

Современная технология литья металлических деталей арматуры с использованием моделей из пенополистирола

В. Дорошенко, Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев (dorosh@inbox.ru)

Издержки консерватизма

В России и Украине сегодня свыше 75% отливок металлических деталей получают, используя песчаные формы, которые при заливке в них металла выделяют газы, в основном состоящие из продуктов испарения и горения связующих материалов формовочного песка. При этом на предприятиях наших стран мало знают о «чистой» технологии получения металлических отливок высокой точности и сложности – литье в моделях из пенопласта. (Эту технологию также называют «литье по газифицируемым моделям» – ЛГМ, по-английски Lost Foam Casting Process.) Между тем, за 50 лет со времени своего возникновения годовой объем производства отливок в мире этим способом достиг 1,5 млн тонн.

Возникает законный вопрос: «Если эта технология столь прогрессивна, менее затратна и более экологична, если используемое технологическое оборудование – преимущественно отечественное и весьма несложное, то почему ЛГМ так медленно распространяется в отечественной производственной практике?» Виной тому, думается, обычный консерватизм литейщиков и машиностроителей, наряду с пока еще свойственной нам «экологической беспечностью». Наши литейщики попросту не привыкли к таким технологическим возможностям, а машиностроители – к такому подозрительно высокому качеству дешевого литья. Стереотипы, заложенные еще в институтах, тормозят понимание потенциала этой технологии. Ведь в теории литейного производства она отнесена в разряд «специальных видов литья», которых в вузах скопом изучается около десятка. Видимо, не случайно первым подал патент на ЛГМ не литейщик, а архитектор (Г. Шроер в 1956 г.). Наверно, литейщику трудно преодолеть стереотип о том, что можно лить не только в пустоту, а и на модель из пенопласта.

С другой стороны, видимая простота технологии ЛГМ обманчива. Порой, увидев эту технологию где-нибудь на чужом производстве, машиностроители пытаются воспроизвести ее у себя и, не получив приемлемого результата, начинают винить не свое незнание сути происходящего при литье, а сам его способ. Да, в технологии ЛГМ есть некоторые неочевидные тонкости, требующие глубокой проработки. Одновременно и очень быстро протекающие взаимосвязанные физико-химические, тепловые, газо-гидравлические процессы требуют понимания и направления их в нужное русло – именно на этом понимании зиждется тех-



Модель задвижки, в отличие от нее самой, легка, как пух

нология получения качественных, точных и недорогих отливок.

Конечно, во многих случаях более приемлемо и уж наверняка более привычно получать отливки в традиционных пустотелых формах, тем более к этому «склоняет» многолетняя практика; видна полость для заливки металлом, понятны и освоены в навыках протекающие процессы, известны все приемы получения отливок. Тем не менее, целый ряд преимуществ технологии ЛГМ должны в конце концов убедить специалистов, что нередко ею выгодно заменить традиционные способы литья в песчаные формы.

Плюсы литья в пенопласт

Итак, чем же хороша технология получения отливок с помощью моделей из пенопласта? В ней отсутствует вонь от горелых связующих полимеров, нет заливок по разьему формы (ибо разъемов не имеется) и смещения стержней и форм при сборке, т. к. отсутствуют сами стержни со всеми проблемами их производства и выбивки. Производственные участки: модельный, формовочный, плавильный, очистной – имеют примерно одинаковые площади и оснащаются простым оборудованием.

В литейном деле наиболее точные отливки получают, используя модели разового применения. Если при литье в песчаные формы применяют одноразовые формы, то

теперь пришло время одноразовых моделей из пенопласта. Такая модель похожа на упаковку для телевизора, продукт массовой автоматической штамповки. По примерно такой же технологии изготавливают модели из пенопласта для отливок из металла.

Для серии отливок такие модели изготавливают вдвухванием гранул пенополистирола в легкие алюминиевые пресс-формы (многоместные для мелких моделей) с последующим вспениванием и спеканием гранул путем нагрева пресс-форм в течение нескольких минут до 130°C. Алюминиевые пресс-формы можно изготавливать точным литьем, но чаще это делается путем механообработки. По пресс-формам можно изготовить тысячи пенопластовых моделей.

Для разовых и крупных отливок весом до нескольких тонн модели вырезают из плит пенопласта нагретой нихромовой проволокой по шаблонам или на гравировально-фрезерных станках с ЧПУ. Затем полистироловую модель покрывают быстросохнущей краской с порошком-огнеупором, склеивают с пенопластовым литником, помещают в контейнер с сухим песком, который облегает ее наружную поверхность, и заливают расплавленным металлом через упомянутый литник. При



Модели из пенопласта для литья ТПА

заливке полистирол испаряется, и модель замещается металлом. При этом металл затвердевает в виде отливки в неподвижном песке, который, облегая модель при засыпке песка (формовке), принял форму объемного «зеркального отображения» будущей детали.

