

Студент гр.104129 Морожанов Е.А.
Научный руководитель – Бежок А.П.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Метод литья по выплавляемым моделям, позволяющий изготавливать практически из любых сплавов различные, в том числе весьма сложные по конструкции и тонкостенные отливки, массой от долей грамма до сотен килограмм с высоким для литых изделий качеством поверхности и точностью размеров, известен с глубокой древности.

Достоинства метода дают возможность максимально приблизить отливку к готовой детали, а в ряде случаев получить её без дополнительной обработки перед сборкой. Традиционный метод ЛВМ основан на изготовлении отливок по выплавляемым восковым моделям. Для получения восковых моделей, как правило, необходимо изготовить специальную оснастку, а окупаемость такого производства может быть лишь в условиях большой серийности, устойчивости и неизменности конструкции деталей достаточно продолжительное время.

В том случае, если производство изменяется мобильно или нужно опробовать и отработать конструкцию детали или всего механизма, изготовить опытный образец или когда конструкция детали настолько сложна, что сложно изготовить даже восковую модель, необходимо использовать различные методы прототипирования, когда модель будущей отливки при помощи специального оборудования и программного обеспечения строится или выращивается непосредственно по компьютерной 3D модели.

Традиционный способ получения физических моделей будущих изделий – изготовление их из легко обрабатываемых материалов вручную или на обычных обрабатывающих станках. На изготовление модели затрачивается от нескольких недель до нескольких месяцев, что приводит к повышению затрат на разработку нового изделия и задержке сроков выпуска новой продукции. Развитием данного способа является получение деревянных или пластмассовых моделей на станках с ЧПУ по трехмерным моделям. Пластмассовые прототипы при этом можно использовать, например, в качестве выжигаемых моделей при изготовлении отливок из алюминиевых сплавов в гипсовые формы, а деревянные – для изготовления модельных комплектов при изготовлении отливок в песчано-глинистые формы. Получение прототипов на станках с ЧПУ может быть ограничено их сложностью. Тогда модель производится по отдельным частям, а затем собирается.

Быстрое прототипирование (Rapid Prototyping – RP) – это технологии, позволяющие получать физические детали и модели без инструментального их изготовления, в течение нескольких часов или дней, в зависимости от их размера и технологии прототипирования.

В настоящее время на рынке существуют различные RP-системы, производящие модели по различным технологиям и из различных материалов. Однако все системы быстрого прототипирования работают по схожему, послойному принципу построения физической модели. При этом системы производят разбиение трёхмерной модели на поперечные сечения (слои), а построение сечений детали слой за слоем снизу вверх, до тех пор, пока не будет получен физический прототип модели. Слои располагаются снизу вверх, один над другим, физически связываются между собой. Построение прототипа продолжается до тех пор, пока поступают данные о сечениях САД-модели.

Что касается литейного производства, то в промышленности широкое распространение получили технологии быстрого прототипирования на основе *лазерной стереолитографии (фотополимеризации), лазерного спекания и FDM-процесс (послойное наложение*

расплавленной полимерной нити). Применение этих технологий позволяет непосредственно получать материальные модели (макеты, копии) требуемой детали, минуя стадию традиционного изготовления деревянной оснастки. Модели «выращиваются» из синтетических материалов и затем используются для получения литейных форм для получения отливок по выплавляемым или выжигаемым моделям, либо в качестве литейной оснастки для формовки, например песчаных форм. *С помощью лазерного спекания песка могут быть получены также песчаные стержни и формы любой сложности для непосредственной заливки их жидким металлом.*

Рассмотрим основные технологии быстрого получения прототипов изделий.

Все, кто впервые сталкивается с понятием *Rapid Prototyping* - RP, сразу знакомятся с технологией *SLA*. Исторически эта первая технология быстрого прототипирования и существует целый ряд компаний развивающих это направление. Родоначальником и лидером на ранке *SLA* систем, является компания *3D Systems* (США). Процесс построения моделей осуществляется путем полимеризации (т.е. затвердевания) жидкого фотополимерного материала под действие лазера. В ёмкость, заполненную фотополимерным материалом, опускается столешница, на которой строится модель. Лазер очерчивает контуры модели согласно алгоритму конкретного слоя. Затем столешница опускается в бочку и создаётся новый слой. Процесс повторяется до полного изготовления детали.

При необходимости изготовления крупногабаритных изделий на рынке представлены *SLA* установки с большой камерой построения. Ёмкость бака – 263 л, максимальный размер прототипа 508×508×600 мм, толщина слоя 0,03 – 0,1 мм.

При использовании *SLS*- технологии (*Selective Laser Sintering* – спекание порошковых материалов при помощи CO_2 лазера) 3D объект создаётся из порошкообразных материалов - пластик, металл, нейлон и керамика. Лазерный луч, попадая на тонкий слой порошка, спекает порошковые частицы, которые формируют твердую массу, по форме соответствующую *CAD*-модели и определяющую геометрию детали.

