

УДК 621.746.6

Т. Л. Тринева

ЗАО «Верификационные модели», Харьков

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗМЕРНОЙ ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ (RAPID PROTOTYPING)

Использование литейной оснастки, полученной с помощью технологий быстрого прототипирования (Rapid Prototyping), позволит достигнуть получения качественных отливок как по плотности, так и размерной точности за счет возможности регулирования условий затвердевания отливок. Для обеспечения изготовления литейной оснастки заданной размерной точности предложено при ее проектировании учитывать поправочный коэффициент отклонений - $K_{откл}$. Приведены рекомендации по поводу расположения 3D моделей, элементов одной сборки литейной оснастки, которые обязательно должны располагаться в одной оси координат X, Y, Z стола построения установки, минимизируя этим отклонения выбранного способа построения используемых установок и их материалов, что влияет на геометрию формообразующей поверхности отливки, размерную точность, а также собираемость элементов литейной оснастки.

Використання ливарного оснащення, одержаного за допомогою технологій швидкого прототипування (Rapid Prototyping), дозволить досягти отримання якісних виливків як по щільності, так і по розмірній точності за рахунок здатності регулювання умов процесу твердіння виливків. Запропоновано щодо забезпечення виготовлення ливарного оснащення очікуваної розмірної точності враховувати при його проектуванні поправочний коефіцієнт відхилень - K_v . Зроблено застереження що до розташування 3D моделей, елементів однієї збірки ливарного оснащення, котрі обов'язково повинні розташовуватися в одній вісі координат X, Y, Z столу побудови установки, мінімізуючи цим відхилення обраного способу побудови, вживаних установок та їх матеріалів, що впливає на геометрію формоутворюючої поверхні виливка, розмірну точність, а також збираємість елементів ливарного оснащення.

Use the foundry rig, got by means of technology quick prototyping (Rapid Prototyping) will allow to reach the receptions qualitative from the casting both on density, and on dimensioned accuracy to account of the possibility of the regulation of the conditions of hard casting. It is Offered, for ensuring the fabrication foundry rig given dimensioned accuracy, take into account under her (its) designing corrective factor deflections - K_k . The Broughted recommendations, on cause of the location 3D models, element of one as-sembly of the foundry rig, which without fall must in one axis of the coordinates H, Y, Z table of the building of the installation, minimizing this, deflections of the selected way on constructions, used installation and their material that influences upon geometry form surfaces of the casting, accuracy, as well as element of the rig.

Ключевые слова: технология быстрого прототипирования (Rapid Prototyping), поправочный коэффициент отклонений - $K_{откл}$, 3D модели, стол построения установки, композитные материалы - КМ, метод стереолитографии, метод селективного лазерного спекания.

Проблема выпуска качественных отливок по плотности и качеству формообразующих поверхностей (шероховатость, соблюдение геометрии), а также по размерной точности является постоянным предметом исследований литейщиков.

Данной теме посвящены труды многих авторов [1-10], которая остается актуальной и на сегодняшний день как в Украине, так и зарубежом. Поэтому постоянно ищутся новые пути для решения данной проблемы.

Привлечение новых технологий в литейное производство (как и в любую отрасль машиностроения) является одним из эффективных решений получения качественных отливок, поэтому появившиеся в Украине в 2000 г. такие технологии быстрого прототипирования (Rapid Prototyping), как селективное лазерное спекание (SLS) полиамидных и металлических порошков, воспроизводимых установкой Vanguard HS, и лазерная стереолитография (STL), воспроизводимая установкой SLA-5000, не могли не привлечь внимания литейщиков, особенно в таком узком вопросе данной отрасли, как изготовление литейной оснастки.

В машиностроительной промышленности все больше заметна тенденция к сокращению однотипных деталей в партии при увеличении номенклатуры выпускаемых изделий, для изготовления которых нужна оснастка, причем с высокими требованиями изготовления.

В условиях индивидуального и мелкосерийного производств среди многих технологических факторов, влияющих на размерную точность отливок, особое значение имеет правильный и достаточный их учет еще при проведении анализа изделия с учетом предъявляемых к нему технических требований. Это необходимо для определения вида литья, а отсюда и выбора литейной оснастки, способной обеспечить предъявляемые требования к изделию.

Рассматривая технологии быстрого прототипирования в данном аспекте, прежде всего, обращаем внимание на возможности применяемых технологий, а именно:

- свойства материала;
- точность воспроизведения;
- время изготовления;
- габаритные размеры воспроизведения;
- стоимость изготовления.

