

European Commission
TEMPUS

The main details of foundry equipment are developed. Analysis of the process of filling and hardening of casting "Transducer case" is carried out on the basis of methods of mathematic modeling of foundry processes.

В. Н. КУЗЬМИЧ, Д. А. МОЙСЕЙЧИК, БНТУ

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент А. Н. КРУТИЛИН, БНТУ

УДК 621.74.043

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ ЛИТЬЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Технологический процесс изготовления отливок способом литья под давлением является одним из наиболее высокопроизводительных и экономичных процессов литейного производства. Процесс находит все большее распространение в различных отраслях промышленности при крупносерийном и массовом производстве отливок. Необходимо отметить, что, обладая большими преимуществами перед другими способами получения высококачественных отливок повышенной точности, литье под давлением позволяет максимально приблизить размеры отливок к размерам готовых деталей.

К преимуществам способа литья под давлением следует также отнести:

- возможность получения сложных тонкостенных отливок, которые достаточно трудно получить другими способами литья;
- высокие физико-механические свойства отливок вследствие специфических условий формирования отливки; прочностные характеристики деталей по сравнению с литьем в песчаные формы возрастают на 15–20%;
- получение высококачественных отливок с низкой шероховатостью поверхности и высокой размерной точностью;
- высокую производительность процесса за счет минимальной продолжительности цикла литья, комплексной механизации и автоматизации производственного процесса;
- низкую себестоимость литья вследствие снижения трудоемкости изготовления деталей;
- обеспечение благоприятных санитарно-гигиенических условий труда рабочих.

Получение высококачественных отливок с минимальными затратами – задача многоплановая и требует комплексного решения вопросов по все-

му технологическому циклу начиная от приготовления сплава до финишной обработки готовых отливок.

Одним из условий получения высококачественного литья является соответствие конструкции детали требованиям технологического процесса. Оптимальная конструкция отливки позволяет увеличить производительность, уменьшить механическую обработку, повысить точность при существенной экономии металла, уменьшить количество брака.

К конструкции отливок предъявляются следующие требования:

1. Отливки, по возможности, должны иметь одинаковую, минимальную толщину, обеспечивающую им достаточную прочность и жесткость.
2. Вместо массивных сечений в отливке устанавливают ребра жесткости, делают поверхность рифленой, и таким образом обеспечивают необходимую прочность детали при минимальной металлоемкости. Литейные и упрочняющие ребра жесткости должны иметь толщину, равную 0,8–0,9 толщины стенки отливки.
3. Литейные уклоны на внутренних и наружных поверхностях должны обеспечивать нормальное извлечение отливки из пресс-формы (на наружных поверхностях $>15^\circ$, внутренних поверхностях, оформляемых подвижными стержнями, $>30^\circ$, неподвижными $>1^\circ$).
4. Для того чтобы исключить возможность образования трещин в отливках, необходимо обеспечить плавные переходы сопрягаемых поверхностей от одного сечения к другому.
5. Геометрическая точность отливок зависит от правильного выполнения размеров полости пресс-формы с учетом усадки сплава. Усадку на размеры отливок принимают с учетом допусков на размеры

отливки, припусков на механическую обработку, изменения размеров полости формы вследствие термического расширения материала. При определении размеров полости литейной формы усадку для наружных размеров принимают равной 50–80%, для внутренних размеров – не более 50% от свободной усадки. Свободная литейная усадка алюминиевых сплавов 1,0–1,3%, при литье под давлением усадка имеет несколько меньшие значения. Выступающие полости в форме препятствуют свободной усадке сплава, уменьшая ее величину, аналогично действует и уменьшение толщины стенки отливки. Чем больше усадка сплава, тем больше должна быть конусность поверхности отливки.

Среди других факторов, оказывающих существенное влияние на качество получаемых деталей при литье под давлением, следует уделять внимание не только соблюдению оптимальных технологических параметров литья, но и правильному выбору химического состава сплава для данной группы отливок, тщательному контролю процесса плавки, рафинирования и модифицирования расплава.

Ввиду специфических особенностей литья под давлением желательнее использовать сплавы с узким интервалом кристаллизации, так как необходимо получать отливки с равномерной плотностью.

