

*В. ГУПТА¹, д-р философии, доц.
Д.Ж. СИНГХ¹, д-р философии, доц.
Д. МУДГАЛ¹, д-р философии, доц.
М. Л. ХЕЙФЕЦ², д-р техн. наук, проф.
Н. Л. ГРЕЦКИЙ²
Д. Н. ХИЛЬКО³*

¹ Тхапарский инженерно-технологический институт (Патнала, Индия)

² Институт прикладной физики НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

³ ООО «Штрабаг инжиниринг центр» (Минск, Беларусь)

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Аннотация

Проведен анализ методов получения деталей машин без формообразующей оснастки. Показано, что процессы послойного синтеза требуют, кроме изучения технологии получения изделия из конструкционных материалов, разработки информационных технологий их моделирования. Рассмотрена последующая постобработка изделий, полученных послойным синтезом. Предложено разрабатывать комплекс метрологических и технологических решений, который включает оценку рельефа шероховатости поверхностей, его оптимизацию с целью сглаживания ступенек, скругления кромок, а также шлифование и полирование поверхностей.

Ключевые слова: аддитивное производство, качество изделий, геометрические параметры, метрологическое обеспечение.

Введение. Изготовление масштабных макетов, прототипов и заготовок деталей машин из различных материалов с рабочими поверхностями сложного профиля без использования дорогостоящей формообразующей оснастки, сокращая стадии метрологической и технологической подготовки производства, наилучшим образом удовлетворяет требованию снижения материальных и трудовых затрат [1, 2].

Основные направления развития методов послойного синтеза изделий. Изучение методов получения деталей машин без формообразующей оснастки, сравнение их преимуществ и недостатков, определение областей рационального применения синтезируемых изделий позволили выделить три основных направления развития методов послойного синтеза изделий, связанные с применением [3, 4]:

– концентрированных потоков энергии в качестве источников формообразования;

- различных видов и форм материалов заготовки;
- распределения потоков энергии по поверхности и глубине обрабатываемого объекта.

В результате при проектировании технологии послойного синтеза применяются как методы получения деталей из конструкционных материалов, использующие концентрированные потоки энергии, так и методы автоматизации и управления процессами оперативного макетирования и производства изделий [5, 6].

Анализ с позиций использования концентрированных потоков энергии в качестве источников формообразования (*первое направление развития*) особенностей традиционных методов получения деталей машин без формообразующей оснастки стереолитографией (Stereolithography Application - SLA), селективным лазерным спеканием (Selective Laser Sintering - SLS), послойной заливкой экструдированным расплавом (Fused Deposition Modeling - FDM), послойным формированием моделей из листового материала (Laminated Object Manufacturing - LOM) и другими процессами позволил рассмотреть частные и выделить общие принципы построения различных методов технологии послойного синтеза [2, 7].

Рациональное разбиение на слои изделия для послойного синтеза. Для повышения качества поверхности формируемого изделия и снижения длительности процессов макетирования и производства (SLA, SLS, FDM, LOM и др.) с позиций видов и форм заготовок применяемых материалов (*второе направление развития*) рассмотрено рациональное разбиение на слои, с учетом оценки качества поверхности, зависящей от формы изделия.

Анализ разбиения в различных методах послойного синтеза обеспечивает выбор наиболее рациональных процессов макетирования и производства конкретного изделия [3].

Рассмотрим схему алгоритма разбиения изделия на слои. Она состоит из блоков:

1. Компьютерная модель изделия, включающая его геометрическое описание, определение критериев оптимальности конструкции путем выявления «мертвых» зон для потоков энергии или вещества, в которых достижение требуемых параметров качества поверхности проблематично.

2. Выделение слоя максимально возможной толщины $h_{\max}$ с проверкой и корректировкой слоя, если он является последним. При этом рассматривается разбивка на слои одинаковой толщины и с разными углами наклона кромок, вписанных в геометрический профиль (рис. 1, а), и неравномерной толщины различных слоев (рис. 1, б). Разбивка непосредственно влияет на геометрические параметры качества поверхности ($R_{\max}$, R_z , R_a и др.).

3. Оценка рельефа поверхности $R_{\max}$ по периметру слоя осуществляется путем проверки параметров качества поверхности, получаемых в текущем слое.