Вышеперечисленные вопросы, возникающие при выборе способов изготовления литейной оснастки, способной решить вопросы увеличения выпускаемой номенклатуры изделий (быстрый ее выпуск) при повышении качества отливок, являются актуальными при выборе тех или иных новых технологий, а именно, насколько эффективным будет в данном случае их применение.

В данном случае краткая характеристика для воспроизведения изделий с помощью рассматриваемых технологий быстрого прототипирования (Rapid Prototyping) следующая:

- стереолитография (STL - stereolithography) - материалом воспроизводимых изделий является фотополимерная смола, габаритные размеры стола построения - 508×508×508 мм, точность воспроизведения получаемых изделий составляет $\pm 0,05$ мм;

- лазерное спекание порошков (SLS - Selective Laser Sintering) - материалом воспроизводимых изделий являются металлические порошки (ST-100 и A6), габаритные размеры стола построения - 220×200×140 мм, точность изготовления «выращиваемых» изделий - $\pm 0,3$ мм; полиамидные порошки (Dura Form PA и Dura Form GF), габаритные размеры стола построения - 380×320×450 мм, точность изготовления «выращиваемых» изделий - $\pm 0,4$ мм.

Анализ предлагаемых технологий быстрого прототипирования со стороны точности воспроизведения изделий показал, что технологии селективного лазерного спекания (SLS - Selective Laser Sintering) полиамидных и металлических порошков для изготовления литейной оснастки, на первый взгляд, не подходят, исходя из требований на точность изготовления литейной оснастки, изложенных в ГОСТе 26645-89, требующих воспроизводить изготовление литейной оснастки с точностью на несколько классов выше точности изготовления отливки, причем класс точности изготовления оснастки возрастает в зависимости от количества составляющих деталей оснастки, а также от сложности формобразующих поверхностей отливок.

Однако, с другой стороны, большой интерес к данным технологиям возникает как из-за

скорости воспроизведения изделий, имеющих сложную формообразующую поверхность, так и из-за материалов, с которыми работают данные технологии.

При изучении внедрения данных технологий в отрасли машиностроения было изучено так называемое «узкое место» [11], то есть вопрос расположения воспроизводимого изделия на столе построения установки, который рассматривался авторами работ [12-14], со стороны чистоты воспроизведения поверхности изделия и времени его построения, а отсюда влияние данных факторов на себестоимость изготавливаемого изделия.

Для оценки получения качественных отливок, кроме параметров шероховатости поверхности и плотности отливки, важны еще такие факторы, как размерная точность отливки, а также соблюдение правильности геометрии формообразующих поверхностей отливки. На соблюдение этих параметров и было направлено изучение данных технологий.

Контрольные замеры выпускаемой литейной оснастки, а также изделий, изготовленных методом быстрого прототипирования, а именно методом стереолитографии, воспроизводимых на установке SLA-5000, и селективного лазерного спекания металлических и полиамидных порошков, воспроизводимых на установке VANGUARD HS, показали, что численные значения размерных отклонений по осям X, Y, Z неодинаковы и их размерные отклонения зависят от расположения изделий на столе построения, а также от материала оснастки.

Для коррекции этих отклонений введено понятие поправочного коэффициента отклонения и определены его численные значения, с учетом которых при проектировании можно достигнуть значительного повышения точности изготовления литейной оснастки, что даст возможность минимизации припусков на механическую обработку отливок со сложной формообразующей поверхностью до 1 мм.

Численные значения коэффициента отклонений для изделий, изготовленных на установках стереолитографии SLA-5000 и селективного лазерного спекания металлических и полиамидных порошков VANGUARD HS, приведены в таблице.

Параметры коэффициента отклонений

Наименование установок	Материал	Гарантированный допуск, мм	Коэффициент отклонений – $K_{откл}, \%$		
			X	Y	Z
SLA-5000	фотополимерная смола	$\pm 0,05$	$-0,05 \div -0,25$	$0,05 \div 0,15$	$0,10 \div 0,30$
Vanguard HS	Dura Form, Dura Form GH (полиамидный порошок)	$\pm 0,40$	$0,80 \div 1,30$	$0,15 \div 0,45$	$1,15 \div 2,30$
	ST-100, A6 (металлический порошок)	$\pm 0,30$	$0,80 \div 1,10$	$0,35 \div 0,60$	$1,10 \div 2,30$

На рис. 1. приведен пример рекомендуемого расположения элементов литейной оснастки.

