- песчаный стержень, 3- прорези, 4- планшайба, 5- песчаная вставка, 6- нижняя полуформа, 7- центробежный зажим.

Для изготовления фасонных отливок также используют металлические формы (см. рис. 5.7). На шпинделе машины закрепляют планшайбу 4, в которую устанавливают нижнюю полуформу 6 с песчаной вставкой 5. Полость в отливке выполняют песчаным стержнем 2. Сборку формы завершают установкой верхней полуформы 1. При вращении планшайбы проскальзывание формы исключается вследствие того, что ее цапфы проходят в прорези 3 в планшайбе. Верхняя полуформа 1 прижимается к нижней полуформе центробежными зажимами 7.

Тепловой режим металлических форм, применение защитных покрытий. Изложницы для центробежного литья, так же как и кокили, перед заливкой расплава подогревают, на их рабочую поверхность наносят слой огнеупорного покрытия, предназначенный для регулирования скорости охлаждения отливки и защиты изложницы от воздействия расплава. При необходимости формы охлаждают воздухом или водой. Поэтому все, что изложено по вопросам тепловых режимов формы в разделе 2.3 в равной мере относится и к формам при их центробежной заливке. Кроме того, при центробежном литье широко используют сыпучие материалы для покрытия поверхности форм. Покрытия наносят на поверхность вращающейся формы с помощью желоба или совка так, чтобы оно равномерно распределилось по поверхности формы. В единичном производстве операцию нанесения покрытия выполняют вручную, а в серийном или массовом - с помощью специальных механизмов или автоматических устройств. Частицы покрытия прочно удерживаются на поверхности формы под действием центробежных сил.

Состав сыпучих покрытий зависит от их назначения. Различают покрытия теплоизоляционные, предназначенные для регулирования скорости охлаждения отливки и защиты изложницы от расплава (мелкий кварцевый песок, пылевидный кварц) и химически активные, взаимодействующие с расплавом (ферросилиций, графит, алюминиевый порошок и т. д.), изменяющие свойства поверхностного слоя отливки. Однако использование сыпучих покрытий невозможно для изложниц с фасонной поверхностью, а также при литье на машинах с

вертикальной осью вращения. Поэтому в состав покрытия часто вводят небольшое количество связующего, например, пульвербакелита ПК104.

Материалы для металлических форм. Стенки изложницы в процессе работы подвержены циклическому воздействию механических и термических нагрузок. Работа изложницы при циклических тепловых, центробежных нагрузках создает в ее стенке значительные напряжения. Поэтому для изготовления изложниц часто используют стали, легированные хромом, молибденом, например 25Х2НМ, 34ХМ. Однако это целесообразно только в условиях крупносерийного и массового производства отливок, так как стальные изложницы дороги. Поэтому в мелкосерийном производстве, особенно отливок небольших размеров из чугуна, используют изложницы из серых чугунов СЧ20, СЧ25.

Футерованные формы. Такие формы применяют в производстве отливок, у которых наружная поверхность имеет выточки, буртики, пояски. Например, гильзы двигателей внутреннего сгорания. В этом случае металлическую форму футеруют изнутри песчано-глинистой или песчано-смоляной смесью.

Футеровку наносят на поверхность формы формовкой по модели или накаткой роликом.

Для нанесения футеровки по модели изложницу снимают с машины, затем с нее снимают переднюю и заднюю крышки, извлекают отливку и очищают ее поверхность от остатков смеси. Процесс нанесения футеровки по разъемной или неразъемной модели аналогичен тому, который используется, например, для изготовления сырых песчано-глинистых форм. После извлечения модели на изложницу устанавливают крышки и крепят готовую к заливке форму на машине. После заливки изложницы и охлаждения отливки до температуры выбивки процесс повторяется. Такой технологический процесс используется для изготовления гильз с двумя наружными поясками для крупных дизелей.

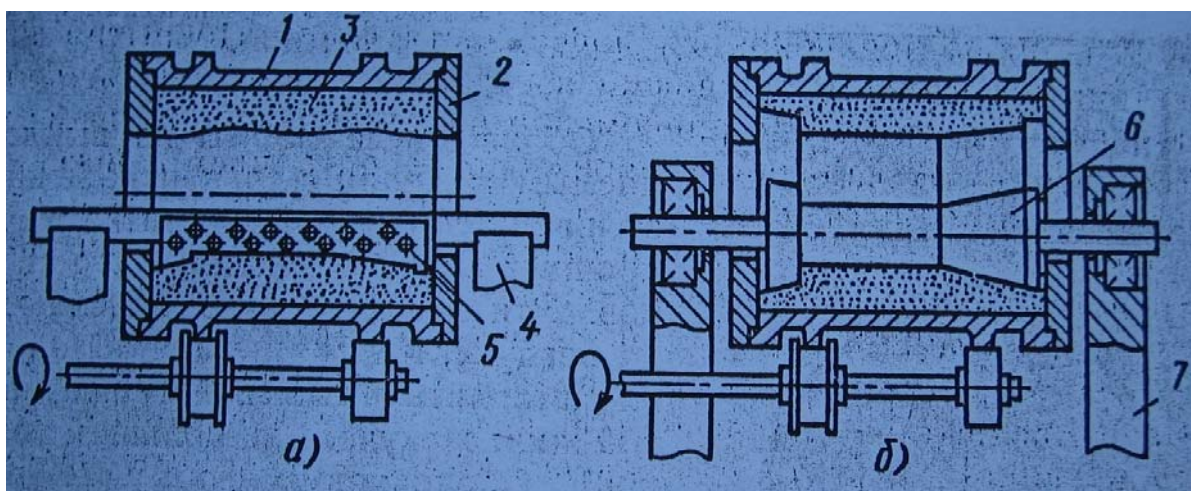


Рис. 5.8. Футеровка форм накаткой. 1- изложница, 2- крышка, 3- формовочная смесь, 4- опора шаблона, 5- шаблон, 6- ролик, 7- опора ролика, а – шаблоном, б - роликом.

При нанесении футеровки накаткой роликом изложницу 1 закрывают крышками 2 и приводят во вращение на центробежной машине (рис. 5.8, а). Во вращающуюся изложницу насыпают дозу формовочной смеси 3, которая прижимается центробежными силами к стенкам изложницы и под их действием несколько уплотняется. Шаблон 5, установленным на опорах 4, смесь распределяют и профилируют по контуру наружной поверхности отливки. Затем шаблон удаляют (рис. 5.8, б) и на его место устанавливают ролик 6, закрепленный в опорах 7. Ролик 6 с опорами 7 перемещают в радиальном направлении и окончательно профилируют и уплотняют форму. После остановки машины ролик извлекают из формы, заменяют крышки 2 другими, с отверстиями меньших размеров, закрепляют крышки на форме и производят заливку. Аналогично футеруют формы и на шпиндельных машинах, закрепляя

накатной ролик консольно на специальной опоре. При использовании песчано-смоляных смесей после их нанесения футеровку для полимеризации нагревают электронагревателем, вводимым внутрь формы.