Несмотря на то что жидкотекучесть сплава не является определяющим фактором для данного способа литья, однако получение тонкостенных отливок с развитой поверхностью затруднено, так как из-за большой интенсивности теплообмена ухудшается заполняемость пресс-формы расплавом.

Расплав должен иметь минимальную газонасыщенность для того, чтобы уменьшить вероятность образования пористости, поэтому большое внимание нужно уделять рафинированию металла. Предварительное вакуумирование расплава в печи и обработка флюсами позволяют в некоторой степени устранить причины, вызывающие образование пористости, а газовыделение от сгорания смазывающего материала в форме устраняется применением высококачественных смазывающих материалов.

Для того чтобы противостоять действию механических усилий, возникающих в процессе затвердевания, удаления стержней и извлечения отливки из формы, необходимо, чтобы сплав обладал достаточно высокой прочностью и пластичностью при высоких температурах.

Ввиду неподатливости металлической формы при повышенных температурах в отливке возникают высокие внутренние напряжения. Использование сплавов с минимальной усадкой позволяет

уменьшить коробление отливок и снизить вероятность образования трещин.

В качестве объекта исследования выбрана деталь «Корпус датчика». Датчик предназначен для измерения количества топлива в баке. Деталь работает в агрессивных средах при малых удельных нагрузках. Отливку «Корпус датчика» изготавливают из сплава АК12М2. Химический состав сплава: Mg – 0,25–0,45%; Si – 8–11; Mn – 0,2–0,5; Fe – 0,8; Cu – 1,0; Ni – 0,3; Zn – 0,5%. Масса отливки – 0,143 кг. Габаритные размеры – 70×70×54 мм.

При разработке конструкции литой детали необходимо установить, какие требования являются определяющими для данной детали при ее эксплуатации. Согласно техническим условиям, деталь «Корпус датчика» должна иметь высокие физико-механические свойства: прочность σ_B – 200–250 МПа, относительное удлинение – 0,5–1,0%, герметичность, коррозионную стойкость.

Литая деталь должна обладать не только конструкционной прочностью, но и быть технологичной. Для отливки «Корпус датчика» плоскость разреза выбирали исходя из площади обжима стержней. При конструировании отливки следует стремиться к тому, чтобы число разрезов и стержней в пресс-форме было минимальным, поэтому отливка не должна иметь внешних и внутренних поднутрений, препятствующих свободному удалению ее из пресс-формы. Возможность создания одной плоскости разреза определяется по правилу световых теней, согласно которому теневые участки при воображаемом освещении детали параллельными лучами в направлении, перпендикулярном плоскости разреза, должны отсутствовать. Выемки и отверстия следует, по возможности, располагать перпендикулярно к плоскости разреза. При расположении отливки в неподвижной и подвижной полуформах наибольшая поверхность стержня должна находиться в подвижной полуформе.

Величину припусков на механическую обработку, класс размерной точности, степень коробления элементов отливки, степень точности поверхности отливки и другие литейно-модельные указания определяли по ГОСТ 26645–85 и 3212–92.

Конструкции пресс-форм литья под давлением весьма разнообразны и зависят от типа машины, конфигурации и размеров отливки, характера производства и т. д. Разработанная пресс-форма состоит из двух частей: подвижной и неподвижной. Подача жидкого металла происходит через литниковую втулку, по литниковому каналу расплав попадает в формообразующую полость, которую формируют стержни. Охлаждение пресс-формы осуществляют водой, проходящей по каналам, вы-

полненным внутри матриц и пуансона. Выталкивание отливки из формы производят с помощью толкателей, которые приводятся в движение плитой толкания.

Важным элементом технологического процесса литья под давлением является литниковая система. Конфигурация литниковой системы зависит от типа машины и способа подвода расплава к отливке. При конструировании литниковой системы следует обеспечить подвод металла, который позволяет получить хорошее заполнение формы, минимальный местный перегрев, хороший отвод газа, легкое и простое удаление литника.

При конструировании пресс-форм необходимо учитывать, что одни детали испытывают знакопеременные нагрузки, другие подвергаются воздействию высоких температур (формообразующие детали), третьи воспринимают динамические напряжения. Матрицы, стержни, пуансон, толкатели, вкладыши работают в зонах повышенных температур, для их изготовления выбираем хромомолибденовую сталь 4X5МФС. Ползуны, клинья и замки в запортом состоянии работают под высоким давлением, поэтому для их изготовления выбираем сталь У8А. Все остальные детали пресс-формы изготавливаются из стали 45.