Учетные отклонения размеров по осям ординат при проектировании элементов литейной оснастки должны соответствовать осям ординат стола построения применяемой установки рассматриваемых технологий быстрого прототипирования.

Те же самые условия должны распространяться на все детали, входящие в сборку, что показано на рис. 2, или на «общую» деталь, которую из-за недостаточного возможного размера на столе построения необходимо разделить на n -число частей с дальнейшим соединением (рис. 3).

Сборку литейной оснастки проводили на отливке «Колесо насосное 1-й ступени»,

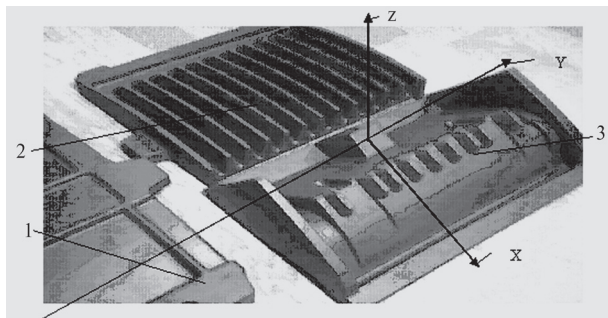


Рис. 1. Расположение элементов литейной оснастки: оси X, Y, Z - ординаты расположения CAD-моделей на столе построения выбранной установки, а также расчета их численных размеров при проектировании; 1-3 - элементы литейной оснастки (сборки)

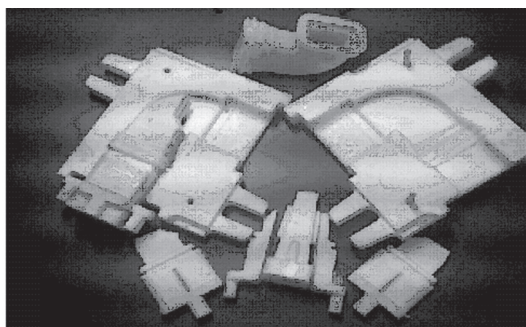


Рис. 2. Детали, входящие в сборку

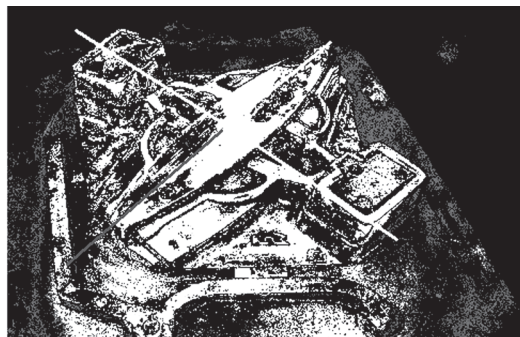


Рис. 3. Общая деталь

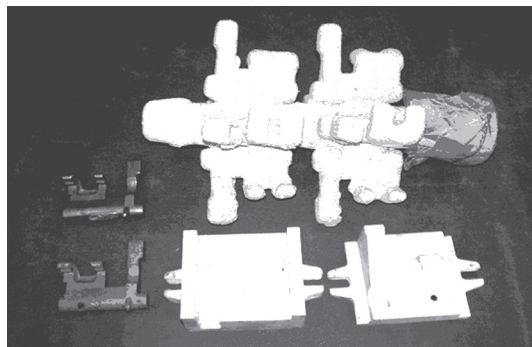


Рис. 4. Пресс-форма для выплавляемых моделей

данного материала в данном случае решалась за счет минимизированной толщины стенок пресс-формы по всему ее периметру, что показало возможность эффективности применения данного материала и методов быстрого прототипирования для изготовления точной литейной оснастки.

изготовленную из металлического порошка на установке VANGUARD HS. Проведенные замеры размеров на цифровой установке «Имметрик» показали различные отклонения стыковочных размеров элементов одной сборки, что произошло вследствие различного их расположения на столе построения.

Так, модельная оснастка (рис. 3), полученная методом селективного лазерного спекания из полиамидного порошка, точность изготовления которой составляет $\pm 0,1$ мм на максимальный размер 370 мм, показывает достаточно высокие показатели по количеству формовок (50 000 съемов) при сохранении стабильности размеров оснастки (данные получены с ОАО «АРМАПРОМ»). Время изготовления данной оснастки на установке VANGUARD HS составляет несколько часов.

