Прямоугольные электрические соединители.

Некоторые вопросы теории и технологии литья под давлением деталей из сплавов цветных металлов

Важнейшим достоинством процесса литья под давлением, при котором создаются детали из металлов и сплавов, является возможность получить тонкостенные отливки сложной конфигурации с высокой точностью размеров и высоким качеством поверхности. Таким образом можно исключить или свести к минимуму дополнительную механическую обработку. Этот способ обеспечивает максимальную производительность из всех известных методов литья, что делает его незаменимым при массовом производстве отливок. Кроме того, он позволяет полностью автоматизировать весь технологический процесс изготовления отливок и сократить негативное влияние на окружающую среду.

Александр Сафонов,
к. т. н.
Леонид Сафонов

saphonov.l.i@elektrodetal.com

Введение

Суть литья под давлением заключается в том, что заполнение рабочей полости металлической пресс-формы расплавом сплава (металла) и формирование отливки происходит под давлением. В современных условиях данный процесс реализуется на специальных гидравлических машинах и позволяет получать в час от нескольких десятков до нескольких тысяч отливок различного назначения, с высокими механическими свойствами и качеством поверхности и размерами, соответствующими или максимально приближенными к готовой детали. Причем толщина стенок детали может составлять менее 1 мм, а масса — от нескольких граммов до десятков килограммов.

В зависимости от конструкции камеры прессования различают машины с холодной и горячей камерами прессования.

После того как пресс-форма подготовлена к очередному циклу, на машину в холодную камеру прессования (рис. 1) подается доза расплава. Затем под действием пресс-поршня литейной машины через литниковую систему расплав заполняет рабочую полость пресс-формы. После затвердевания и охлаждения отливки происходит раскрытие пресс-формы и выталкивание отливки. Затем цикл повторяется.

На машинах с горячей камерой прессования (рис. 2) особенность технологического процесса литья обусловлена тем, что камера прессования находится в тигле с расплавленным металлом и подача металла в нее происходит самотеком, через зали-

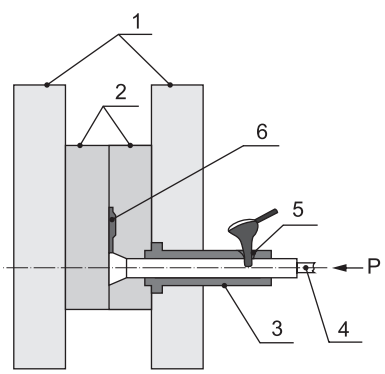

Рис. 1. Схема литья под давлением с холодной камерой прессования:
1 — плиты литьевой машины;
2 — пресс-форма; 3 — цилиндр камеры прессования;
4 — прессующий поршень; 5 — заливочное отверстие;
6 — формообразующая полость пресс-формы

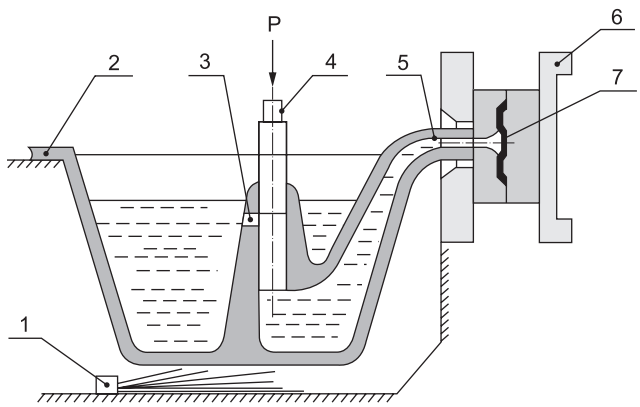

Рис. 2. Схема литья под давлением с горячей камерой прессования:
1 — обогрев котла с расплавом пламенем от форсунки;
2 — котел с расплавленным сплавом (металлом); 3 — заливочное отверстие;
4 — прессующий поршень; 5 — мундштук; 6 — пресс-форма;
7 — формообразующая полость пресс-формы

вочное отверстие. В остальном процесс литья аналогичен литью на машинах с холодной камерой прессования.

Таким образом, процесс литья под давлением металлов и сплавов можно реализовать только на специальных литейных машинах.

Впервые литье под давлением было использовано в 1838 году для изготовления типографского шрифта. В машиностроении этот процесс начали применять с 1849 года для литья мелких деталей из оловянно-свинцовых сплавов, а с 1860-х — и из цинковых сплавов.

В дальнейшем, по мере совершенствования литейных машин — увеличения давления прессования и снижения вероятности заклинивания пресс-поршня в камере прессования (за счет снижения возможности проникновения расплава в зазор между поршнем и стенками камеры) — появилась возможность литья деталей из алюминиевых и медных сплавов, а позже из сталей и сплавов на основе титана.

Быстрому внедрению в машиностроении этого процесса способствовало то, что он обладает высокой производительностью, а получаемые отливки имеют высокие механические свойства, мелкозернистую структуру, высокое качество поверхности и достаточно высокую точность по сравнению с другими основными видами литья.

С развитием теории и технологии литья под давлением, совершенствованием литейного оборудования и оснастки этот процесс находит все большее распространение в различных отраслях промышленности, в том числе в радиотехнической и электронной, в частности для литья комплектующих для электрических соединителей.

Технология литья под давлением

Расход расплава через питатель

При литье под давлением теплообмен между расплавом металла и пресс-формой происходит с большой интенсивностью в связи с тем, что на рабочую поверхность пресс-формы (на поверхности формообразующих деталей) наносится лишь слой смазочного материала, имеющий толщину несколько микрон и небольшое термическое сопротивление. В данном случае регулирование термического сопротивления может осуществляться в достаточно ограниченных пределах. Возможности изменения температуры пресс-формы перед заливкой расплава или температуры расплава также ограничены особенностями процесса литья.