Образующиеся при заливке металла газы из контейнера отсасывают насосом — разрежение поддерживают примерно на уровне 0,5 атм., одновременно это разрежение уплотняет и удерживает в неподвижном состоянии песок в процессе замещения модели металлом. Затем газы через трубу вакуумной системы подают для утилизации и обезвреживания в систему термо-каталитического дожигания. Там они окисляются примерно на 98% и в виде водяного пара и двуокиси углерода выбрасываются в атмосферу за пределами помещения цеха.

Традиционные формы после заливки металлом дымят в помещении, как ни вентилируй рабочую зону цеха. А удаление газов из сухого песка, согласно проведенным

измерениям концентраций примесей в воздухе цеха, в 10-12 раз снижает показатели загрязнений воздуха рабочей зоны цеха по сравнению с литьем в традиционные песчаные формы.

Формовочный кварцевый песок после извлечения остывшей отливки благодаря его высокой текучести обычно транспортируют по закрытой системе трубопроводов пневмотранспорта, исключая распыление его в цехе. Примерно треть его поступает в установку терморегенерации, где он освобождается от остатков конденсированных продуктов деструкции пенополистирола, а затем, смешиваясь с остальной частью, после охлаждения в проходных закрытых охладителях подается опять на формовку. В результате потери оборотного песка не превышают нескольких процентов — это просыпи, унос с отсасываемыми газами и т.п.

Значительную часть бункеров, трубопроводов и оборудования комплекса по охлаждению и складированию оборотного песка обычно монтируют за пределами помещения цеха у внешней его стены, при этом сухой песок, который не боится мороза, быстрее охлаждается на открытом воздухе. Изолирование в закрытых трубопроводах потока песка, отсасывание из формы и последующее дожигание газов в сочетании с чистым модельным производством дает возможность создать экологически чистые цеха высокой культуры производства.

Экологическая безопасность технологического процесса обеспечивается также исключением из него токсичных связующих веществ и большого объема формовочных и стержневых песчаных смесей (обычно от 2 до 4 т отработанной смеси со связующим веществом идет в отвал на 1 т литья), а также их транспортировки и выбивки отливок. Немного арифметики: 1 куб. м пенополистирола модели весит 25 кг. Если он замещается 7 т жидкого чугуна, то при этом на 1 т литья расходуется $25/7=3,6$ кг полимера. А в формах из смоляных холоднотвердеющих смесей при потреблении 3% связующего вещества на 3 т смеси, которая требуется для 1 т литья, расход связующего полимера составляет $0,03 \times 3000 = 90$ кг, что в $90/3,6 = 25$ раз больше!

Полученная отливка имеет высокую точность и конкурентный товарный вид. Держа в руках легкую модель, можно увидеть и промерить все «загогулины» будущей отливки, и скорректировать ее возможные огрехи, что



Модель и образцы отливок корпусов задвижек, выполненных по технологии ЛГМ



С помощью ЛГМ можно отливать самые разные виды и типоразмеры ТПА

при обычной формовке для сложных с несколькими стержнями отливок не сделать. Модель из пенопласта легче отливки из чугуна в $7000/25 = 270$ раз, возьмешь ее в руки – будто держишь пустоту, ту самую, которая затем превращается в металл.

Так как модели размещают в сухом песке на вибростоле, на котором песок уплотняется около 1-1,5 минут, то отпадает надобность в высокоточных формовочных машинах прессования и устройствах сборки форм. Акцент перенесен на изготовление легчайших моделей с плотностью материала 25-26 кг/куб. м, которое обычно доверяют женским рукам.

Для серийного производства отливок используются полуавтоматы, цикл производства пенопластовых моделей на которых составляет около трех минут. Они позаимствованы из упаковочной отрасли, где их используют для производства фасонной упаковки, легкой тары, а также декоративных панелей и элементов фасада зданий. Условия труда, подобные условиям упаковочного производства, вытесняют образ старой задымленной «литейки».

Таким способом получают отливки из чугуна и стали всех видов, бронзы, латуни и алюминия всех литейных марок. В ящике на «елке или кусте» могут сразу лить десятки отливок, как в ювелирном производстве, с почти ювелирной точностью. До 90% отливок можно применять без последующей механической обработки.

Потенциал экономии

Описанная технология весьма экономична в сравнении с традиционной. На 1 т литья расходуют 50 кг кварцевого песка, 25 кг противопригарных покрытий, 6 кг пенополистирола и 10 кв. м полиэтиленовой пленки. Низкие затраты на модельно-формовочные материалы позволяют экономить не менее 100 долларов на 1 т литья, размещение отливок по всему объему контейнера позволяет получать 70-80% годного литья, экономия шихты металла составляет 250-300 кг, электроэнергии – 100-150 кВт.ч, масса отливок снижается на 10-20% по сравнению с традиционной опочной формовкой.