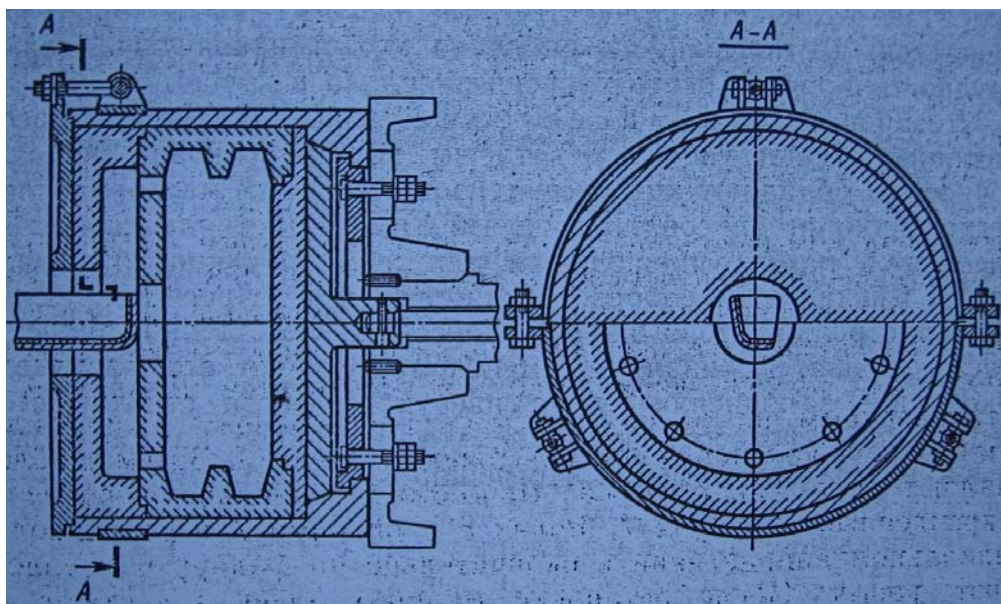


Рис. 5.9. Форма для центробежной отливки, собранная из стержней.

Неметаллические формы. Песчаные формы чаще всего применяют для изготовления фасонных отливок из бронз и сталей. В качестве формовочных смесей применяют песчано-глинистые и быстротвердеющие смеси со связующим (6,5...7,5% жидкого стекла). Например, корпуса буровых шарошек, венцы червячных колес отливают в изложницах (рис. 5.9) с горизонтальной осью вращения, для чего в ее полость устанавливают песчаные стержни соответствующей конфигурации.

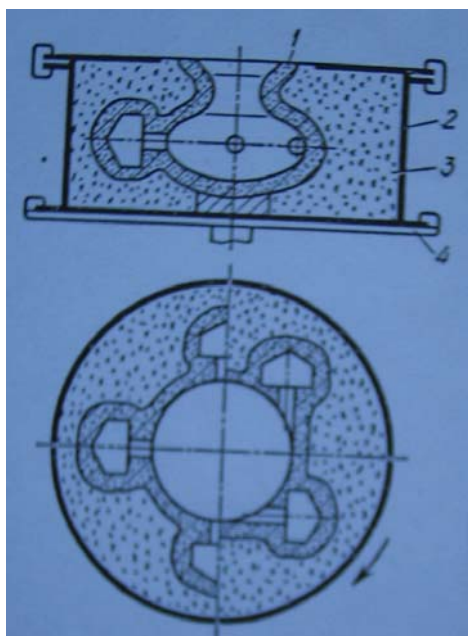


Рис 5.10 Оболочковая керамическая форма для центробежной заливки. 1- оболочковая форма, 2- контейнер, 3- опорный материал, 4 – центробежный стол.

Объемные керамические и оболочковые формы по выплавляемым моделям для центробежной заливки используют при литье жаропрочных сплавов, титана и сплавов на его основе. Эти сплавы легко окисляются на воздухе, к тому же они обладают плохими литейными свойствами (низкой жидкотекучестью, большой усадкой). Оболочковую форму 1 (рис. 5.10) изготавливают по выплавляемым моделям, формуют в контейнере 2 сыпучим или прочным опорным материалом 3, устанавливают на центробежный стол 4 и заливают расплавом. Заливку производят обычно в вакуумной плавно-заливочной установке (см. рис. 1.24,б).

Дозирование расплава. Дозирование при центробежном литье существенно влияет на точность массы и толщины стенок отливок со свободной поверхностью. При работе с неподвижным заливочным устройством расплав дозируют по объему, массе, переливу избытка металла и измерением положения уровня свободной поверхности.

Дозирование по объему производится мерными ковшами, футерованными по шабло-

ну. Требуемый уровень расплава в ковше определяется меткой или уступом в футеровке. Этот способ не отличается точностью, так как футеровка ковша разрушается, на поверхности расплава может находиться шлак и трудно точно установить уровень расплава в ковше.

Дозирование по массе осуществляют с помощью весов различной конструкции, к которым подвешен ковш. Хорошей точностью обладают крановые тензovesы. В них масса расплава регистрируется преобразователями-тензосопротивлениями, наклеенными на скручивающийся или растягивающийся упругий вал. Сигнал от преобразователя подается на регистрирующий прибор, который фиксирует изменение массы ковша, начиная с момента заполнения его расплавом. Погрешность взвешивания расплава на тензovesах составляет 0,1...1 %.

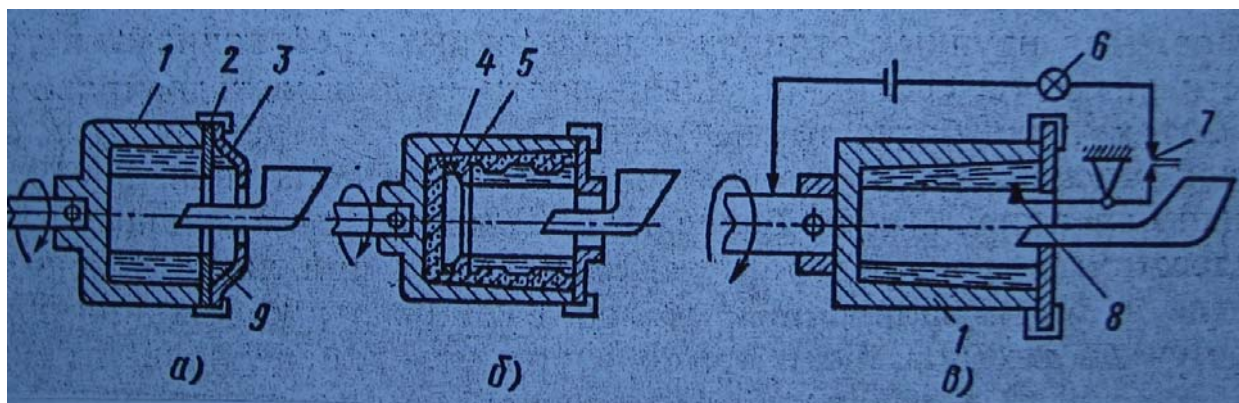


Рис. 5.11. Способы дозирования расплава. 1- форма, 2- шайба, 3- крышка, 4- излишек расплава, 5- кольцевой выступ, 6- сигнальная лампа, 7- контакт, 8- поплавок, 9- полость для слива излишков расплава, а, б – варианты дозирования по переливу избытков расплава; в – дозирование по положению уровня свободной поверхности.