Повышение температуры пресс-формы удлиняет технологический цикл в результате увеличения продолжительности охлаждения отливки, а кроме того, вызывает опасность ее схватывания (приваривания) с пресс-формой, поломки пресс-формы и отливок при выталкивании, может привести к попаданию расплава в вентиляционную систему и ухудшению условий удаления газов из пресс-формы и, соответственно, к увеличению пористости отливок. Повышение температуры расплава значительно снижает стойкость пресс-форм. Поэтому возможности регулирования теплообмена между расплавом и формой путем изменения их температур ограничены.

Наиболее действенным инструментом регулирования теплового режима процесса литья является давление. Приложение определенного давления на расплав при заполнении пресс-формы позволяет в достаточно широких пределах регулировать продолжительность заполнения и таким образом изменять количество теплоты, отводимой от расплава формой за время ее заполнения.

Согласно известным положениям гидравлики, продолжительность заполнения формы $t_{зап.}$ можно регулировать изменением объемного расхода расплава $V_{р.}$, проходящего через питатель:

$$t_{зап.} = V_{п.ф.}/V_{р.}, \quad (1)$$

где $V_{п.ф.}$ — объем формообразующей полости пресс-формы.

Для получения качественной отливки без неслитин и неспаев, вызванных чрезмерным охлаждением потока расплава в пресс-форме, продолжительность заполнения пресс-формы расплавом должна быть не более некоторого определенного времени $t_{кр.}$, то есть $t_{зап.} < t_{кр.}$, соответственно этому условию объемный расход расплава через питатель должен удовлетворять условию:

$$V_{р.} \geq V_{1кр.},$$

где $V_{1кр.}$ — объемный расход расплава через питатель, при котором появляется вероятность образования дефектов поверхности отливок. В связи с тем что воздух, находящийся в полости пресс-формы, и образующиеся газы от смазочного материала удаляются из пресс-формы через вентиляционные каналы, размеры которых ограничены, при больших объемных расходах расплава воздух и газы не успевают полностью удалиться из пресс-формы и образуют недопустимые газовые дефекты в отливке. Для получения заданного качества отливок по газовым дефектам (пористости, плотности, герметичности) необходимо ограничить объемный расход расплава через питатель до определенного значения, обеспечивающего удаление воздуха и газов до допустимого уровня:

$$V < V_{2кр.},$$

где $V_{2кр.}$ — объемный расход расплава через питатель, при котором появляется вероятность образования газовых дефектов.

Таким образом, для получения качественных отливок без неслитин и неспаев, с высоким качеством поверхности и требуемым уровнем плотности и герметичности нужно, чтобы объемный расход расплава $V_{р.}$ через питатель удовлетворял условию:

$$V_{1кр.} < V_{р.} < V_{2кр.}. \quad (2)$$

Оптимальный расход $V_{р.}$ зависит от литейных свойств материала отливки, от ее размеров и конфигурации, от толщин стенок, а также от предъявляемых к отливке требований по качеству поверхности, плотности и герметичности, от конструкции литниковой и вентиляционной систем и других параметров.

Объемный расход расплава через питатель $\upsilon_{р.}$ определяется скоростью потока $V_{п.}$ и площадью поперечного сечения питателя $S_{п.}$:

$$V_{р.} = \upsilon_{р.} \times S_{п.}, \quad (3)$$

и поэтому его практическое регулирование следует осуществлять, изменяя эти параметры.

Скорость расплава в питателе корректируется изменением скорости движения пресс-поршня литейной машины в камере прессования. Ее максимально допустимое значение имеет ряд ограничений. Например, скорость движения расплава в формообразующей полости должна быть такой, чтобы не смывался смазочный материал с рабочих поверхностей пресс-формы и расплав не вступал с поверхностями формы в такое механическое взаимодействие, при котором будет происходить эрозионное влияние расплава на оформляющие поверхности детали пресс-формы.

Площадь поперечного сечения питателей назначают с учетом толщины стенки отливки и удобства отделения детали от литниковой системы. Обычно толщина питателя назначается меньшей или равной толщине стенки изделия, а ширина — в зависимости от конструкции изделия, с учетом удобства его отделения от отливки. В свою очередь размеры питателя влияют не только на расход расплава и, соответственно, на продолжительность заполнения формы, но и на возможность оптимальной передачи давления прессования на затвердевающую отливку. При перемерзании питателя раньше, чем произойдет затвердевание отливки, давление прессования не будет оказывать никакого воздействия на процесс ее формирования. В случае примерно одинакового периода затвердевания питателя и отливки давление прессования будет действовать на отливку в течение всего времени ее формирования, постоянно подпитывая ее расплавом из камеры прессования через питатель, уменьшая объем усадочных пор. Такой способ литья используется для получения отливок с повышенными требованиями по плотности и герметичности. Этот способ литья предусматривает увеличение толщины литника, вплоть до толщины стенки детали, тем самым усложняется его отделение от детали. Нередко требования по повышенной плотности и герметичности могут быть выполнены путем создания большего давления в формообразующей полости пресс-формы до затвердевания питателя. При этом питатель делается меньше толщины стенки, а необходимый объемный расход обеспечивается за счет высокой скорости впуска расплава в пресс-форму.

Толщина питателя и скорость впуска расплава влияют на характер движения расплава в пресс-форме, процессы удаления воздуха и газов из пресс-формы и в конечном счете на качество отливки и ее плотность.

Таким образом, при литье под давлением наиболее важным этапом в формировании отливки является заполнение пресс-формы рас-

плавом. При этом наряду с температурными условиями формирования отливки решающее влияние на ее качество оказывают условия удаления воздуха и газов от смазочного материала из пресс-формы и характер движения расплава в пресс-форме.

Процессы заполнения пресс-формы

Характер движения расплава в пресс-форме влияет на процессы удаления воздуха и продуктов разложения смазочных материалов из формообразующих полостей и литниковой системы пресс-формы и, соответственно, на образование в отливке газовой пористости. Исследования показали, что особенности движения расплава в пресс-форме зависят от многих факторов, прежде всего от скорости его выпуска, геометрии и размеров питателя, вязкости и поверхностного натяжения расплава, условий его взаимодействия со стенками литниковой системы и формообразующих деталей пресс-формы, условий удаления воздуха и газов из ее полостей. В зависимости от различного сочетания этих и других факторов процессы заполнения полости пресс-формы могут быть в виде: сплошного спокойного потока с низким уровнем турбулентности при литье с малыми скоростями впуска; сплошного турбулентного потока при литье со средними скоростями впуска и дисперсного потока при литье с высокими скоростями впуска.

