

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

УДК 621.74

А.В. Аверченков, Е.Н. Заблоцкая

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЕЙНЫХ МЕЛКОСЕРИЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАЛЫХ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОСЛОЙНОГО СИНТЕЗА

Рассмотрен типовой процесс проектирования литейной оснастки для производств разной серийности и различных видов литейных материалов. Отмечена эффективность совместного применения систем виртуального моделирования и аддитивных технологий. Рассмотрена возможность применения аддитивных технологий с целью разработки новых низкочастотных методов подготовки производства литейной оснастки из легкоплавких и композитных материалов.

Ключевые слова: аддитивные технологии, САД-системы, литейные формы, наукоемкое производство, формообразующие детали, прямое лазерное нанесение материала, высокоточное литье, малые инновационные предприятия, 3D-принтер.

В настоящий момент большинство крупных промышленных предприятий оказались не в состоянии выживать в конкурентной среде, и особое место стали занимать активно создаваемые машиностроительные малые инновационные предприятия (МИП), которые даже в кризисных условиях имеют возможность успешно развиваться и приносить прибыль. Обычно МИП имеет в составе технический отдел (конструктор, технолог), цех с металлообрабатывающим оборудованием, управление (руководитель, бухгалтер) и специализированное ПО - САД/САМ/САЕ-системы и системы PLM/PDM/ERP, получаемые, как правило, путем создания устойчивых механизмов взаимодействия с исследовательскими институтами, производственными предприятиями, региональными техническими университетами.

Поиск заказов проводится систематически или по мере освобождения ресурсов. Сроки их выполнения обычно сжатые, в связи с чем время на подготовку производства минимально. Поэтому именно МИПы заинтересованы в развитии и освоении новых способов производства.

На данном этапе развития техники возможности визуализации изделия высоки, но ее результаты не совершенны и не способны полностью заменить физическую модель изделия, которая позволяет оптимизировать будущий продукт с точки зрения технологического процесса, провести необходимые испытания на способность выполнения потенциальных функциональных требований. Часто изделия имеют уникальные формы, что требует сложной оснастки. Изготовление оснастки из дорогостоящих материалов путем удаления материала с заготовки (точение, фрезерование) или изменения его физической формы (ковка, штамповка) увеличивает стоимость и время технологического процесса. Поиски путей оптимизации данного процесса привели к развитию методов формирования трехмерных объектов посредством наращивания материала или изменения его фазового состояния. В отличие от традиционных методов металлообработки при таком способе происходит постепенное наращивание материала, которое заключается в нанесении слоя материала путем расплавления основы и присадочного материала [2].

Технологии, основанные на данном подходе, называют технологиями послойного синтеза (ТПС), но они более известны как аддитивные технологии (Additive Fabrication (AF) или Additive Manufacturing (AM)). В зарубежной литературе эти технологии получили название процессов быстрого прототипирования и производства. Они позволяют по-

строить прототип или физическую модель изделия сложной формы в соответствии с компьютерной 3D-моделью. Изготовленный материал имеет механические и физические характеристики, идентичные свойствам материала, полученного традиционными ковкой или литьем [3]. Благодаря смешиванию различных порошков во время технологического процесса возможно получение сложных композиций с уникальными эксплуатационными свойствами [4].

Системы прототипирования, основанные на аддитивных технологиях, работают по принципу построения физической модели:

1. Считывание геометрической информации из CAD-системы в формате STL.
2. Разбиение считанной трёхмерной цифровой модели на поперечные сечения с помощью специальной программы (как правило, поставляемой с оборудованием).
3. Построение созданных сечений детали до тех пор, пока не будет получен физический прототип цифровой модели (пока поступают данные о сечениях CAD-модели). Слои, расплoжённые поочередно один над другим, связываются между собой.

Принцип функционирования систем прототипирования, основанных на аддитивных технологиях, представлен на рисунке.



Рис. Функциональная модель аддитивного производства

Таким образом, аддитивные технологии обеспечивают возможность получения физических моделей и деталей без их инструментального изготовления, путём преобразования данных, поступающих из CAD-системы в RP-систему.

В опытном производстве преимущественно используются традиционные методы изготовления литейной оснастки - вручную или с применением механообрабатывающего оборудования. Это связано с тем, что на этапе разработки, когда будущее изделие еще не отработано и не утверждено, для изготовления его опытного образца не целесообразно создавать «правильную» технологическую оснастку под серийное производство. Такая оснастка в большинстве случаев оказывается разовой. В дальнейшем каждое приближение изделия к результату потребует новой оснастки, ведь переделать старую, созданную тра-

традиционным способом, невозможно или нецелесообразно. Применение новых методов получения литейных форм на основе технологий послойного синтеза дало возможность сократить время производства продукции. Используемые полимерные, металлические материалы позволяют проводить испытания, по результатам которых корректируется компьютерная модель.

Несмотря на дороговизну, применение данных технологий возможно на ограниченном пространстве и обеспечивает быстроту и простоту модификации технологического производства. Автоматизация решений для изготовления оснастки является основной задачей производства, особенно в деятельности малых инновационных предприятий в машиностроении. Вместе с тем в машиностроении достаточно остро стоит задача автоматизированной разработки литейных форм для производства высокоточных серийных изделий.