4. Корректировка путем изменения толщины слоя с использованием коэффициентов понижения α производится при недопустимых параметрах

рельефа поверхности (например: $\alpha = 0,7...0,8$ для SLA- и SLS-процессов; $\alpha = 3/4, 1/2, 1/4, \dots$ - для FDM- и LOM- процессов).

5. Присоединение слоя к предыдущему или подложке сопровождается проверкой сцепления текущего слоя с предыдущим по размеру площади перекрытия слоев.

6. Проверка завершения синтеза изделия заканчивает цикл послойного «выращивания» и подсчитывает общее количество слоев изделия.

7. Верификация модели – завершающий этап компьютерного сопоставления «выращенной» модели и исходной.

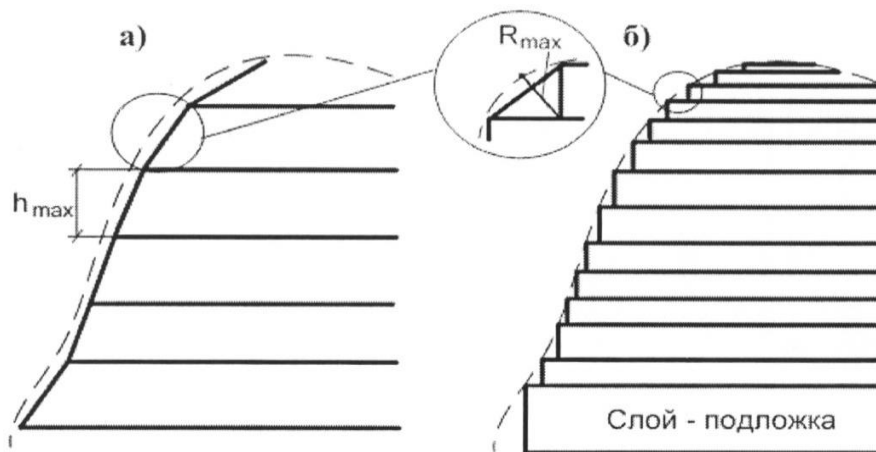


Рис. 1. Схема разбиение изделия на слои

Расчет общего количества слоев (блок 6) позволяет оценить эффективность процесса, выбираемого для послойного синтеза изделия заданной формы одним из предлагаемых методов (SLA, SLS, FDM, LOM и др.). Верификация модели послойного синтеза (блок 7) дает возможность проверить удовлетворение требований к геометрическим параметрам качества сложнопрофильных поверхностей, заложенных в компьютерную модель изделия (блок 1).

Регулирование толщины слоя (блок 4) и угла «разделки» его кромок (блок 2) позволяет управлять геометрическими параметрами качества сложнопрофильной поверхности (блок 3) и вносить корректировки в начальный выбор метода оперативного макетирования и производства.

Проверка сцепления слоев изделия в ряде случаев требует, помимо определения площади их перекрытия (блок 5), также анализа рельефа плоской или сложнопрофильной поверхности. Последний вариант обычно используется при нанесении оболочек или покрытий на послойно «выращенное» изделие, а также при последующей абразивной обработке.

Обеспечение параметров качества при послойном синтезе. Существуют различные способы последующей абразивной обработки поверхностей деталей, полученных методом послойного синтеза.

Технология галтовки, благодаря своей высокой универсальности применения для деталей, произведенных методом SLA, SLS, FDM, LOM и др. из полимерного и металлического материала, является наиболее предпочтительным решением. В зависимости от геометрии обрабатываемой детали и требований к качеству желаемые свойства поверхности могут быть получены как при массовой, так и при единичной обработке. При этом важно в каждом случае уже в процессе разработки учитывать поставленные требования к поверхности изделия и разрабатывать соответствующие средства контроля.

В качестве примера последующей абразивной обработки изделий, полученных послойным синтезом, рассмотрим оборудование и расходные материалы производителя AM Solutions (рис.2).

Галтовочная установка лоткового типа M1 Basic (рис.2, а) предназначена для сглаживания и полирования поверхности деталей, изготовленных послойным синтезом с использованием металла и полимера. Благодаря своей компактности и удобства в обслуживании для пользователя, M1 Basic легко встраивается в любую существующую производственную линию.