При заполнении сплошным спокойным потоком (рис. 3) струя расплава при выходе из питателя со скоростью υ сохраняет свою форму до удара о стенку оформляющей полости пресс-формы, а затем меняет направление движения. Критическая скорость, при которой сохраняется спокойный характер движения расплава, в основном зависит от его вязкости, а также от других факторов. Так, при увеличении вязкости расплава (понижении его температуры или при заливке сплава в твердожидком состоянии) критические скорости возрастают. Если для жидкого расплава такой режим достигается при скорости впуска до 0,3 м/с, то для расплава в твердожидком состоянии он сохраняется при скоростях впуска до 10–15 м/с.

С увеличением толщины питателя критические скорости уменьшаются, а турбулентность потока возрастает, что увеличивает пористость отливок.

При заполнении пресс-формы сплошным спокойным потоком создаются условия для ее последовательного заполнения расплавом и наиболее полного удаления воздуха и газов

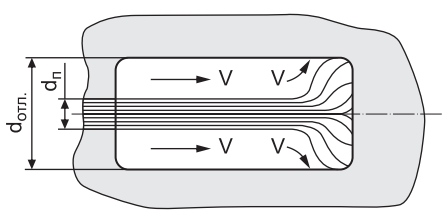

Рис. 3. Схема заполнения пресс-формы сплошным спокойным потоком

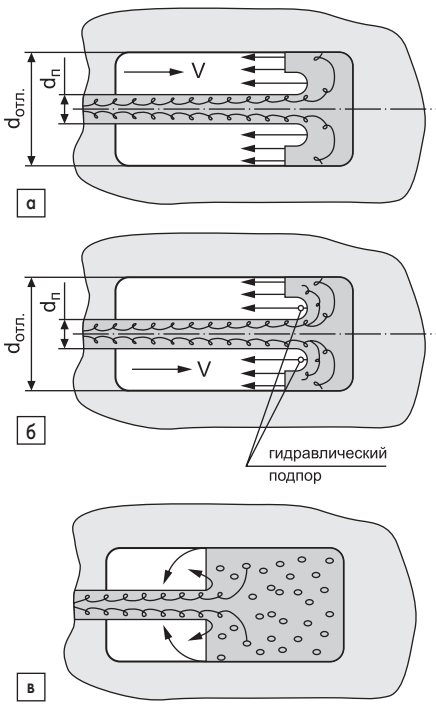

Рис. 4. Схема заполнения пресс-формы сплошным турбулентным потоком:
а) удар струи расплава в стену;
б) образование гидравлического подпора;
в) заполнение формы воздушные и газовые включения

из ее формообразующих полостей, что способствует уменьшению пористости и газовых включений в отливке. Однако на практике такое заполнение пресс-формы можно реализовать лишь для толстостенных отливок простой геометрической формы, которые изготавливаются из сплавов с широким интервалом кристаллизации при литье в твердожидком состоянии.

Заполнение пресс-формы сплошным турбулентным потоком расплава (рис. 4) происходит при скоростях впуска 0,5–50 м/с, в зависимости от состава расплава и его вязкости, а также размеров питателя. При таком заполнении интенсивно захватывается воздух и продукты разложения смазочного материала, которые остаются в затвердевшей отливке. Отливка, полученная при данном режиме заполнения пресс-формы, как правило, содержит крупные газовые включения. Чем выше турбулентность потока расплава, тем больше поры и ниже прочность материала отливки. Вот почему заполнение пресс-формы турбулентным потоком со средними скоростями впуска расплава используется лишь в тех случаях, когда к качеству отливки предъявляются высокие требования.

Дисперсное заполнение формообразующих полостей пресс-формы (рис. 5) происходит при скоростях впуска расплава 10–50 м/с и толщине питателя 3–0,25 мм, если расплав находится в жидком состоянии. При ударе о стену формы струя расплава дробится на множество отдельных фрагментов, образуя дисперсную систему — смесь капель расплава с воздухом и продуктами разложения смазочного материала. После затвердевания отливки воздушные и газовые включения остаются в отливке, образуя мельчайшую пористость.

Наряду с отрицательным действием газовые и воздушные пузырьки, находящиеся в отливке при ее затвердевании, могут оказывать и положительное влияние на процесс формирования отливаемой детали. Давление в пузырьках воздуха и газов при заполнении формы равно давлению в турбулентном потоке, а в конце заполнения давление пресс-поршня перестает действовать на затвердевающую отливку. В свою очередь воздух и газы, находящиеся внутри отливки под давлением, стремясь расшириться, давят на кристаллизующийся расплав, способствуя четкому формированию рельефа поверхности отливки. Это очень важно для отливок со сложной конфигурацией и точным микрорельефом поверхности. Однако, по мнению некоторых специалистов (Л. Е. Кисленко и др.), вблизи пор в металле отливки возникает сложное напряженное состояние, которое способно привести к появлению микротрещин и увеличению транзитной пористости, резко снижающей герметичность отливки.

Следует отметить, что при заполнении расплавом полости пресс-формы на одних ее участках может образовываться дисперсный поток, на других — турбулентный, на третьих возможно формирование застойных зон, заполняющихся расплавом с малыми скоростями. Поэтому рассмотренные модели процесса заполнения пресс-формы, по существу, отражают лишь вероятные преобладающие при том или ином режиме физические явления и их воздействие на качество отливки.