Крупная экономия получается при литье сложных отливок из износостойких сталей (траки и детали гусениц, бронефутеровок, корпусные детали) так как резко снижаются затраты на их механообработку. Льют без ограничений на конструкции и конфигурации колеса, звездочки, головки и блоки цилиндров, патрубки бензиновых и дизельных двигателей, коленвалы, и др. Капитальные затраты на организацию и ввод в эксплуатацию производства сокращаются в 2-2,5 раза. Опыт запуска участков производительностью до 50-150 т/месяц показал, что срок их окупаемости не превышал 1-1,5 года.

Часто размещают такие участки при кузнях, термических и ремонтных цехах. Если создавать или реконструировать «литейку», то литье в моделях из полистирола – тот бизнес, где металл своим оборудованием и рабочей силой переводится в конкурентный товар. Страны, где металл производят из собственных руд путем углубленной его переработки, обретают шанс опередить конкурентов. По оценкам специалистов, если килограмм сырого металла стоит в среднем \$0,5, то килограмм обработанного металла в автомобиле или танке стоит уже \$50...100, а в самолете – \$1500...2000.

Технологические потоки и пространственное размещение моделей в объеме контейнерной формы удобно предварительно имитировать на ЭВМ, а при из-



Маховик задвижки, модель и отливка

готовлении модельной оснастки все чаще применяют 3D-графику для программирования станков с ЧПУ. Возрастающий поток патентной информации свидетельствует о серьезном интересе к этой технологии всех ведущих машиностроительных компаний.

Созданы, проектируются и внедряются в производство десятки видов конвейерных цехов, оснащенных манипуляторами и линиями непрерывного действия. Они хорошо зарекомендовали себя в автотракторном моторостроении, при литье трубопроводной арматуры и деталей насосов, корпусов электродвигателей, деталей коммунального машиностроения и др. Однако, чаще создаются небольшие производственные цеха, состоящие из модельного, формовочного, плавильного и очистного участков. Они оснащаются простым оборудованием, одинаковым для черных и цветных сплавов. В одном только Китае в 2006 году работало около 200 таких цехов.

Большинство крупнейших автопроизводителей Европы, Азии и Америки ежегодно используют в производимых автомобилях несколько сотен тысяч тонн точных отливок, полученных описанным способом. General Motors, Ford Motors, BMW, Fiat, VW, Renault и ряд других фирм полностью перешли в 1980-1990 годах на изготовление этим способом отливок блоков цилиндров, головок блока, впускных и выпускных коллекторов, коленвалов для наиболее массовых типов двигателей.

В отделе формообразования Физико-технологического института металлов и сплавов НАН Украины (ФТИМС) под руководством профессора Шинского О.И. спроектировали оборудование и запустили ряд участков в России, внедрили такое оборудование во Вьетнаме, создали крупный цех на 400 т/месяц в Днепрпетровске. На опытном производстве ФТИМС в Киеве льют черные и цветные металлы развесом 0,1-1500 кг до 50 т /месяц, отрабатывают технологию и оснастку для новых цехов, проектируют оборудование и линии под программу и площади цеха заказчика, которые затем поставляют литейным предприятиям под ключ. Выполняется пуско-наладка всего комплекса поставленного оборудования и внедрение технологии в этом цехе.

Производственный потенциал описанной технологии далеко не исчерпан. Она позволяет лить не только металлы и сплавы, но и получать композиты и армированные конструкции, которые обладают улучшенными характеристиками. При этом в модель предварительно

вставляют различные детали или материалы, которые формируют композит или армированную конструкцию, а наложение газового давления на жидкий металл увеличивает стабильность пропитки таких изделий со вставками на длину до 1 м.

Заключение

ЛГМ относится к тем высокотехнологичным производствам, которые способны обеспечить нашей стране выход из технологического отставания, преодолеть ситуацию, когда в отечественной экономике нарастает сырьевая составляющая, доминирует продукция с низкой добавленной стоимостью и снижается конкурентоспособность производства. Если в 80-е годы в структуре отечественной промышленности и товарного экспорта доля машиностроения составляла порядка 30...40%, а доля черной металлургии была в два-три раза меньше, то сегодня – наоборот.

Именно развитие литейного производства – это шаг к восстановлению и росту отечественного машиностроения, превращения страны из продавца полуфабрикатов в экспортера технологической продукции с большой добавленной стоимостью. Снижение зависимости национальной промышленности от импорта идей, технологий и товаров, реализация собственной программы инновационного развития позволит нам стать равноправными участниками глобальных инновационных процессов.