Дозирование по переливу избытка расплава осуществляется так, как это изображено на рис 5.11, а, б. Между формой 1 и крышкой 3 устанавливают шайбу 2, диаметр отверстия которой равен внутреннему диаметру отливки. Излишек 4 расплава выливается через отверстие в этой шайбе или через калибровочное отверстие 5, выполненное в футеровке формы, в полость формы 9 для слива излишков расплава.

Дозирование измерением положения уровня свободной поверхности расплава в форме осуществляется с помощью специального устройства (рис 5 11, в). В форму 1 вводится поплавок 8 и устанавливается на нужный размер по толщине стенки отливки. При заливке уровень расплава достигает поплавка и перемещает его, контакт 7 замыкается (загорается лампа б), что является сигналом на прекращение заливки.

Из рассмотренных способов наибольшей точностью обладает способ дозирования по массе.

Изготовление отливок общего назначения. Литье чугунных втулок в металлических формах. Для изготовления небольших по массе и размерам (диаметром до 500мм) отливок используют универсальные шпиндельные машины, для более массивных (массой более 100 кг) – роликовые центробежные машины. Угловую скорость вращения изложницы определяют по зависимостям, приведенным в разделе 5.4.

Обычно используют сыпучие теплоизоляционные покрытия. Перед заливкой форму очищают от остатков теплоизоляционного покрытия сжатым воздухом и нагревают до 150...200 °С. Такую температуру изложницы поддерживают и при последующих заливках. Затем форму закрывают крышкой, включают двигатель машины и с помощью лотка засыпают в изложницу сыпучий теплоизоляционный материал – сухой песок, просушенный и просеянный через сито № 0063, 005. Толщина слоя зависит от толщины стенки отливки:

Толщина стенки отливки, мм.....	до 10	10...15	15...20	св. 20
Толщина теплоизоляционного слоя, мм...	1,5	2,5	4,0	5,0

Перед заливкой желоб нагревают и вводят в изложницу так, чтобы расплав, заливаемый в изложницу, падал на ее стенки с минимальной высоты. Способ дозирования расплава выбирают в зависимости от массы отливки и требований к точности ее размеров. Для крупных отливок с невысокими требованиями к точности размеров свободной поверхности используют дозирование по объему, для более точных - по массе или переливу. Для отливок массой до 10 кг продолжительность заливки 5...10 с, а для более крупных не более 15 с. Температура заливки чугуна выдерживается в пределах, рекомендуемых при литье в кокиль. После заливки заливочный желоб выдвигают; изложница вращается до тех пор, пока температура отливки не понизится до 600...700 °С. Для ускорения охлаждения отливки после затвердевания ее обдувают сжатым воздухом, включают систему охлаждения изложницы и останавливают машину. Затем открывают крышку изложницы и механизмом извлечения выталкивают отливку на приемный лоток.

Литье втулок, колец, венцов из цветных сплавов. Для литья втулок, колец, венцов из медных сплавов применяют металлические и реже песчаные формы. Втулки небольших и средних размеров из медных сплавов отливают в формы, рабочая поверхность которых покрыта ацетиленовой сажей или графитовой краской. Форму перед заливкой нагревают до температуры 80...400 °С. Частоту вращения изложницы выбирают с учетом зависимостей, приведенных в разделе 5.4. Однако, например, отливки из медных сплавов, склонных к ликвации (высокосвинцовистые бронзы), во избежание ликвации отливают при частоте вращения изложницы менее критической, в режиме намораживания, при интенсивном охлаждении изложницы.

Для получения качественных отливок из медных сплавов важно выдерживать определенную температуру заливки (см. раздел 2.3).

Небольшие втулки и кольца из цветных сплавов изготавливают на многошпиндельных машинах с вертикальными осями вращения изложниц.

Особенности изготовления толстостенных и длинномерных цилиндрических полых заготовок. Такие заготовки обычно изготавливают из стали, чугуна, медных сплавов. Отливки могут иметь диаметр более 1000 мм, толщину стенки до 300 мм, длину более 8000 мм и массу до 60000 кг. Это, например, пустотелые валки бумагоделательных машин, детали химических агрегатов, нефтяного и угольного машиностроения, гильзы крупных дизелей и т. п.

При изготовлении таких отливок возникает ряд проблем, главными из которых являются заполнение формы и получение отливок без литейных дефектов: продольных и поперечных усадочных трещин, рыхлот, неметаллических включений,

Для предотвращения дефектов в отливке, связанных с развитой поверхностью потока в форме, необходимо, чтобы заливочное устройство обеспечивало минимальные потери расплава теплоты и защиту его от окисления. Для этого используют литниковые устройства закрытого типа, обеспечивающие при литье заготовок из стали длиной до 10 м скорость нарастания толщины слоя расплава $(3,3...5,0)10^{-4}$ м/с. Поскольку из-за большой толщины стенки отливки гравитационный коэффициент на внешней поверхности значительно больше, чем на свободной, создается опасность появления напряжений в твердой корочке металла, затвердевающей на стенке изложницы. Это может привести к образованию продольных трещин в отливке. Поэтому для предотвращения трещин частоту вращения изложницы увеличивают постепенно, согласовывая скорость ее нарастания с затвердеванием отливки.

Усадка длинной отливки в продольном направлении велика (при усадке 1 % и длине отливки 10 м она составит 0,10 м). Даже если форма не будет тормозить усадку, то только под действием собственной массы в отливке возникнут значительные напряжения в результате ее трения о стенки изложницы. Для уменьшения опасности возникновения трещин в некоторых случаях “помогают” перемещению отливки при усадке вдоль ее оси путем подпрессовки с помощью специальных механизмов.

При изготовлении полых заготовок с большой толщиной стенки (100...300 мм) возникает проблема предотвращения образования фронта кристаллизации со стороны внут-

ренной, свободной поверхности отливки. Это приводит к образованию дефектов усадочного происхождения в зоне стыка двух фронтов кристаллизации отливки, в связи с чем необходимо назначать очень большие припуски на обработку резанием по внутренней поверхности. Расположение усадочных дефектов в стенке отливки зависит от соотношения коэффициентов теплоотдачи от наружной и внутренней поверхностей. Устранить усадочные дефекты можно одновременным воздействием: охлаждением наружной поверхности отливки и утеплением, например слоем шлака (после заливки), свободной поверхности. Кроме перечисленных способов применяют глухие торцовые крышки в форме, полностью экранирующие свободную поверхность отливок от потоков воздуха, что резко ограничивает конвективную теплоотдачу от свободной поверхности отливки. В центре передней крышки выполняется отверстие, к которому плотно примыкает стационарный литник заливочного устройства.

В практике центробежного литья однослойных и многослойных труб и заготовок применяют обработку расплавов флюсами. Такая обработка производится непосредственно в изложнице.

Синтетический флюс при заливке расплава в форму дозируют в изложницу в виде легкоплавких или экзотермических смесей. Флюс защищает расплав от окисления, эффективно рафинирует его в форме от неметаллических включений и газов, утепляет отливку со стороны внутренней, свободной поверхности, создавая условия направленного затвердевания отливки. В результате улучшается качество макро- и микроструктуры, повышается плотность и механические свойства отливок.