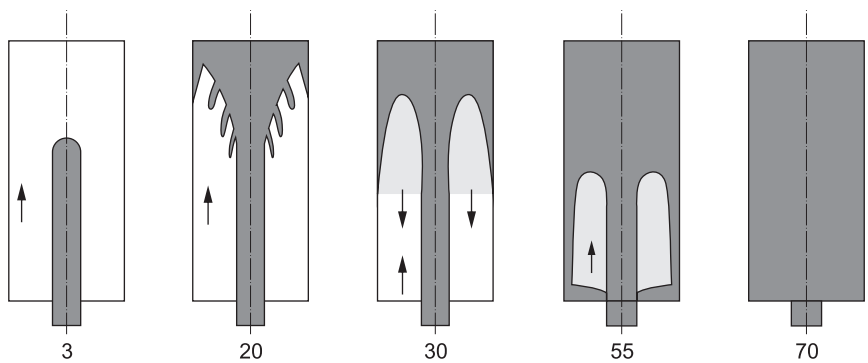

Рис. 5. Схема заполнения пресс-формы дисперсным потоком (время от начала заполнения пресс-формы расплавом указано в мс)

Газовый режим пресс-формы

Для получения качественной отливки необходимо, чтобы при заполнении пресс-формы расплавом воздух и газы от разложения смазочного материала полностью удалялись из нее, так как, попадая в отливку, они ухудшают ее свойства.

Объем газов V_Σ, который должен быть удален из формы, состоит из объемов газов, поступающих из камеры прессования и литниковой системы — V_k, объемов газа формообразующих полостей пресс-формы, равных объему отливки — V_0, и объемов газообразных продуктов разложения смазочного материала — V_r:

$$V_\Sigma = V_k + V_0 + V_r. \quad (4)$$

Объем газов, поступающих в рабочую полость пресс-формы из камеры прессования, зависит от ее диаметра, дозы заливаемого расплава, конструкции литейной машины и других факторов. Так, для машин с горизонтальной холодной камерой прессования объем газов обычно принимают равным 0,25–0,4 общего объема камеры прессования. Кроме того, следует учитывать объем газообразных продуктов от смазочных материалов камеры прессования при наличии у нее собственной системы вентиляции.

Объем газов и воздуха, попадающих из горизонтальной холодной камеры прессования в оформляющую полость пресс-формы, зависит от скорости перемещения прессующего поршня и закона изменения ее в отдельных фазах прессования.

Объем газообразных продуктов разложения смазочного материала В. Н. Зеленов предложил определять как зависимость от площади поверхности рабочей полости пресс-формы — $S_{ф.}$, толщины слоя смазочного материала на этой поверхности — h, газотворной способности смазочного материала — Z и его плотности — ρ:

$$V_r = KZS_{ф.}h\rho, \quad (5)$$

где K — коэффициент, учитывающий степень разложения смазочного материала до газообразного состояния за время заполнения пресс-формы. $K = 0$, если смазочный материал не подвергся разложению, и $K = 1$ при полном разложении смазочного материала на газообразные продукты.

Для уменьшения разложения смазки нужны смазочные материалы, обладающие высокой термостойкостью, низкой газотворной и высокой смазывающей способностью. Это позволит сократить расход смазки, повысить качество отливок и уменьшить выбросы продуктов распада смазки в окружающую среду.

Следует отметить, что получить отливку с низкой пористостью только путем удаления газообразных продуктов из пресс-формы практически невозможно (рис. 6). Данную задачу надо решать комплексно. Кроме хорошей вентиляции формы, необходимо при литье использовать сплав с пониженным содержанием газовых включений, оптимальные режимы

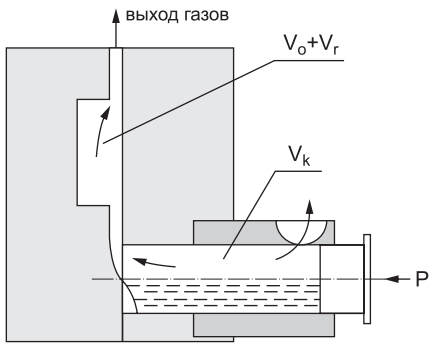

Рис. 6. Схема удаления газов из пресс-формы и камеры прессования

литья (скорость прессования, температуру расплава и пресс-формы, давление прессования), а также специальные способы литья под давлением, направленные на уменьшение газовой и воздушной пористости в отливках. Однако реализация в производстве таких способов литья вызывает значительные материальные затраты, усложняет конструкцию пресс-форм, предполагает наличие более совершенного оборудования и специальных условий производства. Подобные затраты окупаются только при изготовлении отливок с особыми требованиями к их качеству.

К специальным способам литья под давлением, обеспечивающим уменьшение пористости в отливках, относятся литье с помощью вакуумирования пресс-формы и камеры литья, а также литье с регулированием состава газов в оформляющей полости пресс-формы.

Практика применения вакуумирования полости пресс-формы при литье под давлением показала, что для получения качественных отливок и более полного использования преимуществ этого способа надо тщательно очищать расплав от неметаллических и газовых включений (рафинировать сплав); обеспечивать быстрое и полное удаление воздуха и газов из полости пресс-формы; осуществлять отсос воздуха и продуктов разложения смазочного материала из тех мест пресс-формы, где они могут скапливаться; использовать смазочные материалы с низкой газотворной способностью; исключать натекание воздуха из атмосферы в рабочую полость пресс-формы и камеры прессования. Соблюдение этих требований позволяет уменьшить количество воздуха, паров и газов в полости пресс-формы, снизить их противодавление при заполнении пресс-формы расплавом и благодаря этому улучшить качество отливок — повысить их плотность и герметичность, прочность и относительное удлинение, улучшить заполняемость пресс-формы и получить отливки с меньшей на 30–40% толщиной стенок соответствующего качества, чем при обычном литье под давлением.

Однако при литье под давлением с использованием вакуума могут возникнуть такие условия, при которых газы, растворенные в расплаве, вследствие понижения его температуры и увеличения разности парциальных давлений газа в расплаве и пресс-форме, начнут выделяться из раствора, что приведет к газовой пористости в отливках. Поэтому уровень вакуума, при котором достигается требуемое качество отливок, зависит от химического состава расплава, количества и вида растворенных в расплаве газов, конфигурации отливки, влияющей на скорость ее охлаждения.

