

Современные методы изготовления литейных моделей из пенополистирола

Целью настоящей статьи является желание еще раз обратить внимание на один из эффективных ресурсосберегающих литейных процессов, недостаточное внимание к которому отчасти объясняется слабым отражением его особенностей и преимуществ в отечественной технической периодике.



Среди последних промышленных способов получения отливок, созданных во второй половине прошлого века, литье по газифицируемым моделям (ЛГМ, по английской терминологии — Lost Foam Casting Process) уверенно расширяет свои объемы и географию внедрения. Россия и Украина имеют до двух сотен патентов по разным вариантам этой технологии, а ФТИМС НАНУ (г. Киев) является лидером в СНГ по ЛГМ-процессу, выполняющим проектирование и поставку для литейных цехов полного комплекса отечественного оборудования производительностью 100...5000 т отливок в год.

То, что жидкий металл не заливается в пустую полость литейной формы, а замещает пенопластовую модель в форме, чтобы там затвердеть в качестве отливки, составляет ноу-хау способа ЛГМ и меняет технологическое видение процесса литья. Если в традиционных видах литья точность размеров и чистота поверхности отливки являются производными, прежде всего, процесса формовки, то при ЛГМ-процессе качество пенополистироловой (ППС) модели служит главным определяющим фактором, а понимание этого — ключом к организации производства качественных точных отливок с меньшими трудовыми и материальными затратами.

Накопленный во ФТИМС НАНУ в течение ряда десятилетий опыт позволяет сегодня предложить вниманию литейщиков некоторые

соображения относительно производства моделей из ППС. Отметим для начала, что при ЛГМ искусства формовщика обычно не требуется, так как в большинстве вариантов ЛГМ формовка состоит из засыпки контейнерной опоки сухим песком с виброуплотнением. При этом все другие операции на литейном участке ЛГМ (кроме касающихся изготовления моделей и указанной простой операции формовки) аналогичны традиционным, включая шихтовку, плавку, заливку металла, очистку отливок и т.п., и обычно выполняются на стандартном оборудовании. При реконструкции литейного цеха с переходом на ЛГМ-процесс планировка участков не меняется.

пригодного как для ремонтного, так и для массового литья.

Вырезание модели из блочного ППС

Простой и легкодоступный способ изготовления модели на простейшем оборудовании — вырезание из блочного ППС нагретой проволокой. При получении единичной отливки, например, отливки детали для ремонта дорогостоящей или уникальной машины, этот способ является почти единственно приемлемым по экономическим и технологическим соображениям. Модель необходимой детали с учетом усадки металла, весом от десятков грамм до нескольких тонн, можно вырезать из ППС-плит по шаблонам. Если деталь пространственно-объемная, то модель изготавливается из частей и собирается в целое.

Особенности получения отливки по моделям, изготовленным резанием проволокой: 1) невысокая точность размеров; 2) шероховатость поверхности ППС модели в точности переходит на поверхность отливки; 3) сложность получения тонкостенных ребер (тоньше 3 мм); 4) узкие пределы выбора ППС по плотности, которая может отличаться для отливок из разных сплавов, т.к. блочный ППС, в основном, выпускается для строительной отрасли и имеет небольшую плотность; 5) сложность совмещения в единую конструкцию элементов модели, изготавливаемых по частям, особенно крупногабаритных и пространственно искривленных; 6) возможность изготовления отливки с толстыми стенками и элементами (толщина свыше 40 мм), что часто трудно получить другими способами. На рисунке 1 показаны примеры изготовления моделей вырезанием нагретой проволокой.



Для производства ППС моделей имеется четыре основных способа, выбор каждого из них зависит, прежде всего, от серийности и размера отливок. Исключительно низкая твердость и легкость обработки ППС плотностью 20...30 кг/м³, как конструкционного материала литейных моделей, в сочетании с кратко рассмотренными ниже указанными четырьмя способами объясняет высокую гибкость ЛГМ-процесса,

Фрезерование модели из плиты ППС

Изготовление модели из плиты ППС с использованием 3-координатного фрезерного станка с ЧПУ (3-D фрезера) является самым современным и универсальным способом получения резанием моделей крупногабаритных, сложных и точных отливок как при единичном, так и при мелкосерийном производстве. Модели, изготовленные фрезерованием, обеспечивают повторяемость размеров, повышенную чистоту поверхности модели, соответственно, и отливки. Еще одним преимуществом 3-D фрезеров является большая скорость резания, обеспечивающая гладкость поверхности резания, в том числе из-за расплавления тонкого слоя поверхности ППС. На рисунке 2 показаны примеры моделей, полученных на 3-D фрезере.