Стабильность качества отливок во многом определяется стабильностью температурного режима пресс-формы. Оптимальный тепловой баланс поддерживают темпом работы машины, а также регулированием температуры пресс-формы, путем ее охлаждения или нагревания. Оптимальную температуру расплава при заливке выбирают минимально допустимой, поскольку при ее повышении уменьшается срок эксплуатации пресс-формы, поршня, ухудшается качество отливок. Температуру пресс-форм для алюминиевых сплавов поддерживают в диапазоне 260–285 °С.

Для отработки литейной технологии на стадии проектирования, а также для оптимизации технологических решений использовали систему математического моделирования литейных процессов ProCast, которая позволяет провести моделирование гидродинамических параметров заполнения, тепловых процессов, прогнозировать величину напряжений как в отливке, так и в пресс-форме, а также полноценно проанализировать технологию с учетом любых изменений технологического процесса. При литье под давлением возможно определение оптимальной скорости движения плунжера, конструкции литников, заполняемость пресс-формы даже при получении тонкостенных отливок. Возможно моделирование многоциклового работы пресс-формы с учетом постепенного разогре-

ва, определение зоны максимального температурного градиента в пресс-форме, что дает возможность оптимизировать систему термостатирования. Предварительный анализ позволяет значительно сократить время, необходимое на проектирование литых деталей, снизить затраты на изготовление и доработку оснастки.

В качестве объекта исследования выбрана деталь «Корпус датчика». На рис. 1 представлена трехмерная модель отливки. С целью редактирования и создания базы данных типовых элементов трехмерные модели элементов литниковой системы разрабатывали отдельно. Соединение отдельных элементов модели в трехмерную модель проводили в системе автоматизированного проектирования SolidWorks (Сборка). Далее переводили объединенную модель из SolidWorks в ProCAST для моделирования процессов заливки и кристаллизации. К отливке «Корпус датчика» предъявляются повышенные требования по пористости. Поэтому основная задача математического моделирования заключалась в определении мест вероятного образования пористости в теле отливки.

В качестве параметров интерфейса был выставлен тип «Coins», означающий, что сопрягаемые тела не являются частью одного целого и между ними проходит граница раздела. Коэффициент теплопередачи приняли равным 1000 Вт/(м²·°С).

Базовый модуль ProCast учитывает пористость только усадочного происхождения. Формирование микропористости происходит также при выделении газов из жидкого металла по закону Сивертса. Для учета газовой составляющей применяется специальный модуль улучшенного расчета пористости (АРМ), который базируется на решении уравнения Дарси и микросегрегации газа с учетом падения давления в твердо-жидкой фазе и выделения газов из расплава. При литье под давлением пористость в большинстве случаев является смешанной – в поры усадочного происхождения выделяется газ из металла.