Для производства литейных форм для единичных и мелкосерийных деталей используют, как правило, технологии литья по выжигаемым или выплавляемым моделям, а также прямое изготовление с помощью аддитивных технологий. Однако поиск способов снижения себестоимости и упрощения техпроцессов всегда будет актуален. Особенно это касается малых инновационных предприятий, потенциал которых состоит в оптимизации производства при ограниченных материальных ресурсах и во вложениях в научные разработки, успешность которых дает им фору по отношению к крупным предприятиям.

Технология использования 3D-принтеров - наиболее популярных систем быстрого прототипирования на основе аддитивных технологий - имеет ряд недостатков и ограничений, помимо высокой стоимости оборудования. Постепенно нанося и просушивая слой за слоем порошок с силикатным связующим, получают жаропрочную корочку, которая служит формой для заливки. Однако качество моделей из воска не может служить эталоном, а для получения восковой модели требуется использование подпорок, снятие которых может повредить всю оснастку. Кроме того, данный процесс достаточно трудоемкий и не быстрый.

Альтернатива аддитивным технологиям – литье по выплавляемым моделям. Это способ получения оснастки, при котором происходит выжигание ее в печи. При этом мы получаем хорошее качество, точное повторение задуманного, возможность сделать только оболочку модели. Это требует громоздкого дополнительного оборудования, процесс происходит достаточно долго, остатки в печи могут испортить форму, а также сделанный образец нельзя охладить из-за риска появления трещин. Существует технология получения оснастки напрямую из литейного песка, но высокая стоимость оборудования перечеркивает явные достоинства метода.

Таким образом, очевидна потребность в разработке методов автоматизированной подготовки литейного производства для высокоточных изделий на основе прямого построения формы на 3D-принтере из композитных материалов, отличающихся следующим:

1. Относительно низкая себестоимость получаемой литейной формы.
2. Сжатые сроки технологической подготовки литейного производства.
3. Возможность производства в условиях небольших площадок инновационных предприятий без проектирования и строительства специальных лабораторий.
4. Отсутствие необходимости в закупке дополнительного оборудования.
5. Высокая точность получаемых отливок ввиду отсутствия удаляемых элементов 3D-модели.

Для разработки подобного метода спланирована серия экспериментов, позволяющих определить толщину форм из композитных материалов, необходимость дополнительного применения физических реагентов для повышения прочности стенок, конструктивные особенности литниковой системы и другие показатели и закономерности, анализ которых позволит разработать методику литья цветных металлов в низкобюджетные формы на ос-

нове аддитивных композитных технологий, методику конструирования литейных форм для цветных металлов на основе аддитивных технологий с прямым изготовлением частей форм на 3D-принтере, а также методики изготовления литейных форм для типовых и уникальных инновационных изделий.

В проведении серии экспериментов задействован принтер ZPrinter 450, воспроизводство прототипов в котором основано на методе склеивания порошков. Принтер позволяет создавать трехмерные модели различных объектов с точностью 0,1 мм при использовании 180 тыс. цветов, вертикальной скорости построения изделия 23 мм/ч и размерах объекта 203x254x203 мм с применением высококачественных композитных материалов. Разработанная первоначальная твердотельная модель может быть при необходимости обработана отвердителем для последующего использования [1].

Основное внимание было уделено поиску необходимых материалов, так как площади и возможности малых машиностроительных предприятий ограничены. Теоретический выбор металлов сузился до свинца ($T_{пл}=327\text{ }^{\circ}\text{C}$) и олова ($T_{пл}=232\text{ }^{\circ}\text{C}$). Они имеют определённые плотность, прочность на разрыв, химическую инертность, вакуум-плотность, теплопроводность, позволяющие их использовать в литейном деле для производства выплавляемых моделей. Также был проведен поиск способов технической обработки рабочего слоя полученных из данных материалов форм, что дало возможность получать в лабораториях довольно качественные литейные формы.

Разработанные таким образом низкобюджетные формы для выплавки литейных наукоемких изделий позволяют повысить конкурентоспособность продукции в современных условиях, а также проводить работы по проектированию, изготовлению и литью легкоплавких материалов. Доработанный метод может быть применен в условиях малых инновационных предприятий для промышленного производства малых партий литейных изделий из легкоплавких материалов, а также в лабораториях университетов - для выполнения научной и учебной работы сотрудников, студентов и аспирантов. Полученная новизна способна открыть новое направление в области подготовки производства литейной оснастки на основе использования аддитивных технологий, применение которых в условиях МИП может способствовать развитию потенциала предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверченков, В.И. Инновационные центры высоких технологий в машиностроении: монография / В.И. Аверченков, А.В. Аверченков, В.А. Беспалов, В.А. Шкаберин, Ю.М. Казаков, А.Е. Симуни, М.В. Терехов. – Брянск: БГТУ, 2009. - 180 с.
2. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки / А.Г.Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров; под ред. А.Г. Григорьянца. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 664 с.
3. Mazumder, J. Closed loop direct metal deposition: Art to part / J.Mazumder, D.Dutta, N.Kikuchi, A.Ghosh // Optics and Lasers in Engineering. - 2000. - № 34. - P. 397-414.
4. Thivillon, L. Potential of direct metal deposition technology for manufacturing thick functionally graded coatings and parts for reactors components / L.Thivillon, Ph.Bertrand, B.Laget, I.Smurov // Journal of Nuclear Materials. - 2009. - № 385. - P. 236-241.

Материал поступил в редколлегию 18.07.14.