Изготовление валков прокатных станов. Литые валки прокатных станов имеют высокую стойкость при горячей прокатке металлов, а стоимость их изготовления ниже стоимости кованных.

Форма для изготовления валков представляет собой чугунную изложницу, в которую с обеих сторон установлены металлические стаканы, футерованные формовочной смесью, служащие для получения шеек и цапф валков. На внутреннюю поверхность изложницы наносят два слоя сыпучего огнеупорного покрытия — кварцевого песка (толщиной до 3 мм) и противопопригарного — двуокиси циркония (толщиной 0,8...1 мм). При заливке, затвердевании и охлаждении отливки форма интенсивно охлаждается водой.

Для получения сплошной (без отверстия) отливки металл заливают через специальное литниковое устройство, которое вплотную примыкает к крышке вращающейся изложницы.

Изготовление специальных отливок.

Биметаллические отливки можно изготавливать центробежным способом путем армирования, наваркой расплава, последовательной заливкой различных сплавов.

Армирование отливок осуществляют заливкой жидким металлом отдельных металлических частей, выполненных из других материалов. Эти части (арматура) фиксируют в форме при ее сборке. При заливке арматура частично заливается расплавом и прочно скрепляется с основной массой отливки. Связь арматуры с основным металлом имеет, как правило, механический характер.

Армирование применяют при изготовлении фасонных отливок и тел вращения. Примером может служить технология изготовления отливки тормозного барабана из чугуна (рис. 5.12). В форму 1, футерованную смесью 2 накаткой, устанавливают стальной штампованный диск 3 и фиксируют его пневмозажимом 4. Собранную форму заливают центробежным способом до уровня а – а. Для более прочного соединения диска с материалом отливки его края имеют специальную разделку в виде ласточкина хвоста. В целях предотвращения отбела на торце отливки в крышке б формы используют кольцевой паз 5, заполняемый шамотной смесью.

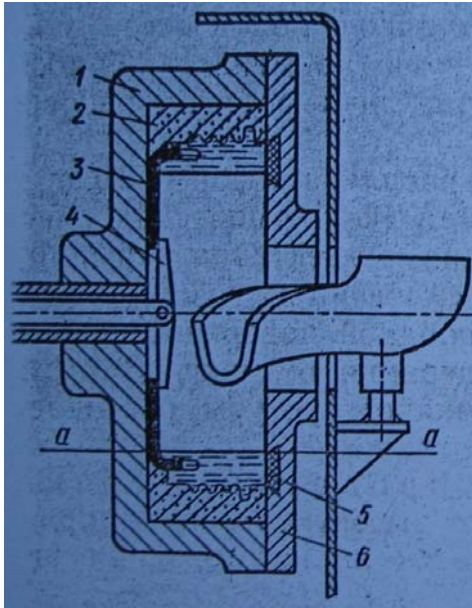


Рис. 5.12. Схема получения армированного чугуного тормозного барабана. 1- форма, 2- футеровка, 3- арматура, 4- пневмозажим, 5- паз, заполненный шамотной смесью, 6- крышка.

Наварку жидкого металла на твердую металлическую основу производят путем заливки расплава внутрь заранее отлитой или изготовленной другим способом и установленной в изложницу втулки. При наварке связь расплава со втулкой–твердой основой осуществляется в результате образования химических или механических связей по всей поверхности соприкосновения.

Наваркой расплава на твердую металлическую основу изготавливают подшипниковые втулки, вкладыши, тормозные барабаны. При наварке легкоплавких подшипниковых сплавов на стальную или бронзовую осно-

ву подготовительные операции сводятся к механической очистке (в отдельных случаях к механической обработке) внутренней поверхности втулки, ее обезжириванию, травлению, промывке и флюсованию. Подготовленные таким образом втулки или вкладыши вставляют в форму центробежной машины и заливают необходимым сплавом. В отдельных случаях, главным образом при изготовлении крупногабаритных подшипников, металлическую основу подвергают предварительному лужению. Лужение можно осуществлять на той же центробежной машине, которая служит для заливки, но при меньшей угловой скорости вращения.

Последовательная заливка во вращающуюся форму двух металлов для изготовления биметаллических отливок предложена инж. П. Е. Лямыным. Второй из металлов, образующий внутреннюю часть отливки, начинают заливать, когда заканчивается затвердевание наружного слоя и только на его свободной поверхности остается немного жидкости. При этом на границе соприкосновения наружной и внутренней частей образуется слой промежуточного сплава толщиной в несколько мм, что обуславливает прочное соединение частей отливки. Этим методом можно соединять сплавы с различными плотностями и температурами плавления независимо от того, какой из них образует наружную или внутреннюю часть отливки.

Получение абразивного инструмента методом центробежной пропитки. Метод изготовления абразивного инструмента основан на пропитке металлическими сплавами твердых пористых тел под действием центробежных сил.

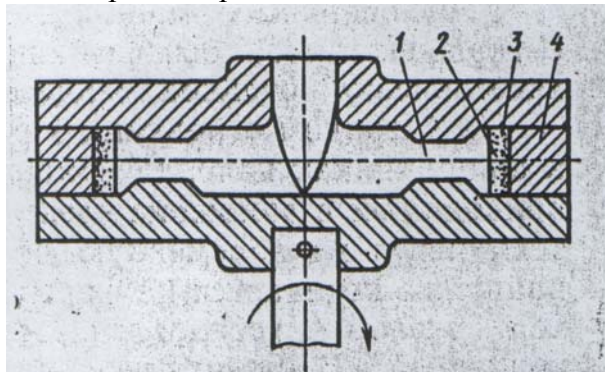


Рис. 5.13. Схема получения абразивного инструмента методом центробежной пропитки. 1- форма, 2- связующий материал, 3- слой абразива, 4- вставка.

Круги, применяемые для плоского и кругового шлифования, изготавливают в металлической форме 1 (рис. 5.13), в которую засыпают порцию абразивного материала. Зерна абразива при вращении формы распределяются равномерным слоем 3 по цилиндрической поверхности вставки 4 и прижимаются к ней центробежными силами. Форму нагревают индуктором до температуры примерно 600°C и заливают в нее порцию сплава, служащего для связывания зерен абразива. Слой связующего 2 плотно прижимается к абразиву, но не проникает в его поры, так как форма вращается с недостаточной для этого скоростью. Затем в рабочую полость формы заливают алюминиевый

сплав. Затем в рабочую полость формы заливают алюминиевый

сплав, предназначенный для образования корпуса инструмента. При последующем резком увеличении скорости вращения под действием возросшего давления связка заполняет поры между зернами абразива, после чего вращающаяся форма охлаждается вместе с отливкой.

Состав связки может быть различным и подбирается в соответствии со свойствами абразива. Для предотвращения перемещения зерен абразива, залитых расплавом, необходимо, чтобы образующий тело инструмента сплав был менее плотным, чем связка, а связка менее плотной, чем абразив.

5.3. МАШИНЫ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ.