При изготовлении составных моделей для получения качественной отливки необходимо минимизировать количество и длину линий стыка, а также исключать в зонах стыковки скругляющие кромки на стыкуемых элементах, чтобы предотвратить затекание защитной краски в стыки. Такой методики следует придерживаться как для горизонтальных, так и вертикальных стыковочно-сборочных мест, последние желательно размещать в шахматном порядке для придания жесткости сборной модели. При изготовлении крупногабаритных отливок с толстыми стенками и элементами предпочтительно их делать составными (из половинок) и в местах утолщения модели организовывать пустоты, оставляя стенки толщиной не более 10-15 мм. Это уменьшит объем газа при газификации ППС. Меньший объем газов легче утилизировать (дожигать), при этом уменьшаются науглероживание поверхности и количество газовых дефектов в отливке, а также экономится время и энергия на откачку газов. Предпочтение при этом способе изготовления моделей отдают применению ППС плит с повышенной плотностью и мелкой зернистостью, отражаемой на поверхности модели малой шероховатостью. Защитная краска на модели, изготовленной из такого блочного ППС, легко наносится ровным слоем.

Автоклавный способ изготовления ППС моделей

Изготовление ППС моделей автоклавным способом или на полуавтоматах технологически отличается от выше рассмотренных методов тем, что исходный гранулированный ППС необходимо подготовить к использованию, подвспенить или активировать гранулы для получения модели необходимой плотности и качества.

Рекомендации к применению марки ППС в зависимости от вида материала отливки, составлены специалистами института по результатам многолетних исследовательских работ, исследования велись как с материалами отечественного производства, так и зарубежных производителей для получения отливок различного развеса из различных металлов.

Проведенные работы позволили внедрить ЛГМ-процесс на различных предприятиях и получить положительные результаты, подтвердившие его преимущества перед традиционными видами литья как по экономическим показателям, так и по качеству отливок. Скрупулезное соблюдение технологии гарантирует возможность получения до 97% годных отливок при тщательном соблюдении технологических инструкций ФТИМС, начиная от выбора марок ППС, режимов подвспенивания, хранения, изготовления модели, сборки, окраски, до заключительной части литейного цикла — выбивки.

Исходный полистирол рекомендуемой марки и размеров гранул можно подвспенивать (предвспенивать) на подвспенивателях конструкции ФТИМС или на автоматических подвспенивателях, выпускаемых в различных странах. Последние такие конструкции, разработанные конструкторами института, позволяют в полуавтоматическом режиме получать подвспененные гранулы полистирола заданной плотности от 15 до 50 кг/м³ и размеров диаметром от 0,5 до 3 мм. Некоторую сложность в зимнее время представляет пневмотранспортировка и задувка гранул в пресс-формы из-за повышенной влажности как самих гранул, так и окружающего воздуха. Доработка оборудования позволила преодолеть и эту проблему путем выдержки подвспененного до определенной плотности ППС в газопроницаемых

бункерах. В зависимости от марки ППС и климатических условий время стабилизации составляет от 2 до 24 часов.

При автоклавном способе изготовления моделей подвспененный и выдержанный ППС задувают в пресс-формы и спекают паром с температурой 110...130°C и давлением 110...125 кПа. Модельный ряд стандартных автоклавов по объему камер — на 100; 400; 700; 1000 дм³ (литров). Последние конструкции автоклавов имеют автоматику для контроля уровня воды в котле, температуры водяного пара, давления в камере, а также рекуператор пара.

Следует отметить, что ППС модели с элементами толще 30 мм сложно стабильно пропечь по толщине, что требует выполнения таких мест с пустотами внутри тела модели.