Кроме того, при большом разряжении снижается температура испарения некоторых металлов (Zn, Mg), являющихся основой сплава, что может привести также к появлению пористости и раковин в отливках. Поэтому для небольших тонкостенных отливок из цинковых, алюминиевых и магниевых сплавов разряжение в пресс-формах не должно превышать 20–50 кПа.

Литье под давлением с регулированием состава газов в полости пресс-формы может выполняться разными способами. Практическое применение получили процессы литья с замещением воздуха и газообразных продуктов разложения смазочного материала кислородом (O_2-процесс), а также газами с низкой молекулярной массой, например гелием.

Кислородный процесс осуществляется следующим образом. Перед заливкой расплава полости камеры прессования и пресс-формы продуваются кислородом до полного вытеснения из них воздуха и газов. При заполнении пресс-формы кислород вступает в реакцию окисления с частицами расплава, которая протекает с высокой скоростью, благодаря чему большая часть кислорода, находящаяся в рабочем объеме формы и камеры прессования, расходуется на окисление расплава, а не на образование в нем газовых пор. Окисление протекает следующим образом:

$$4Al + 3O_2 = 2Al_2O_3. \quad (6)$$

Образующиеся частицы окисла Al_2O_3 находятся в расплаве в мелкодисперсном состоянии и не ухудшают механических свойств и обрабатываемости отливок. Вместе с тем газосодержание отливок и пористость в них значительно уменьшаются. Например, в отливках из алюминиевых сплавов содержание газов при кислородном процессе снижается до $(0{,}5–1)\times10^{-15}$ м^3 на 1 кг. Но при кислородном процессе исключается использование смазочных материалов, выделяющих при разложении продукты, способные взаимодействовать с кислородом, иначе в полости формы могут образовываться CO, CO_2, SO_2, H_2O и другие пары и газы, что снизит эффективность O_2-процесса.

По сравнению с вакуумированием полости пресс-формы кислородный процесс обладает некоторыми преимуществами: производительность процесса литья не снижается, O_2-процесс менее сложен в организации (не требует дополнительного сложного оснащения) и т. д. Однако повышает пожароопасность производства и предполагает строгое соблюдение правил техники безопасности и пожаробезопасности.

Гелиевый процесс осуществляется по схеме, близкой к кислородному процессу. В данном случае воздух из пресс-формы вытесняется гелием. Известно, что скорость течения газо-

образных продуктов по различным каналам обратно пропорциональна корню квадратному из их молекулярной массы, а гелий имеет молекулярную массу M = 4,003 кг/кмоль ($M_{воздуха}$ = 29 кг/кмоль), поэтому его расход из пресс-формы будет в несколько раз больше, чем расход смеси воздуха и продуктов разложения смазочных материалов при одинаковых прочих условиях. Благодаря большому расходу противодавление газа в пресс-форме снижается, следовательно, меньше газа замешивается в расплав, количество газовых паров в отливке резко сокращается, плотность и герметичность ее возрастает. Чтобы гелий не мог быть замещен воздухом, он подается в пресс-форму вплоть до самого начала запрессовки расплава.

Такие процессы позволяют получать отливки из термоупрочняемых сплавов, а также отливки, работающие при высоких температурах.

Влияние давления на формирование отливки

Рассмотрим осциллограмму давления в поршневой полости гидроцилиндра механизма прессования литейной машины с горизонтальной холодной камерой прессования за время рабочего цикла.

В период времени t_1 поршень, перемещающийся со скоростью, обычно не превышающей 0,5 м/с, перекрывает заливочное окно камеры прессования, в которой происходит плавный подъем уровня расплава. Скорость перемещения поршня должна быть такой, чтобы исключить возможность выплескивания расплава через заливочное окно камеры прессования, а газы могли свободно вытесняться в рабочую полость пресс-формы и дальше через систему вентиляции в атмосферу. Значение давления в этой фазе должно соответствовать давлению, необходимому для преодоления сил трения пресс-поршня в заливочной камере и противодавления в пресс-форме (рис. 7).

Период времени t_2 соответствует разгону поршня до скорости, обеспечивающей необходимую скорость впуска расплава в формообразующую полость пресс-формы и длительность ее заполнения. Давление в гидросистеме увеличивается до значения P_2, в результате возрастания противодавления в камере прессования и потерь в гидросистеме механизма прессования.

За время t_3 расплав заполняет каналы литниковой системы и рабочую полость пресс-формы. Давление повышается до значения P_3 вследствие преодоления гидравлических сопротивлений литниковой системы и пресс-формы и роста давления газов в рабочей полости пресс-формы.

При использовании систем вакуумирования пресс-формы значения давлений P_2 и P_3 могут быть гораздо ниже (штриховая линия на рис. 7).

Рабочий ход поршня завершается срабатыванием устройства для подпрессовки. Давление при этом повышается до значения P_5. Одновременно могут происходить такие отрицательные явления, как гидроудар, что приводит к кратковременному увеличению давления до значений P_4. В современных машинах влияние этого фактора сведено к минимуму за счет уменьшения массы подвижных частей механизма прессования.

Необходимое давление прессования зависит от состава сплава, его вязкости и плотности, эффективности работы системы прессования; вентиляции заливочной камеры и пресс-формы; конфигурации и толщины стенок отливки, требований к ее качеству (плотности, прочности, герметичности и состоянию поверхности и др.). Оно обычно назначается в пределах 10–200 мПа. Для повышения качества отливки нужно, чтобы максимальное давление подпрессовки развивалось механизмом прессования сразу после окончания заполнения формы, до затвердевания питателя.

При заполнении формы сплошным спокойным потоком расплава подпрессовка позволяет уменьшить усадочную пористость в отливке и улучшить качество ее поверхности, особенно если сплав заливают в твердожидком состоянии. Небольшая скорость впуска обеспечивает последовательное заполнение пресс-формы расплавом, а подпрессовка способствует получению плотных, с минимальной воздушно-газовой и усадочной пористостью отливок, а также отливок высокопрочных сплавов, упрочненных термической обработкой.