Центробежное литье принадлежит к литейным процессам, основные операции которых выполняются с использованием машин. В зависимости от назначения машины для центробежного литья разделяют на универсальные, предназначенные для изготовления отливок общего назначения, труболитейные, предназначенные для изготовления чугунных и стальных труб, в том числе труб большого диаметра, специального назначения, предназначенные для изготовления однотипных отливок в массовом производстве (гильзы двигателей внутреннего сгорания, биметаллические отливки и т. д.), а также валков прокатных станков и бумагоделательных машин. К последнему типу можно отнести и многошпиндельные машины для изготовления мелких отливок из цветных сплавов.

В зависимости от расположения в пространстве оси вращения изложницы различают машины с горизонтальной, вертикальной и наклонной осью вращения. В зависимости от конструктивного исполнения различают шпиндельные, роликовые машины и центробежные столы.

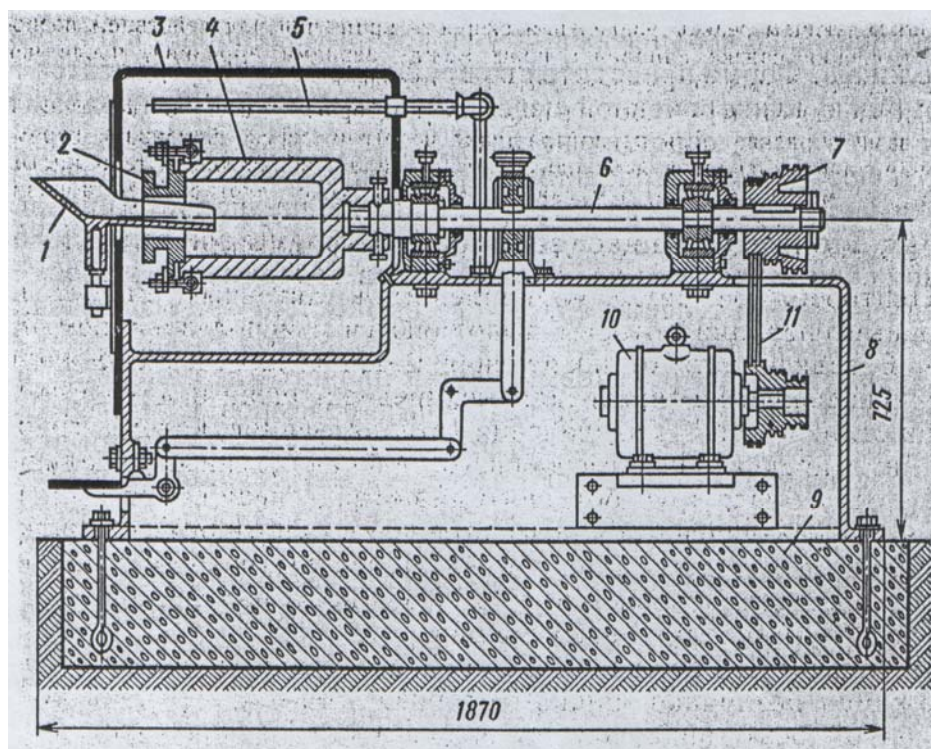


Рис. 5. 14. Шпиндельная машина для отливок общего назначения. 1- желоб, 2- крышка, 3- защитный кожух, 4- форма, 5- система охлаждения, 6- шпиндель, 7- шкив, 8- станина, 9- бетонное основание, 10- электродвигатель, 11- клиноременная передача.

Требования к машинам. Машины должны обеспечивать вращение форм с требуемой угловой скоростью, изменение числа оборотов формы в заданных условиях технологического процесса пределах, необходимые разгонные и тормозные характеристики, кроме того, они должны работать плавно, без вибраций, иметь прочные и удобные устройства для крепления и фиксации форм, устройства подогрева и охлаждения изложниц. Независимо от типа

и конструктивного исполнения машины для центробежного литья имеют следующие основные узлы: привод вращения формы, опорные приспособления для крепления (или фиксации) формы. Кроме того, различные машины могут оснащаться устройствами введения и выведения заливочного лотка, механизмом выталкивания отливок, кожухами, служащими для обеспечения условий безопасной работы.

Универсальные машины. Шпиндельные машины с горизонтальной осью вращения (рис. 5. 14) используют при изготовлении отливок общего назначения, например втулок.

На бетонном основании 9 расположена станина 5, на которой в подшипниках качения вращается горизонтальный шпindelь 6, приводимый в движение электродвигателем 10. От электродвигателя через клиноременную передачу 11 и ступенчатый шкив 7 вращение передается на форму 4 с крышкой 2. Расплав заливают через желоб 1, установленный на поворотной крышке защитного кожуха 3. В целях увеличения производительности машины и предотвращения чрезмерного нагрева форму охлаждают водой, для чего стоит труба 5 с просверленными в ней отверстиями. Шпиндельные машины просты в обслуживании, надежны в работе, возможна быстрая замена форм, что важно при большой номенклатуре отливок. Недостатком таких машин является ограниченная масса получаемых отливок (до 120 кг), для отливок большей массы консольное крепление формы недостаточно надежно.

Роликовые машины с горизонтальной осью вращения используют для изготовления массивных втулок, колец (рис. 5.15). Форма 5 закрывается крышками 2 и 3. Форма имеет на внешней поверхности два кольцевых выступа, которыми опирается на четыре ролика 6. Форма приводится во вращение от электродвигателя 7 с помощью клиноременной передачи 8, приводящей в движение один из роликов, сидящих на валу 9. От ролика движение передается форме. Для устранения вибрации при работе форма сверху прижимается роликами 4, укрепленными на подпружиненных опорах. Это предотвращает заклинивание формы при ее тепловом расширении в процессе заливки. Расплав заливают по желобу 1, укрепленному на тележке 10. Во время работы форму закрывают защитным кожухом 11.

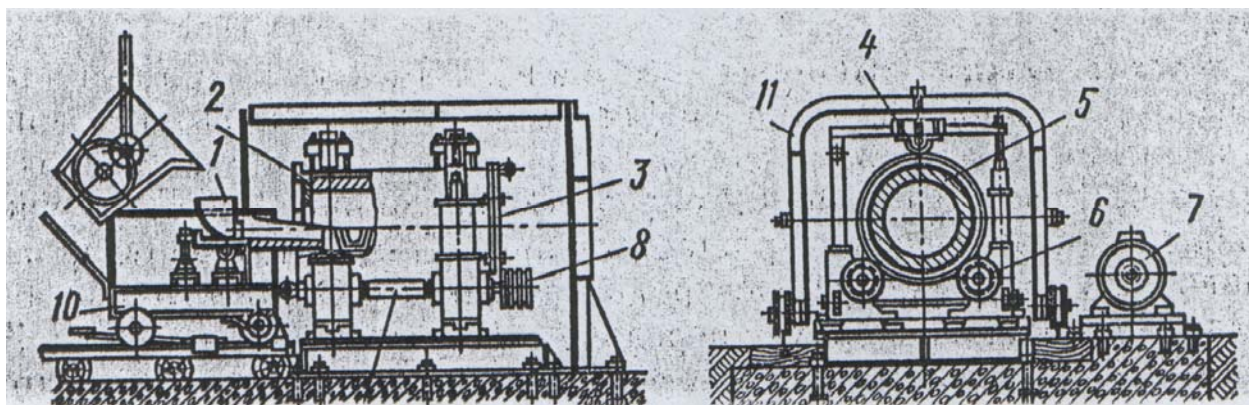


Рис. 5 15. Роликовая центробежная машина. 1- желоб, 2- передняя крышка, 3- задняя крышка, 4- прижимные ролики, 5- форма, 6- опорные ролики, 7- электродвигатель, 8- клиноременная передача, 9- приводной вал, 10- тележка, 11- защитный кожух.