При изготовлении моделей для отливок из низкоуглеродистых (до стали 20) или нержавеющей сплавов желательно использование пенопластов сополимеров, например, на основе полиметилметакрилата (РММА), в частности под торговой маркой Clearpro, содержащего 70% РММА и 30% полистирола, хотя сополимеры на порядок дороже ППС. Чистый РММА имеет невысокую прочность, добавление к нему 30% полистирола или этилена повышает прочность материала до уровня ППС. Модели для получения тонкостенных отливок обычно изготавливают из более плотного подвспененного ППС, а для обеспечения меньшей шероховатости поверхности отливки применяют мелкозернистый подвспененный полистирол.

При проектировании пресс-формы из алюминия надо стремиться, чтобы ее стенки были приблизительно одной толщины и не более 15 мм — для равномерного спекания модели. Чем выше чистота формообразующих поверхностей оснастки, тем выше чистота модели и отливки, а также легкость извлечения модели из пресс-формы. Получить отливку ЛГМ процессом с наименьшей возможной шероховатостью, до 6 класса чистоты, можно, если поверхности пресс-формы и, соответственно, модели имеют шероховатость на класс выше. При конструировании пресс-формы учитывают усадку ППС и заливаемого металла.

Изготовленные модели перед окрашиванием и сборкой с элемента-

ми литниково-питающей системы (ЛПС) должны быть высушены. Сушильные шкафы конструкции ФТИМС обеспечивают качественную сушку без коробления и деформации. Высушенные модели после выхода порообразователя из ППС можно хранить долго (несколько месяцев) без потери технологических свойств и размеров. Для уменьшения прилипаемости и облегчения выемки модели из охлажденной пресс-формы поверхность ее предварительно перед задувкой ППС обрабатывают аэрозольной силиконовой смазкой. Но, в свою очередь, эта смазка, частично переходящая на поверхность испеченной модели, затрудняет нанесение противопожарной краски.

Расстановка технологического оборудования (автоклава, ванны охлаждения, рабочего стола, стеллажей для хранения пресс-форм и моделей, пневматического задувочного устройства, тары с подвешенным ППС) производится в соответствии с эргономическими и санитарными нормами. Установка вентиляционного зонта над автоклавом способствует сохранению гранул ППС сухими. На крупных модельных участках, где используют пневмотранспорт подачи подвешенного ППС из бункера вылеживания до расходной тары, на рабочем месте модельщика необходимо заземление или использование антистатического аэрозоля, иначе наэлектризованные гранулы не полностью заполняют пресс-форму. Сжатый воздух давлением 200...250 кПа, необходимый для задувочного устройства, должен быть сухим и без масла. Желательно наличие влаго- и маслоотделителя на пневмотрубопроводе.

Метод «теплого удара»

Самые недорогие и качественные ППС модели для крупносерийного производства получают методом «теплого удара» на полуавтоматах. Несколько вариантов полуавтоматов разработаны сотрудниками институ-

та, они соответствуют современным требованиям. Для их эксплуатации и обслуживания требуется квалифицированный персонал. К полуавтомату подводят магистраль сжатого воздуха давлением до 1000 кПа, сухого пара с температурой +135...150°C и давлением 130...150 кПа, воды для охлаждения с температурой до 30°C, вакуума с давлением 75...150 мм рт. ст., конденсатоотвода и пневмотранспорта подачи подвешенного ППС из бункера вылеживания до расходного бункера полуавтомата, электропитания 220/380 В, 50 гц.



Технология получения ППС модели методом «теплого удара» не схожа с изготовлением изделий из полиэтиленов, полиамидов и др. пластмасс на термопласт-автоматах, экструдерах и пресс-машинах. Поэтому для разработки пресс-форм для ППС модели на полуавтомат требуется знание существующих отличий в технологии получения изделий из газонаполненных полимеров, игнорирование которых приводит к излишним финансовым и трудовым затратам, уменьшению производительности и ухудшению качества модели. На рисунке 3 показаны типовые примеры отливок и моделей, которые получены в пресс-формах.

Пресс-формы для полуавтоматов бывают двух типов: ящичного и контурного. Самыми оптимальными по стоимости проектирования и изготовления являются контурные пресс-формы. При разработке пресс-формы тщательно согласовывают каналы подачи и отвода теплоносителя, охладителя, воздуха, а также герметизацию подвижных и неподвижных частей и элементов

пресс-формы. Грамотно сконструированная и изготовленная пресс-форма обеспечивает получение качественных моделей с наименьшими затратами.