Технологические режимы литья

К важнейшим характеристикам технологического процесса литья под давлением относятся следующие параметры:

- продолжительность заполнения пресс-формы расплавом ($t_{зап.}$);
- скорость впуска расплава в пресс-форму ($\upsilon_{п.}$);
- размеры и расположение вентиляционных каналов;
- количество и свойства смазочного материала пресс-формы;
- температура расплава и пресс-формы.

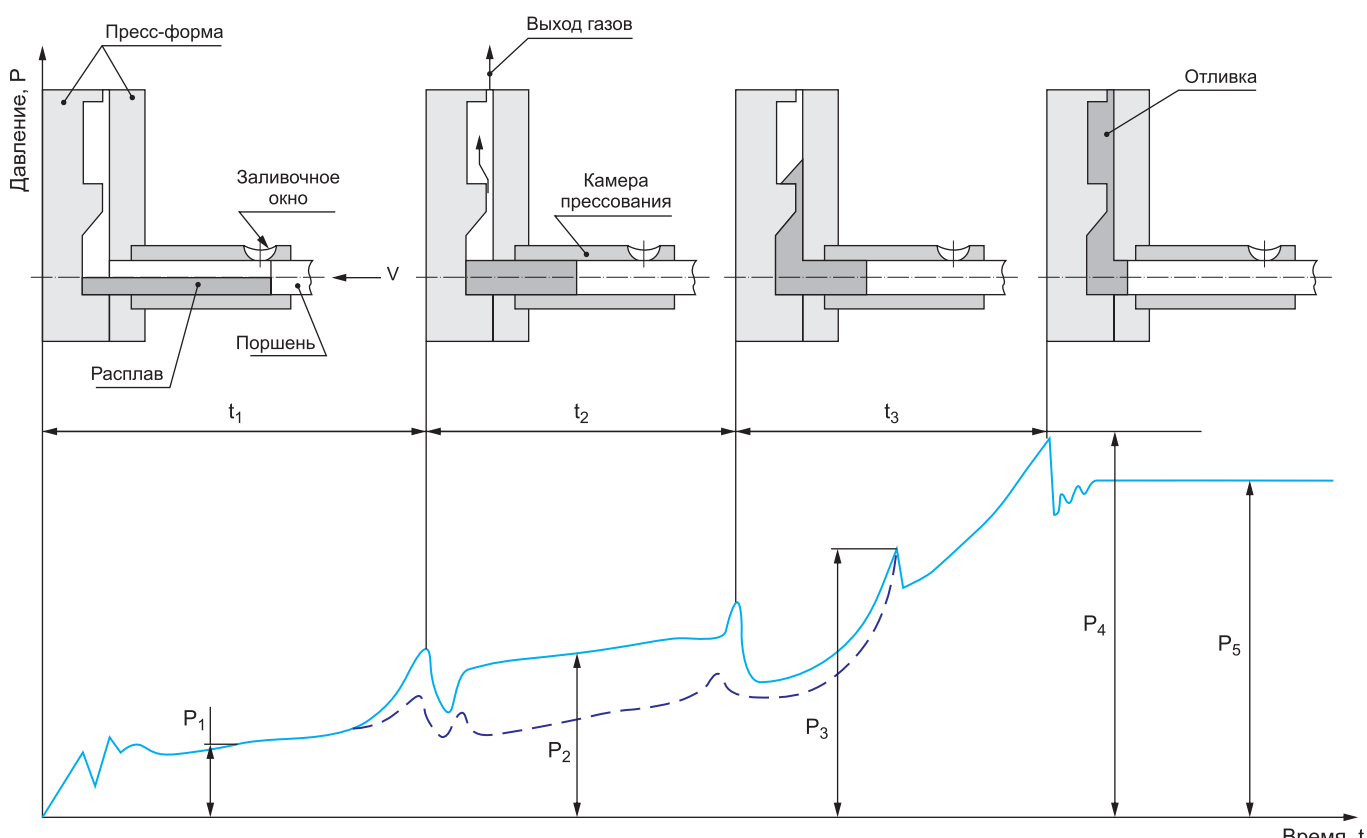

Рис. 7. Осциллограмма давления в поршневой полости гидроцилиндра механизма прессования

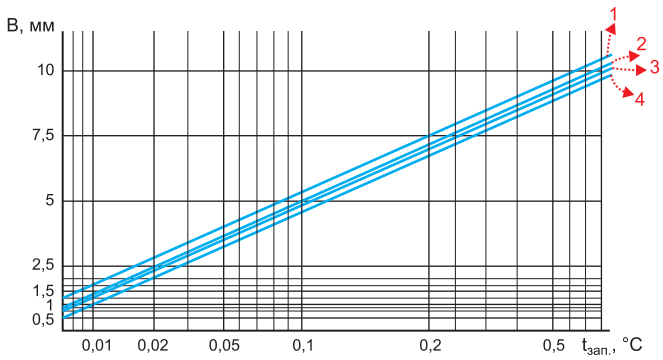

Рис. 8. Зависимость времени заполнения $t_{зап.}$ от средней толщины стенки отливки из следующих металлов и сплавов:
1 — чистый магний; 2 — магниевые сплавы; 3 — алюминиевые сплавы; 4 — цинковые сплавы

Для различных сплавов, в соответствии с толщиной стенок отливки, существует определенная зависимость времени заполнения пресс-формы расплавом, представленная в виде графика (рис. 8).

В данном случае продолжительность заполнения пресс-формы определена для наиболее характерных для этих сплавов температур заливки расплава и пресс-формы, обусловлена толщиной стенок отливки и не зависит от конфигурации, размеров и массы отливки.

Скорость впуска расплава ($\upsilon_{п.}$) в пресс-форму определяет характер его движения (сплошной спокойный, с высокой турбулентностью или дисперсный), оказывает влияние не только на качество отливки, но и на долговечность пресс-формы. Слишком высокая скорость впуска расплава способствует смыву смазочного материала с формообразующих поверхностей пресс-формы, а также оказывает на них эрозионное воздействие и, как следствие, приваривание отливки к пресс-форме. В результате во многих случаях при извлечении отливки может происходить поломка оформляющих элементов пресс-формы, коробление и образование трещин на отливках или их полное разрушение. Работа при низких скоростях впуска расплава, как правило, не способствует высокому качеству поверхности отливок.