Учитывая вышесказанные особенности построения изделий, оказывающие прямое влияние на размерную точность воспроизведения изделий установками технологий быстрого прототипирования, а также влияние величины шага построения, от которого зависит не только размерная точность изделия, но и шероховатость поверхности «выращиваемого» изделия, что рассматривалось в статье [15], можно рекомендовать технологии быстрого прототипирования и их материалы для изготовления пресс-форм для выплавляемых моделей с точностью изготовления $\pm 0,1$ мм. На рис. 4 изображена пресс-форма для выплавляемых моделей со сложной формообразующей поверхностью, которая была изготовлена методом селективного лазерного спекания на установке VANGUARD HS за несколько часов из полиамидного порошка.

Теплопроводность пресс-формы из полиамидного порошка в 1,8 раза ниже алюминиевых пресс-форм, но больше чем в 3 раза пресс-форм из композитных материалов на основе эпоксидных смол. Возникшая проблема теплопроводности



Список литературы

1. Оболенцев Ф. Д. Точность и качество поверхности отливок. - М.: Машгиз, 1962. - 152 с.
2. Точность отливок / Под ред. Б. Б. Гуляева. - М.: Машиностроение, 1960. - 205 с.
3. Яценко Л. Л. Точность отливок и эффективность литейного производства. - Л.: Машгиз, 1981. - 278 с.
4. Вейник А. И. Термодинамика литейной формы. - М.: Машиностроение, 1968. - 336 с.
5. Вейник А. И. Тепловые основы теории литья. - М.: Машгиз, 1953. - 384 с.
6. Вейник А. И. Техническая термодинамика и основы теплопередачи. - М.: Машиностроение, 1964. - 268 с.
7. Дубинин Н. П., Беликов О. А., Вязов А. Ф. и др. Кокильное литье: Справочное пособие. - М.: Машиностроение. - 1967. - 459 с.
8. Машков А. К. К проблеме кокиля. - Омск: Зап.-сиб. изд-во, 1975. - 108 с.
9. Айзенкольб Ф. Порошковая металлургия. - М.: Металлургиздат, 1959. - 518 с.
10. Карножицкий В. Н. Контактный теплообмен в процессах литья. - Киев: Наук. думка, 1978. - 300 с.
11. Васильев Ф. А. Автоматизация процесса подготовки моделей для быстрого прототипирования // Литейн. пр-во. - 2004. - № 4. - С. 24-25.
12. Васильев Ф. А. Толщина слоя как параметр процесса лазерной стереолитографии // Там же. - 1999. - № 7. - С. 14-16.
13. Васильев В. А., Васильев Н. В. Сравнительный анализ методов быстрого послойного прототипирования // Литейщик России. - 2004. - № 10. - С. 34-40.
14. Васильев В. А., Васильев Н. В. Сравнительный анализ методов быстрого послойного прототипирования // Там же. - 2005. - № 8. - С. 34-39.
15. Тринева Т. Л. Rapid Prototyping (RP). Технологии получения твердотельных 3-D CAD моделей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2004. - № 6 (12). - С. 37-40.

Поступила 11.02.2009

УДК 621.744.362

П. В. Русаков

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВИБРОФОРМОВОЧНЫХ МАШИН С ПЕРЕМЕННОЙ ПРИСОЕДИНЯЕМОЙ МАССОЙ

Рассмотрена модель и разработано устройство для вибрационной формовки с двухконтурной системой регулирования параметров вибрации. Построение реологической модели вибрационного уплотнения сыпучей среды проведено с учетом эффекта динамического перехода двухмассной механической схемы (форма - рабочий орган) к схеме с одной консолидированной массой. Экспериментально обоснован ввод в систему управления функциональных корректирующих звеньев, учитывающих степень и физико-химическую природу загрязнения песка продуктами разложения моделей и его независимым увлажнением. Предложен практический способ управления вибрационной формовкой с циклично линейным заданием частоты вибрации в условиях направленной синхронизации вибровозбудителей рабочего органа.

Розроблено вібраційний стенд для формовки сипких сумішей з двоконтурною системою регулювання параметрів вібрації. Побудова реологічної моделі стенду проведена з урахуванням ефекту динамічного переходу двомасної схеми (форма - робочий орган) до схеми з об'єднаною масою. Експериментально обґрунтовано введення в систему елементів для корекції параметрів вібрації що, враховують ступінь і фізико-хімічну природу змін складу