Преимуществом роликовых машин является возможность изготовления на них отливок различных размеров и массы. Это достигается сменой форм и соответствующей перестановкой опорных роликов на фундаментной плите. Диаметр роликов выполняют таким, чтобы при сопряжении ролика с формой получалась пара с необходимым передаточным числом. При увеличении диаметра формы передаточное число автоматически увеличивается. Это позволяет исключить из привода машины редуктор, упрощая конструкцию машины. Недостатками роликовых машин является сложность балансировки подвижных частей, сложность переналадки при смене форм, сильный шум при работе.

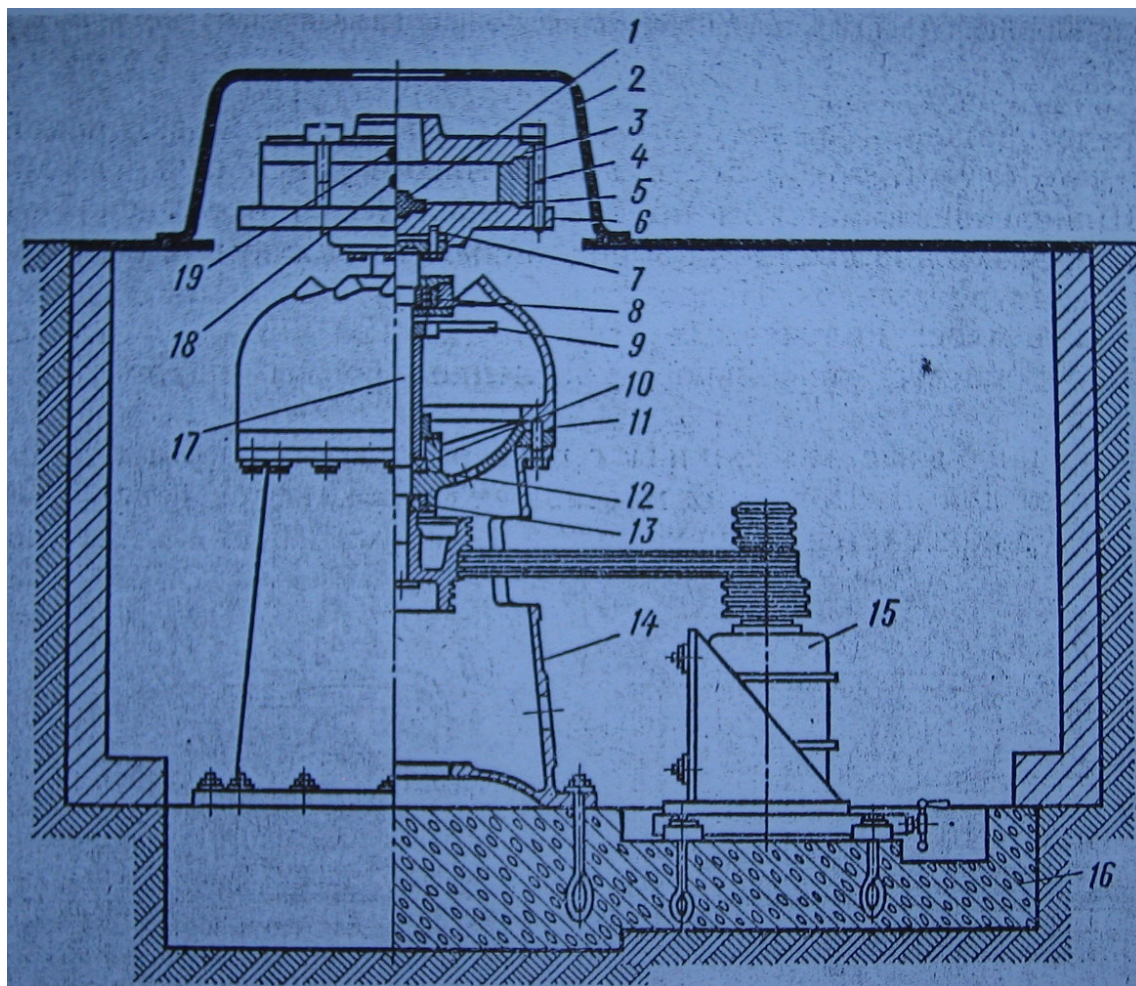


Рис. 5.16. Машина с вертикальной осью вращения. 1- рассекатель, 2- защитный кожух, 3- крышка, 4- болты, 5- корпус формы, 6- поддон, 7- прокладка, 8, 12, 13- подшипники, 9- вентилятор, 10- опорное кольцо, 11, 14- корпус машины, 15- электродвигатель, 16- бетонное основание, 17- шпindelь, 18, 19- цапфы.

Машины с вертикальной осью вращения (рис. 5.16) используют при изготовлении фасонных отливок. На бетонном основании 16 установлена нижняя часть 14 сборного корпуса машины. В верхней части 11 корпуса в опорном кольце 10 и подшипниках 8, 12, 13 установлен шпindelь 17. На верхнем торце шпинделя смонтирована форма, состоящая из поддона 6 корпуса 5 и крышки 3, скрепленная болтами 4.

Верхнюю часть шпинделя во избежание заклинивания подшипника отделяют от формы теплоизоляционной прокладкой 7; во время работы шпindelь охлаждают с помощью вентилятора 9. Рассекатель 1 формы также защищает шпindelь от перегрева. Форма вращается от электродвигателя 15, соединенного со шпинделем клиноременной передачей. Форма при заливке закрыта защитным кожухом 2.

Для удобства сборки и разборки формы корпус и крышка снабжены цапфами 18 и 19.

Во многих конструкциях машин с вертикальной осью вращения исключается необходимость применения внешних заливочных устройств, так как такие устройства входят в состав плавильно-заливочного агрегата, расположенного внутри камеры агрегата для вакуумной плавки и заливки сплавов.

Труболитейные машины. Литые водопроводные и канализационные трубы диаметром 50...1200 мм и длиной до 7000 мм являются типичными представителями отливок массового производства, получаемых центробежным способом. Литые трубы не подвергаются обработке резанием.

Для изготовления труб из серых чугунов применяют интенсивно охлаждаемые металлические формы взамен футерованных. Это позволяет устранить из технологического процесса литья футеровку форм песчаными смесями, улучшить условия труда в литейных цехах. Отбел на отливках предотвращают использованием огнеупорных покрытий с низкой теплопроводностью и чугунов, имеющих низкую склонность к отбелу. Так, например, содержание кремния не должно превышать 2,4%, а серы 0,08%. Причем более высокое содержание серы влияет не только на склонность чугуна к отбелу, но и приводит к снижению жидкотекучести и повышению краснотекучести.