Для всех типов сплавов, используемых при литье под давлением, оптимальная скорость впуска обычно составляет 10–50 м/с. При этом меньшие значения скорости впуска предназначены для отливок из стали и медных сплавов, а большие — для алюминиевых, цинковых и свинцово-оловянистых сплавов.

Температура пресс-формы перед заливкой назначается с учетом состава заливаемого сплава, конфигурации отливки, толщины ее стенок и других факторов. В зависимости от вида сплава устанавливается следующая температура пресс-формы: для цинковых — +120…+160 °С; алюминиевых — +180…+250 °С; магниевых — +200…+240 °С; латуни +280…+320 °С; стали +200…+280 °С. Для тонкостенных отливок сложной формы температуру пресс-формы целесообразно устанавливать ближе к верхнему пределу указанных интервалов, для более массивных отливок — ближе к нижнему. Это позволит при изготовлении тонкостенных отливок улучшить заполнение формы расплавом, а для массивных отливок повысить скорость затвердевания и уменьшить количество усадочных дефектов. Для регулирования температуры пресс-формы и управления процессом затвердевания и охлаждения отливки в конструкции пресс-формы предусмотрена система термостатирования.

Температура заливаемого расплава зависит от его химического состава, конфигурации и размеров отливки, а также выбранного режима заполнения пресс-формы. Заполнение формы перегретым расплавом может вызвать его проникновение в вентиляционные каналы пресс-формы и закупорить их, что приведет к увеличению в отливках газовой пористости, а вероятно, и к незаполнению формы.

Высокая температура расплава способствует увеличению объема усадочных пор в отливке, возрастанию длительности затвердевания и охлаждения отливки, снижению темпа работы машины и, соответственно, увеличению тепловой нагрузки на пресс-форму, что уменьшает ее стойкость и увеличивает вероятность приваривания отливки к пресс-форме и ее поломку. Все это объясняет стремление опытных литейщиков заливать расплав при более низкой температуре. Для цветных сплавов температура расплава при заливке обычно устанавливается на 10–30 °С выше температуры ликвидуса. С увеличением размеров отливки и уменьшением толщины ее стенок температуру заливки принимают ближе к верхнему пределу.

Для массивных отливок, а также для отливок с повышенными требованиями по плотности температуру расплава принимают в интервале ликвидус — солидус, то есть производят заливку расплава в твердожидком состоянии. Это позволяет обеспечить последовательное вытеснение воздуха и газов из пресс-формы и сократить объем усадочных пор в отливке.

При литье сплавов в твердожидком состоянии уменьшается пористость отливок, вследствие чего возрастает их герметичность, несколько повышаются механические свойства. Температуру заливки в этом случае назначают в соответствии с необходимым содержанием твердой фазы в расплаве, которое определяется по диаграмме состояния сплава. Количество твердой фазы обусловливает реологические свойства сплава, его эффективную вязкость, модуль упругости, предельные напряжения сдвига — словом, те характеристики и свойства, от которых зависит способность сплава заполнять формообразующие полости пресс-формы. Для алюминиевых сплавов типа АК12 количество твердой фазы, обеспечивающее хорошую заполняемость формы, находится в пределах 40–60% по диаграмме состояния.

Твердожидкими сплавами формы заполняют только на машинах с холодными камерами прессования, поскольку на машинах с горячими камерами такие режимы осуществить нельзя из-за перемерзания расплава в мундштуке и невозможности его самопроизвольного перетекания из тигля в камеру прессования.

Давление прессования зависит от толщины стенок отливки, ее размеров и конфигурации, а также от химического состава сплава. Для уменьшения усадочной пористости важно осуществить подпрессовку в конечный момент заполнения формы, для чего предназначены механизмы прессования с мультипликацией (усилением) давления на расплав в камере прессования литейной машины. Действие подпрессовки эффективно только в том случае, если время нарастания давления меньше времени затвердевания расплава в питателе. Современные конструкции машин литья под давлением позволяют обеспечивать нарастание давления подпрессовки за тысячные доли секунды без возникновения значительного гидроудара.

Смазочные материалы, используемые при литье под давлением, по своему назначению делятся на две основные группы — смазочные материалы для рабочих поверхностей пресс-формы и смазочные материалы для смазывания пресс-поршня и камеры прессования.

Смазывание пресс-формы защищает ее рабочие поверхности от химического, механического и теплового воздействия струи расплава, а также улучшает условия извлечения отливок.

Смазочные материалы для пресс-формы должны обладать высокими смазывающими и противозадирными свойствами при температурах литья, иметь минимальную газотворную способность при разложении под действием высоких температур, не оказывать вредного воздействия на свойства отливок, быть нейтральными по отношению к поверхностям пресс-формы и отливки, нетоксичными и не содержать дефицитных материалов. Кроме того, смазочный материал должен сохранять свои свойства при длительном хранении, быть пожаро- и взрывобезопасным, обладать способностью к автоматическому нанесению на поверхность пресс-формы.

Процесс взаимодействия смазки с поверхностями пресс-формы и отливки в процессе литья под давлением еще недостаточно изучен, поэтому ее выбор представляет серьезную задачу.

Чаще всего для автоматизированного нанесения используют смазки на основе минеральных масел в виде водной эмульсии с добавками наполнителей со сложной молекулярной

структурой и различных химически активных присадок.

Для литья алюминиевых сплавов целесообразно применять водо-эмульсионные смазки типа «Графитол-Э» и «Прессол-Э». Они обладают удовлетворительными смазывающими свойствами, способствуют повышению производительности процесса литья, особенно при высокой теплонагруженности пресс-форм. Необходимо учесть, что интенсивное охлаждение рабочих поверхностей этими материалами оказывает отрицательное воздействие на стойкость пресс-форм.

Более высокими смазывающими свойствами отличаются смазочные материалы типа «ЛД». В своем составе они имеют масляную основу, химические добавки и керосин в виде разбавителя. Однако по сравнению с «Прессолами» и «Графитолами» эти смазки больше загрязняют атмосферу цеха и являются пожароопасными.