Попутные технологии

При сборке ППС моделей отливок малого веса и размеров на общий стоек их располагают таким образом, чтобы обеспечивалась равномерность откачки газов при литье, качественное окрашивание и доступность для инструмента при обрубке или отрезке отливок. Опытные модельщики располагают такие модели на разных уровнях с угловым смещением как в вертикальной плоскости, так и в горизонтальной. Места установки моделей, прибылей и выпоров из ППС определяет технолог с учетом их оптимального действия и последующей отрезки. Для получения отливок с залитыми элементами крепления из другого металла (например, защитные плиты дробильных машин из высокопрочного чугуна с резьбовыми шпильками из стали) такие элементы (металлические шпильки) устанавливают в требуемые места в тело ППС модели до их покраски. Аналогично изготавливают отливки из алюминиевых или медных сплавов с элементами крепления из другого металла или в случаях установления внутренних или наружных холодильников для направленной кристаллизации металла при заливке. Создано целое технологическое направление введения «имплантантов» в модель для получения биметаллических и армированных отливок.

Важная технологическая роль при получении качественной отливки ЛГМ-процессом отводится специальному покрытию. Слой краски толщиной 0,6-1,0 мм служит своеобразным фильтром для пропуска газов от деструкции ППС модели, защитой от попадания формовочного материала в металл и противопожарной защитой поверхности отливки. Марки готовых красок, рецептура композиций и технология их приготовления в зависимости от вида металла, сложности и серийности отливки приведены в технологических инструкциях института.

Состав импортных красок не раскрывается, а патентный поиск показывает десятки конкурирующих вариантов без возможности их

гарантированного применения, что подтверждает важное (порой определяющее) их значение для обеспечения качества отливок.

В зависимости от марки краски выбирается режим сушки для получения ровного и прочного слоя. Модели, окрашенные краской на спиртовой основе, в летнее время не требуется сушить, в отличие от водных красок. Конструкции сушильных шкафов разработки ФТИМС обеспечивают качественное и быстрое осушение моделей без коробления и растрескивания краски в потоке теплого воздуха с температурой не более +35-40°C. Краски, в составе которых имеется декстрин, рекомендуется использовать в течение 72 часов после их приготовления.

Плотность краски перед применением должна быть в пределах 1,40... 1,65 г/см³ и тщательно перемешанной. Как показали исследования, при плотности больше 1,8 г/см³ краска после высыхания склонна к растрескиванию и осыпанию. Краску на модель можно наносить вручную, кисточкой, пульверизатором или окуна-

нием. При окрашивании окунаем желательно краске придать циркуляционное движение для равномерного покрытия, особенно на внутренних плоскостях модели. Подготовленные модели или модельные кусты с ЛПС подаются к месту формовки в специальной таре, обеспечивающей их сохранность как при транспортировании, так и при хранении.

Интересными и полезными для литейщиков могут быть разработанные в институте и подтвержденные практически весьма перспективные технологии модифицирования металла отливки (например, высокопрочного и специального чугуна) при ЛГМ-процессе, когда модель в своем объеме или на поверхности содержит модификатор, т. е. служит его носителем. Такой уникальной возможностью подачи на зеркало расплавленного металла модифицирующего материала по мере заполнения этим расплавом формы и газификации модели не обладает никакая другая технология литья. Модификаторы, преимущественно в порошковом виде, вносятся в объем ППС модели

или добавляются в краску для легирования поверхности отливки.

Обнадеживающие результаты получены при подвспенивании исходного ППС в СВЧ установках и при обработке его ультрафиолетовым облучением. Эти технологии экологически чище действующих, основанных на энергоемком нагреве гранул в кипящей воде или паре со свойственными им потерями тепла в окружающую среду. Указанные технологии повышают производительность подвспенивания гранул, позволяют автоматизировать процесс и получать гранулы с размерами в строго заданных пределах. Ученые ФТИМС опытным путем определили оптимальный спектр ультрафиолетовых лучей и скорость перемещения гранул исходного полистирола в зоне облучения. Внедрение этих технологий в производство планируется после полного завершения исследовательских работ и разработки конструкторской и технологической документации.

*В. С. Дорошенко, к.т.н.,
К. Х. Бердыев*