Рис. 2. Оборудование (а, б) и абразивные элементы (в) производителя AM Solutions для последующей абразивной обработки изделий, полученных послойным синтезом

Центробежная галтовочная установка МЗ (рис.2, б) предназначена для высокопроизводительной и, в то же время, равномерной финишной обработки поверхности деталей со сложной геометрией, изготовленных послойным синтезом. Оснащена автоматической системой загрузки и выгрузки технологических средств.

Технологические средства, такие как керамические и пластмассовые абразивные элементы (рис.2, в), компаунды должны быть индивидуально адаптированы к каждому типу деталей исходя из материала, геометрической формы, требований к качеству поверхности и метода их изготовления.

Состав технологической среды определяет производительность процесса шлифования и качество обрабатываемой поверхности.

Конфигурация детали, подлежащей финишной обработке, определяет геометрическую форму и типоразмер требуемого абразивного элемента. Правильно подобранная геометрическая форма абразивного элемента и ее контроль в процессе применения на определение степени износа гарантирует, что все поверхности детали будут обработаны одинаково, и исключает застревание его во внутренних полостях детали. Форма абразивного элемента и ее изменение при изнашивании влияет на производительность процесса постобработки и шероховатость поверхности. Угловые и с резкими переходами абразивные тела более агрессивны, чем закругленные.

Размер и вес абразивных тел являются ключевыми факторами, определяющими производительность. Большие и тяжелые абразивные элементы способствуют интенсификации процесса обработки деталей, но обеспечивают невысокую чистоту поверхности. Небольшие и легкие тела менее агрессивны и больше подходят для полирования поверхностей.

После завершения процесса обработки абразивные тела необходимо полностью отделить от деталей. Сепарация – наиболее распространенный метод разделения, применяемый в галтовочных установках. Магнитные детали можно отделять при помощи магнитной сепарации.

Заключение

В результате анализа методов получения деталей машин без формообразующей оснастки показано, что процессы оперативного макетирования и производства, кроме изучения технологии получения изделия из полимерных и металлических материалов для масштабных макетов и легко разрушаемых прототипов деталей машин, требуют разработки информационных технологий их моделирования, производства и контроля.

Для обеспечения высокой точности геометрической формы рекомендован алгоритм разбиения изделия на слои различной толщины, учитывающий разделку их кромок под углом. Рассмотрена последующая абразивная постобработка изделий, полученных послойным синтезом. Предложено разрабатывать комплекс метрологических и технологических решений, который включает оценку рельефа шероховатости поверхностей, его

оптимизацию с целью сглаживания ступенек, скругления кромок, а также шлифование и полирование поверхностей.

Работа выполнена по проекту ГКНТ БРФФИ №Т23ИНДГ-001

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Норенков, И. П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И. П. Норенков, П. К. Кузмик. – М. : МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2002. – 320 с.

2 Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития / под ред. М. Л. Хейфеца и Б. П. Чемисова. – Новополюцк : ПГУ, 2002. – 268 с.

3 Чижик, С. А. Перспективы развития технологических комплексов аддитивного синтеза композиционных материалов и формообразования изделий / С. А. Чижик, М. Л. Хейфец, С. А. Филатов // Механика машин, механизмов и материалов, 2014, №4(29). – С.68–74.

4 Бородавко, В. И. Проектирование технологических комплексов для формообразования изделий концентрированными потоками энергии / В. И. Бородавко, А. М. Пынькин, М. Л. Хейфец, В. А. Данилов, Д. В. Пуйман // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк : ГВУЗ «ДонНТУ», 2014. – Вып. 3(49). – С.31–37.

5 Русецкий, А. М. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларуская навука, 2012. – 239 с.

6 Русецкий, А. М. Автоматизация и управление в технологических комплексах / под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 375 с.

7 Хейфец, М. Л. Формирование свойств материалов при послойном синтезе деталей / М. Л. Хейфец. – Новополюцк : ПГУ, 2001. –156 с.

Контакты:

vishal.gupta@thapar.edu (Вишал Гупта)

deepa.mudgal@thapar.edu (Дипа Мудгал)

jaskaran.singh@thapar.edu (Джаскаран Сингх)

mlk-z@mail.ru (Хейфец Михаил Львович);

nikolay_gnl@mail.ru (Грецкий Николай Леонидович);

stankoimport@gmail.com (Хилько Дмитрий Николаевич)