

УДК 621.01: 658.512

## ПОСЛОЙНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСКРОЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Бородавко В.И., Пынькин А.М., Пуйман Д.В., Хейфец М.Л.  
ГНПО «Центр» НАН Беларуси, г. Минск*

Изготовление масштабных макетов, легко разрушаемых прототипов и заготовок деталей машин из композиционных материалов с рабочими поверхностями сложного профиля «прямым вращением» без использования дорогостоящей формообразующей оснастки, сокращая стадии технологической подготовки производства, наилучшим образом удовлетворяет требованию снижения материальных и трудовых затрат [1, 2].

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]:

- 1) концентрированных потоков энергии в качестве источников формообразования;
- 2) различных видов и форм материалов заготовки;
- 3) 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].

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 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  $a$  производится при недопустимых параметрах рельефа поверхности (например:  $a = 0,7...0,8$  для SLA- и SLS-процессов;  $a = 3/4, 1/2, 1/4, ...$  – 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.

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.

Анализ достижимости точности формирования поверхностей с позиций влияния плотности мощности применяемых концентрированных потоков энергии (третье направление развития) 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 [2]. Это обусловило, в зависимости от решаемых задач, достаточно активное применение в раскройном оборудовании: газопламенных, плазменных, электроискровых (эрозионных), лазерных источников энергии. Альтернативу этим источникам в большом диапазоне плотности мощности для широкого круга задач могут обеспечить гидроабразивные потоки высокоскоростной водной струи (рис. 2).

Для расширения технологических возможностей раскройного оборудования в ОАО «Центр» разработан 5-координатный порталный манипулятор, обеспечивающий резку под углом криволинейных поверхностей плазменной поворотной головкой (рис. 3).

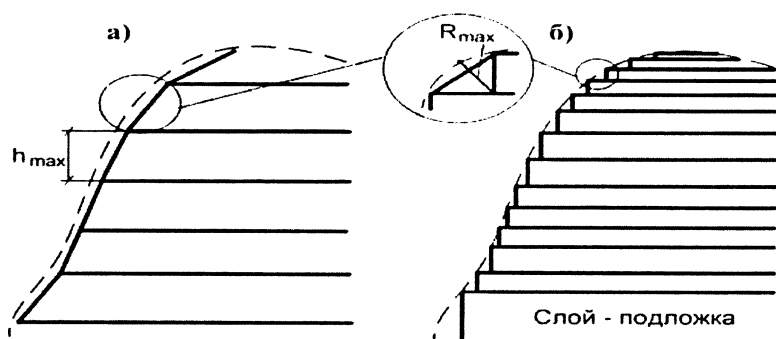


Рис. 1. Разбивка изделия на слои

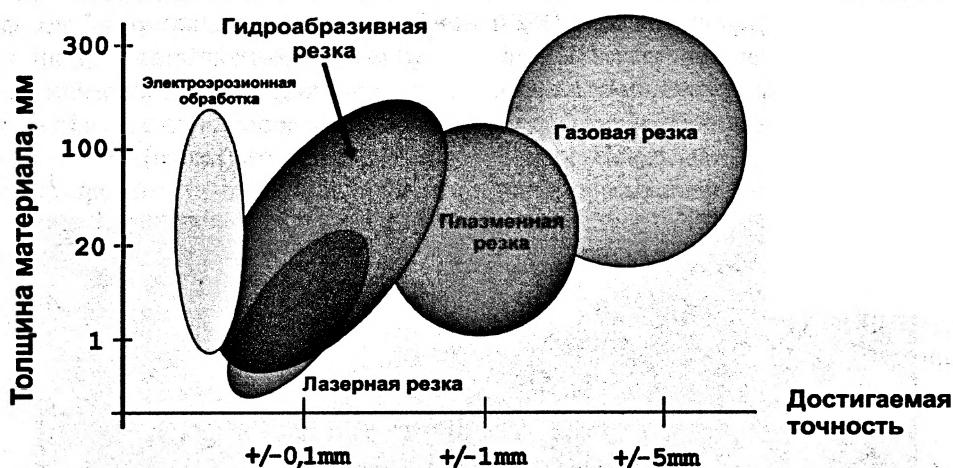


Рис. 2. Использование концентрированных потоков энергии в раскройном оборудовании