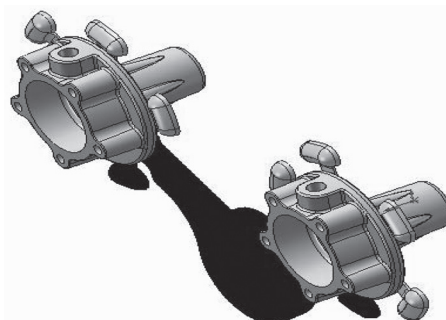


Рис. 1. Модель отливки

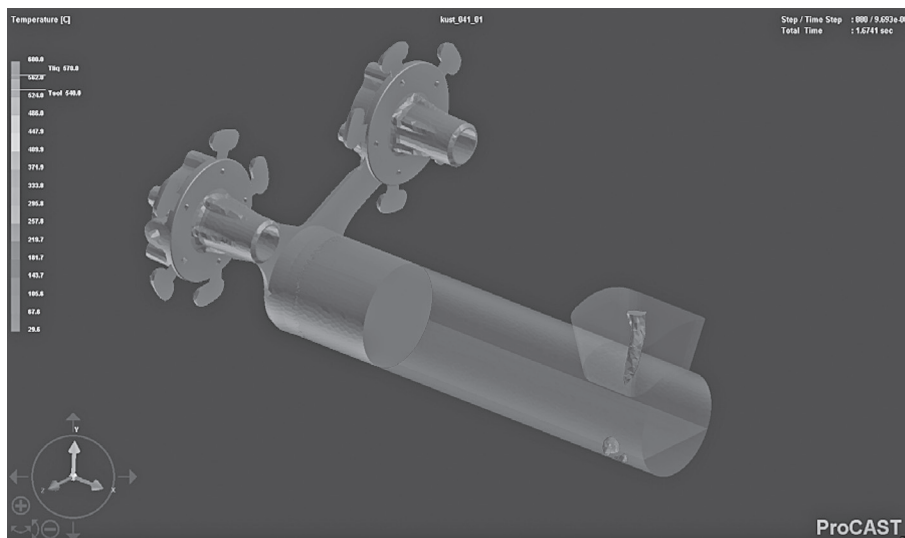


Рис. 2. Заполнение пресс-формы через 1,67 с

Процесс заполнения полости пресс-формы показан на рис. 2.

В результате анализа процесса заполнения литейной формы и затвердевания заготовки с использованием уточненного расчета пористости были выявлены места возможной локализации усадочной пористости – рядом с местом подвода металла (рис. 3).

При литье под давлением невозможно полностью компенсировать усадку, поэтому в толстых стенках отливки могут возникать усадочные раковины. Существенное снижение пористости литых заготовок можно достичь путем сжатия газосодержащих включений путем приложения более высоких давлений подпрессовки.

Необходимо обратить внимание на то, что существующие модели моделирования процесса литья под давлением предполагают, что воздух удаляется из полости формы полностью, последовательно от промывника к вентиляционному каналу, а образующаяся пористость имеет усадочное происхождение или возникает в результате выделения газа при затвердевании металла по закону Сивергса.

Однако основной причиной образования пористости при литье под давлением является высокая

скорость заполнения формы расплавом. При заполнении формы газы, содержащиеся в ней, могут оказывать влияние на характер движения струи металла. Вследствие изменения характера заполнения и возрастания динамического давления на газовые включения, а также в результате увеличения количества газа, захватываемого расплавом при заполнении полости формы, пористость может существенно возрастать. Повышенное газо-содержание и пористость получаемых заготовок в значительной мере обусловлены эжекцией струей расплава воздуха и газообразных продуктов термодеструкции используемых смазок как в полости формы, так и в свободном объеме камеры прессования, а также в результате недостаточной вентиляции пресс-форм. Газосодержание отливок зависит также от конфигурации литниковой системы и места подвода питания, соотношения размеров толщин стенок отливок и питателей и т. д.

Основным условием повышения физико-механических свойств является получение плотных отливок, что позволяет нагревать отливки до температуры закалки без опасения появления вздутий на литой поверхности, т. е. применять высоко-

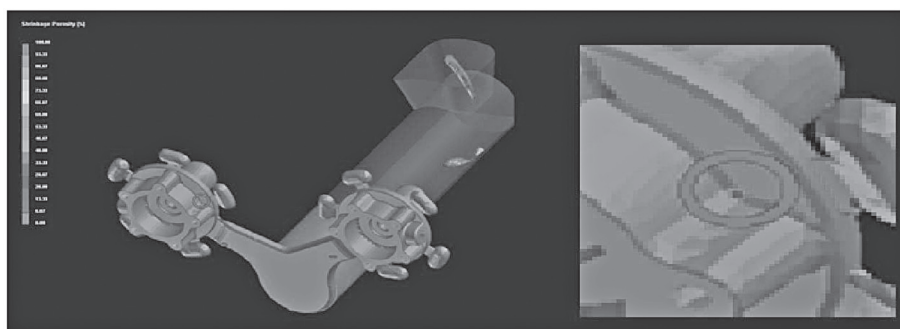


Рис. 3. Усадочная пористость с вероятностью до 3%

температурную упрочняющую термическую обработку.

Таким образом, в ходе выполнения работы разработаны основные детали литейной оснастки. На основе методов математического моделирования литейных процессов проведен анализ процесса заполнения и затвердевания отливки «Корпус датчика», определены места

наиболее вероятного образования пористости. Скорректированы основные детали литейной оснастки и технологические параметры процесса.

Использование полученных результатов в производстве позволит получить высококачественные литые детали с заданным уровнем свойств при значительном снижении литейного брака.