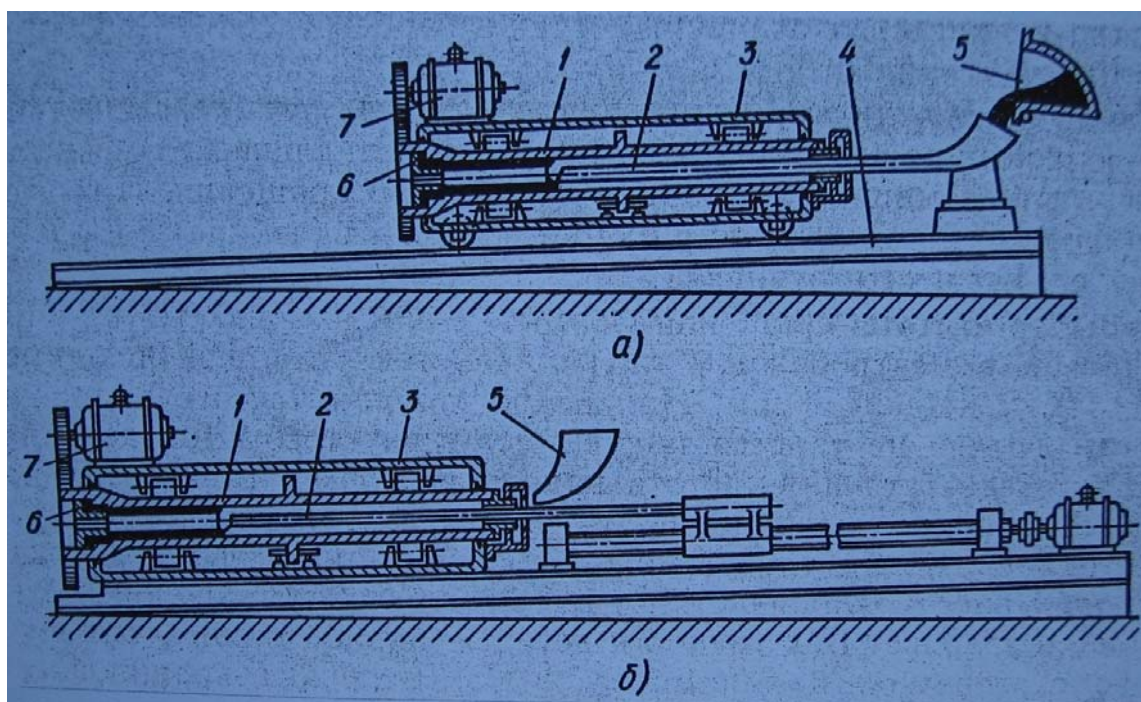


Рис. 5.17. Схема получения труб на труболитейной машине. 1- изложница, 2- желоб, 3- корпус машины, 4- рельсовые пути, 5- дозирующе-заливочное устройство, 6- стержень, 7- электродвигатель, а – с подвижной изложницей, б – с подвижным заливочным желобом.

Наибольшее распространение получили в промышленности машины с подвижной изложницей (рис. 5.17). Они имеют меньшие размеры, у них отсутствует вибрация длинного заливочного желоба, исключается касание желобом вращающейся формы.

Уклон машины 3... 5° в сторону раструбной части формы улучшает стекание расплава с желоба в изложницу.

Изложница 1 установлена в корпусе 3 машины на роликовых опорах и приводится во вращение электродвигателем 7. В раструбной части формы устанавливают стержень 6. Расплав из дозирующе-заливочного устройства 5 по желобу 2 поступает во вращающуюся изложницу. При заливке машина перемещается по рельсовому пути 4 с равномерной скоростью.

Такие машины позволяют изготавливать трубы диаметром 50...300 мм, длиной до 6000 мм с производительностью 15...40 труб в час.

5.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

Положение оси вращения формы и отливки назначают с учетом конфигурации свободной поверхности расплава в поле действия центробежных сил, особенностей затвердевания и питания отливки в этих условиях.

Отливки, которые в соответствии с чертежом должны иметь правильную цилиндрическую внутреннюю поверхность, могут быть получены независимо от их длины при горизонтальной оси вращения формы. При наклоне оси вращения под любым углом к горизонту свободная поверхность расплава имеет конфигурацию параболоида вращения, отливки приобретают разностенность. При наклоне 3...5° разностенность невелика, такое положение вращающейся формы применяют в машинах для изготовления труб большой протяженности (3...8 м).

Кольца, бандажи можно получать в формах с горизонтальной и вертикальной осями вращения. При выборе положения оси вращения форм для таких отливок следует учитывать факторы, влияющие на качество отливки, а также удобство сборки-разборки формы, удаления отливки.

Фасонные отливки, изготавливаемые в песчаных (керамических, оболочковых по выплавляемым моделям, металлических) формах, получают на машинах с вертикальной осью вращения. При этом удобнее монтировать форму на столе машины (собирать, и разбирать ее, извлекать отливки).

Выбор скорости вращения формы. Одним из наиболее важных вопросов в центробежном литье является расчет необходимого числа оборотов формы. При недостаточной угловой скорости вращения форм нередко не удается получить отливку требуемой конфигурации, расплав плохо очищается от неметаллических включений. Чрезмерно высокая скорость вращения также может ухудшить качество отливок и условия работы машины. В результате роста давления расплава повышается вероятность образования в отливках трещин; пригара (в случае использования песчаных или футерованных форм); ликвации компонентов сплава по плотности. При высокой скорости вращения повышаются требования к точности деталей и узлов машин, выполнению статической и динамической балансировки вращающихся частей для уменьшения вибрации.

Поэтому при разработке технологического процесса и при конструировании машин следует стремиться к тому, чтобы обеспечить получение отливок требуемого качества при минимальной скорости вращения формы.

Расчетные зависимости для определения требуемого числа оборотов литейной формы наиболее полно разработаны для случая получения полых цилиндрических отливок. Наиболее известны зависимости, предложенные Кэмменом и Л. С. Константиновым.

Формула Кэммена:

$$n=C/\sqrt{r} \quad (5.7)$$

где n —число оборотов формы, об/мин; C —коэффициент, зависящий от типа сплава, для стали $C=1350$, для серого чугуна и бронзы $C=1675$, для алюминия $C=2250$; r — радиус внутренней поверхности отливки, см.

Формула Л. С. Константинова:

$$n=5520/\sqrt{\rho r} \quad (5.8)$$

где ρ —плотность сплава, г/см³; r — радиус внутренней поверхности отливки, см; 5520— опытный числовой коэффициент.

Формула (5.8) получена из условия обеспечения минимальной величины эффективной плотности, необходимой для получения качественной отливки со свободной поверхностью. Опытный числовой коэффициент показывает, что эти условия создаются, если плотность

вращающегося расплава на свободной поверхности достигает величины $\rho_{\text{ц}} = 340 \text{ г/см}^3$.