Рассмотренные выше смазочные материалы обладают невысоким противозадирным действием. На сложных по съему участках пресс-форм используют противозадирочные материалы типа «Амоминол МГ» на масляной основе с добавками графита и алюминиевого порошка и различных присадок. Данные материалы чаще всего наносятся вручную.

Для литья магниевых сплавов существуют смазочные материалы на масляной основе с добавлением графита, а также водорастворимые солевые смазочные материалы.

Для отливок из медных сплавов применяют такие же смазки, как и для литья алюминия.

При изготовлении стальных отливок используются смазки на основе дисульфида молибдена, не содержащие растворителей и разбавителей.

На машинах с холодной камерой прессования обязательно производится смазывание пресс-поршня и рабочей поверхности камеры прессования. В качестве смазки предусмотрены консистентные смазочные материалы, имеющие масляную основу, загустители, графит и другие материалы, повышающие смазывающие свойства.

В настоящее время для улучшения санитарно-гигиенических условий труда в литейных цехах начали употреблять порошкообразные смазочные материалы на основе материалов, подобных воску, не имеющих в своем составе растворителей. Кроме того, для максимального исключения выбросов вредных веществ в атмосферу цеха используются устройства для смазывания рабочих поверхностей пресс-формы при закрытом ее положении, перед или во время подачи в нее расплава. Такие устройства пока используются для литейных машин с горизонтальной холодной камерой прессования при литье алюминиевых сплавов. В качестве смазки в данном устройстве успешно применяются материалы типа «ЛД».

Кроме основных смазочных материалов, при эксплуатации форм литья под давлением есть и вспомогательные смазочные материалы, которые упрощают обслуживание пресс-форм и продлевают срок их эксплуатации. К таким материалам относятся, например, антипригарные смазочные материалы для крепежных деталей, материалы для смазывания направляющих колонок и втулок и других движущихся частей, консервационные смазочные материалы для защиты пресс-форм от коррозии при длительном хранении и т. д.

Контроль качества отливок и устранение их дефектов

В зависимости от предъявляемых требований отливки, полученные методом литья под давлением, могут подвергаться различным видам контроля: рентгеновскому, гамма-дефектоскопии или ультразвуковому для обнаружения внутренних дефектов; люминесцентному для обнаружения поверхностных трещин; гидро- или пневмоконтролю для оценки герметичности. Периодичность, последовательность и объем контроля определяются техническими условиями для конкретного вида отливок.

Выявленные дефекты, если это допускается техническими условиями, могут устраняться заваркой или пропиткой. Для устранения недоливов, раковин, рыхлот и трещин используется аргонно-дуговая сварка. Заварку ведут теми же сплавами, из которых отлиты детали, с помощью неплавящегося вольфрамового электрода диаметром 2–6 мм. Сила сварочного тока обычно устанавливается 25–40 А на 1 мм диаметра электрода. Перед заваркой дефектное место разделывается таким образом, чтобы стенки углублений имели наклон 30–45°. Отливки подвергаются местному или общему нагреву до +300…+350 °С.

Пористость в отливках устраняется пропиткой бакелитовым или асфальтовым лаком, а также олифой или жидким стеклом. Пропитка ведется в специальных котлах при температуре +100 °С под давлением 490–590 кПа, с предварительной выдержкой отливок в разряженной атмосфере 1,3–6,5 кПа. После пропитки отливки сушатся при +65…+200 °С, в процессе сушки происходит твердение пропиточной жидкости. После устранения выявленных дефектов отливки подвергаются повторному контролю.

Заключение

Литье под давлением деталей из цветных сплавов является сложным технологическим процессом, который требует определенных теоретических знаний и практического опыта при его реализации.

Рассмотренные в данной работе основные положения теории литья под давлением цветных металлов и сплавов позволяют использовать их при конструировании конкретных деталей и литейных форм в ходе организации производства. Большое внимание здесь уделено процессу заполнения литейной формы, возникающему при этом механизмам движения расплава и их влиянию на формирование качественных параметров отливки.

Проанализированы вопросы газового режима работы пресс-формы и специальных способов литья под давлением, обеспечивающих уменьшение пористости отливок и их герметичность. Представлен анализ влияния давления на формирование отливки в процессе рабочего цикла литья.

При рассмотрении технологических режимов литья под давлением особый акцент был сделан на анализе важнейших параметров литья, таких как:

- продолжительность заполнения пресс-формы расплавом;
- скорость впуска расплава в пресс-форму;
- размеры и расположение вентиляционных каналов;
- количество и свойства смазочных материалов;
- температура расплава и пресс-формы, влияющие на качество получаемых отливок, производительность процесса и его экологичность.

Необходимо отметить, что ознакомление с представленными в статье положениями и рекомендациями позволит более профессионально подойти к разработке технологических процессов литья под давлением, предназначенных для изготовления конкретных деталей.

Литература

1. Беккер М. Б. Литье под давлением. 3-е изд. М., 1990.
2. Бауман Б. В. и др. Литейное производство. М., 1971.
3. Белопухов А. К. Технологические режимы литья под давлением. М.: Машиностроение. 1985.
4. Борисов Г. П. Давление в управлении литейными процессами. Киев: Наукова думка, 1988.
5. Зарубин А. М., Зеленов В. Н., Степанов Ю. А. Смазывание форм в закрытом состоянии. Автоматизация и прогрессивная технология литья под давлением. М.: МДНТП, 1984.
6. Зеленов В. Н., Кисленко Л. Е. Смазка пресс-форм литья под давлением. М.: Машиностроение, 1983.
7. Липницкий А. М. Морозов И. В., Яценко А. А. Технология цветного литья. Л.: Машиностроение, 1986.
8. Степанов Ю. А. и др. Технология литейного производства. М., 1983.
9. Ферштатер И. Б. Метод нанесения смазочного материала при литье под давлением. М.: Машиностроение, 1985.
10. Юдкин В. С. Производство и литье сплавов цветных металлов. М., 1967–1971.