Огромным преимуществом *SLS*-процесса является отсутствие так называемых поддержек при построении модели. В процессах *SLA* и *MJM* при построении нависающих элементов детали используются специальные поддержки, предохраняющие свежестроенные тонкие слои модели от обрушения. В *SLS*-процессе в таких поддержках нет необходимости, поскольку построение ведётся в однородной массе. После построения модели достаточно лишь высыпать остаточный порошок из внутренних полостей и модель готова к дальнейшей работе.

Недостаток процесса заключается в сложности повторного использования формообразующих материалов, а также в обязательном применении инертной атмосферы.

При помощи лазерного спекания кварцевого песка можно получать стержни и формы для заливки любой степени сложности. Спекание металлических порошков даёт возможность получения готовых изделий любой сложности размерами до 670 × 365 × 580 мм.

При *FDM*-процессе (*FDM* – *Fused Deposition Manufacturing* – послойное наложение расплавленной полимерной нити) термопластичный моделирующий материал подаётся через экструзионную (выдавливающую) головку с контролируемой температурой, нагреваясь в ней до полужидкого состояния. Выдавливающая головка наносит материал с высокой точностью тонкими слоями на неподвижное основание.

Разработчиком технологии *FDM* и производителем оборудования является компания *Stratasys*, США.

Благодаря безопасным технологиям и экологически чистым моделирующим материалам для эксплуатации оборудования *Stratasys* не требуются специальные условия. Это оборудование обычно размещают непосредственно в помещениях конструкторских отделов рядом с рабочими местами разработчиков. Толщина слоя от 0,178 до 0,33 мм в зависимости от материала. Модели из *ABS* сохраняют прочность при нагреве до 93 °С, из *PC* – до 127 °С,

из ULTEM 9085 – до 153 °С, а из PPSF – до 189 °С. Максимальные габариты изделия для установки модели Fortus 900 mc - 914 × 610 × 914 мм.

После завершения процесса изготовления элементы поддержки легко отделяются от модели механическим способом или вымываются специальным водным раствором в ультразвуковой или специализированной ванне. Технология, использующая водорастворимую поддержку, носит название WaterWorks™, применяется только компанией Stratasys, и реализована практически во всех производимых ею установках.

УДК 621.74:669.131.6

Экспериментальное исследование возможности модифицирования силуминов карбонатом стронция

Магистрант Русин О.А.

Научный руководитель – Задруцкий С.П.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Термодинамически установлена возможность проведения модифицирующей обработки расплава силумина карбонатом стронция в результате протекания результирующей реакции $2\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$. Определение рациональных технологических параметров рафинирующей обработки расплава алюминия карбонатом кальция проводилось экспериментальным путем.

Результаты экспериментов свидетельствуют что независимо от способа ввода карбоната стронция в расплав, с уменьшением размеров частиц порошка SrCO_3 , кинетика процесса модифицирования эвтектического кремния повышается, что, вероятно, связано с увеличением границы раздела $\text{SrCO}_3\text{-Al}$. Необходимо отметить эффективность интенсивного замешивания в расплав силумина порошка карбоната стронция при помощи импеллера или шумовкой. При использовании импеллера усвоение стронция происходит быстрее, чем при замешивании шумовкой. Так, получение полностью модифицированной структуры эвтектического кремния наблюдается после замешивания в расплав порошка карбоната стронция с размером частиц 60 мкм в количестве 0,5 % от массы обрабатываемого металла импеллером и вручную шумовкой в течение 3 и 5,4 мин соответственно. Модифицирование силумина путем ввода карбоната стронция на зеркало расплава нецелесообразно из-за низкой кинетики процесса. Так, после 30-ти минутной выдержки структура эвтектического кремния является частично модифицированной, причем с увеличением времени выдержки интенсивность перехода стронция в расплав снижается, что, вероятно, связано с утолщением оксидной пленки, являющейся изолятором на границе $\text{SrCO}_3\text{-Al}$. При вводе карбоната стронция в расплав с помощью погружного колокольчика наблюдается очень слабый барботаж, что говорит о низкой кинетике реакции $2\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} = 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$. Данное явление, вероятно, связано с накоплением в полости колокольчика в объеме порошка SrCO_3 продуктов реакции SrCO_3 с Al .

Одним из возможных путей повышения эффективности обработки расплава карбонатом стронция при использовании колокольчика является смешивание SrCO_3 с соединениями, обеспечивающими непрерывную экстракцию продуктов реакции карбоната с алюминием из колокольчика в ходе модифицирования. Таким соединением может являться карбонат кальция. Такой путь решения проблемы отличается простотой, вместе с тем может позволить использовать универсальный и широко распространенный в практике литейного производства колокольчик.