

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОСНАЩЕНИЕМ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*А.А. Астапенко, В.И. Бородавко, Н.Л. Грецкий, А.М. Пынькин, М.Л. Хейфец
ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

Повышению эффективности производственной деятельности служит создание комплексов технологических, транспортных, энергетических и информационных машин на основе новых аддитивных технологий и повышения производительности уже используемых. Разработка технологических комплексов начинается с анализа принципиальной схемы мехатронной системы, имеющей два контура управления, посредством прямой связи с внешней средой и обратной связи по результатам диагностики состояния объекта управления.

Выбор потоков энергии и материалов для послойного синтеза изделия осуществляется в зависимости от свойств материалов или их композиций, геометрических характеристик поверхностей, их точности. При этом особое внимание уделяется фокусировке или распределению потоков в пространстве и во времени. Анализ достижимости точности формирования поверхностей с позиций влияния плотности мощности применяемых концентрированных потоков энергии, позволяет рекомендовать ряд источников энергии для использования в раскройном оборудовании.

Практически непрерывный ряд по плотности мощности обеспечивают следующие технологические источники: газовое пламя и плазменная дуга; сварочная дуга и искровые разряды; непрерывный и импульсно-периодический лазеры. Особый интерес вызывают потоки абразивных частиц, реализующие при взаимодействии высоконапорной струи с поверхностью, процессы аналогичные изнашиванию и выкрашиванию при интенсивном трении и приработке.

Это обусловило, в зависимости от решаемых задач, достаточно активное применение в рас-

кройном оборудовании: газопламенных, плазменных, электроискровых (эрозионных), лазерных источников энергии. Выбор источников для раскройного оборудования определяется как толщиной и материалом листовых заготовок, так и точностью обработки.

Мехатронный технологический комплекс реализует прямую связь при управлении потоком энергии или материала, послойно синтезирующего изделие, а обратную связь по состоянию формируемого слоя или обрабатываемой поверхности сформированного изделия. Рассматривается граф кортежей различных видов обработки проектируемого технологического оборудования и анализируются налагаемые связи: механические и электрические (привода и источники), электронные и программные (средства контроля и управления) в мехатронной системе.

В результате привод источника реализован в качестве многокоординатного манипулятора, а сам комплекс и его средства оснащения представляют собой мехатронную технологическую систему (рис. 1). Данный технологический комплекс позволяет производить как резку так и последующую послойную листовую сборку готового изделия посредством сварки по контуру плазменной сварочной головкой фирмы Kjellberg (рис. 2).

Для повышения качества поверхности формируемого изделия и снижения длительности процессов макетирования и производства с позиций видов и форм заготовок применяемых материалов рассмотрено рациональное разбиение на слои, с учетом оценки качества поверхности, зависящей от формы изделия. Анализ разбиения в различных методах послойного синтеза обе-

спечивает выбор наиболее рациональных процессов макетирования и производства конкретного изделия.

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 разными углами наклона кромок, вписанных в геометрический профиль и неравномерной толщины различных слоев. Разбивка непосредственно влияет на геометрические параметры качества поверхности (R_{max} , R_z , R_a и др.).



Рис. 1. Технологический комплекс плазменного раскроя материала с манипулятором для резки и разделки кромок заготовок под углом

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 пониже-



Рис. 2. Оборудование для плазменной сварки:
а) сварочная головка Kjellberg; б) послойная сварка изделия;
в) сечение сварочного шва (информация с сайта www.kjellberg.de)

ния α производится при недопустимых параметрах рельефа поверхности (например: $\alpha = 3/4, 1/2, 1/4, \dots$ – для LOM (Laminated Object Manufacturing) – технологии; $\alpha = 0,7 \dots 0,8$ для SLS (Selective Laser Sintering) – технологии).

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

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

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

Расчет общего количества слоев (блок 6) позволяет оценить эффективность процесса, выбираемого для послойного синтеза изделия заданной формы одним из предлагаемых методов. 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 внести корректировки в начальный выбор метода аддитивного 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.

Таким образом, анализ методов получения деталей машин без формообразующей оснастки показал, что процессы аддитивного производства требуют, кроме изучения технологии получения изделия из конструкционных материалов, также разработки информационных технологий их моделирования.

Для технологии послойного формирования из листового материала, с целью обеспечения высокой точности геометрической формы, рекомендован алгоритм разбиения изделия на слои различной толщины, учитывающий разделку их кромок под углом.

Рассмотрено компьютерное проектирование процессов листового раскроя и послойной сборки, на примерах формирования изделий сложной геометрии, с учетом использования 5-координатного манипулятора в автоматизированном раскройном комплексе.