Применение формул (5.7), (5.8) не дает точного результата для определения частоты вращения форм при изготовлении толстостенных отливок, так как на наружной и внутренней поверхностях отливки гравитационный коэффициент существенно различен. Вследствие этого на наружной поверхности таких отливок могут наблюдаться продольные трещины - признак чрезмерных центробежных сил. Поэтому формулы дают удовлетворительные результаты только в определенном диапазоне толщин стенок отливок, когда радиус наружной стенки отливки превышает радиус внутренней стенки не более чем в 2 раза, т. е. для относительно тонкостенных.

Для определения допустимого числа оборотов, в случаях, когда развиваемое расплавом давление может привести к возникновению механического пригара или разрушению формы, пользуются формулой

$$n=423 \sqrt{p/(\rho(R^2-r^2))}, \quad (5.9)$$

где p - допустимое давление расплава на форму, г/см^2 ; R — расстояние от оси вращения до рассматриваемой точки рабочей поверхности формы, см ; r — радиус свободной поверхности расплава, см .

Формула (5.9) выражает зависимость между скоростью вращения формы и давлением, развиваемым металлом в рассматриваемой точке рабочей поверхности формы.

Необходимость такого расчета возникает при изготовлении фасонных отливок в песчаных формах, в основном сырых. По опытным данным разных предприятий, критическое давление при заливке чугуна или оловянной бронзы в формах из сырых смесей составляет $0,15 \dots 0,28 \text{ МПа}$ ($1500 \dots 2800 \text{ г/см}^2$), из сухих—до $0,4 \text{ МПа}$, из стержневых $0,36 \dots 0,6 \text{ МПа}$.

При изготовлении отливок в формах с вертикальной осью вращения можно определять необходимую частоту вращения по требуемой разностенности отливок

$$n=423 \sqrt{h/(\Delta x (2 r_1 - \Delta x))}, \quad (5.10)$$

где h — высота отливки, см ; Δx — разность толщин стенки отливки в нижнем и верхнем сечениях, см ; r_1 — радиус свободной поверхности отливки в ее верхнем сечении, см .

Необходимо иметь в виду, что частота вращения, определенная по формуле (5.10), обеспечивает получение качественной отливки с заданной разностенностью только тогда, когда плотность вращающегося расплава на свободной поверхности будет составлять $\rho_{\text{ц}} \geq 200 \text{ г/см}^3$, а для толстостенных отливок $\rho_{\text{ц}} \geq 300 \text{ г/см}^3$. Поэтому формула (5.10) предназначена в основном для корректировки числа оборотов формы в тех случаях, когда разностенность отливок, для которых число оборотов формы определялось по формулам (5.7) или (5.8), оказывается больше допустимой.

Особенности технологии изготовления фасонных отливок в песчаных формах обусловлены вращением формы и действием поля центробежных сил. Оно оказывает влияние: на скорость заполнения формы расплавом и его взаимодействие с рабочими поверхностями формы и каналами литниковой системы; на работу шлакоуловителей и прибылей.

Так, при назначении скорости вращения формы должно учитываться дополнительное давление расплава на ее стенки (см. раздел 5.1), которое может приводить к изменению геометрии рабочей полости (к подутию формы) и усилению механического пригара. При разработке литниковой системы обращается внимание на действие силы Кориолиса, например, на расплав текущий по литниковому ходу, расположенному в плоскости перпендикулярной оси вращения. Использование при этом прямых каналов может приводить к их размыванию расплавом и поражению отливок неметаллическими включениями. На рис. 5.18 показаны основные отличия литниковой системы, используемой при центробежной заливке – а и при гравитационной – б, где 1-литниковый ход; 2 - питатель; 3 - полость формы; 4 - шлакоулови-

тель; 5-прибыль.

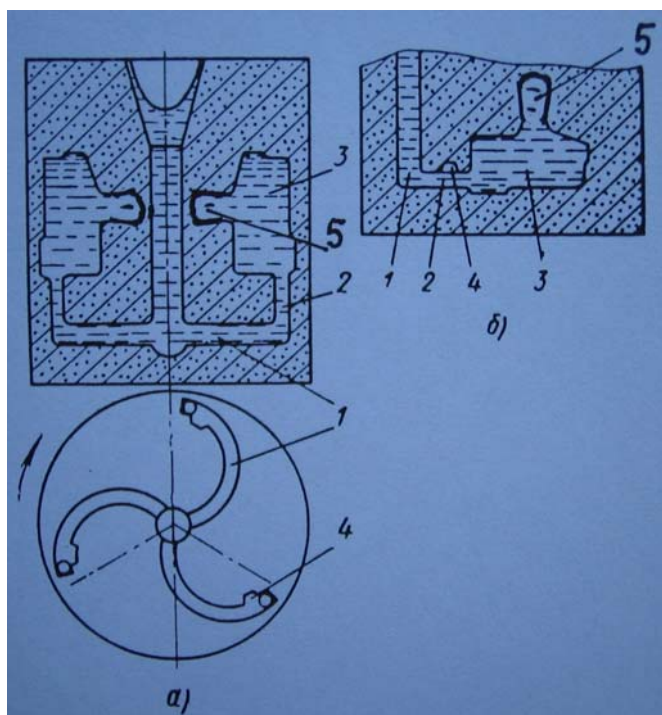


Рис. 5.18. Схема литниково-питающей системы песчаных форм. а- при центробежной заливке, б- при гравитационной заливке, 1-литниковый ход; 2-питатель; 3-полость формы; 4-шлакоуловитель; 5-прибыль.

Литейная форма проектируется с учетом факторов, исключающих наличие у нее значительного дисбаланса. В противном случае возможна вибрация машины и формы во время ее вращения и заливки, разрушение фундамента и преждевременный выход из строя машины.

Припуски на обработку резанием зависят от глубины расположения литейных дефектов в стенке отливки. В длинных отливках со свободной поверхностью глубина залегания усадочной зоны невелика вследствие

небольших потерь теплоты от излучения. Припуск на обработку внутренней поверхности таких отливок тем больше, чем больше их диаметр и уменьшается с увеличением длины. Припуски на обработку наружных поверхностей цилиндрических отливок меньше, чем внутренних поверхностей, и составляют для различных толщин стенок отливок, материала покрытия форм и других факторов 2...12 мм.

Величина припусков зависит от состава заливаемого сплава. Минимальные припуски назначают для отливок из серого чугуна. Отливки из медных сплавов, аустенитных и ферритных сталей, из сплавов на никелевой основе имеют припуски больше (сплавы указаны в порядке возрастания припуска).

При изготовлении центробежным способом фасонных отливок их точность и припуски на обработку зависят от вида формы (металлическая, песчаная, керамическая) и соответствуют значениям при обычной заливке.

Скорость заливки - важный параметр технологического процесса, влияющий на качество отливки. При небольшой массовой скорости заливки в отливке возможно возникновение дефектов - спаев, неслитин. Для получения качественных отливок со свободной поверхностью во всех случаях необходимо, чтобы в процессе заливки толщина затвердевшего слоя была меньше толщины слоя залитого металла. С целью исключить первое и обеспечить второе условие в начале форму заливают с высокой скоростью, а в дальнейшем ее снижают. Это создает условия для направленного затвердевания отливки, снижает давление на затвердевающую оболочку и интенсивность ликвационных процессов.