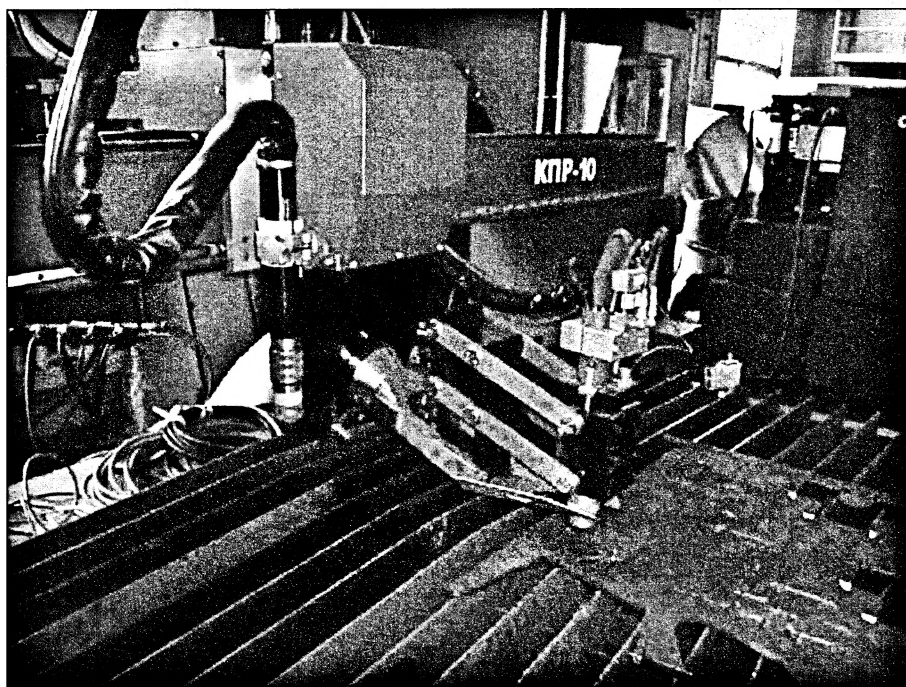


Рис. 3. Система резки под углом криволинейных поверхностей плазменной головкой

Это позволяет проводить разделку и подготовку кромок перед сварочными операциями, существенно расширяет возможности технологических комплексов при обработке толстолистовых заготовок и обеспечивает переход к широкому применению технологий «прямого выращивания» путем листового раскроя и сборки изделий [4].

Рассмотрим пример изготовления детали, с использованием автоматизированного комплекса, оборудованного поворотным 5-координатным манипулятором.

Исходной информацией служит твердотельная модель изделия (рис. 4), подготовленная в графическом редакторе – Creo, КОМПАС 3D, SolidWorks, Unigraphics и т.п.

Готовое изделие состоит из ряда фигурных пластин (рис. 5). Контур каждой пластины будет формироваться на автоматизированном комплексе с 5-координатным манипулятором. Для программирования обрабатываемого контура, необходимо использовать САМ (Computer-aided manufacturing) модуль, предназначенный для

подготовки управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), и разработанный для конкретной системы ЧПУ автоматизированного комплекса, постпроцессор [8, 9]. Сборка всех пластин изделия осуществляется на конусном штоке.

Рассмотрим пример создания цельной твердотельной 3D-модели, которая будет формироваться путем сборки элементов различной формы и толщины, полученных путем листового раскроя. Изделие будет собираться на подставке с разборным каркасом (рис. 6).

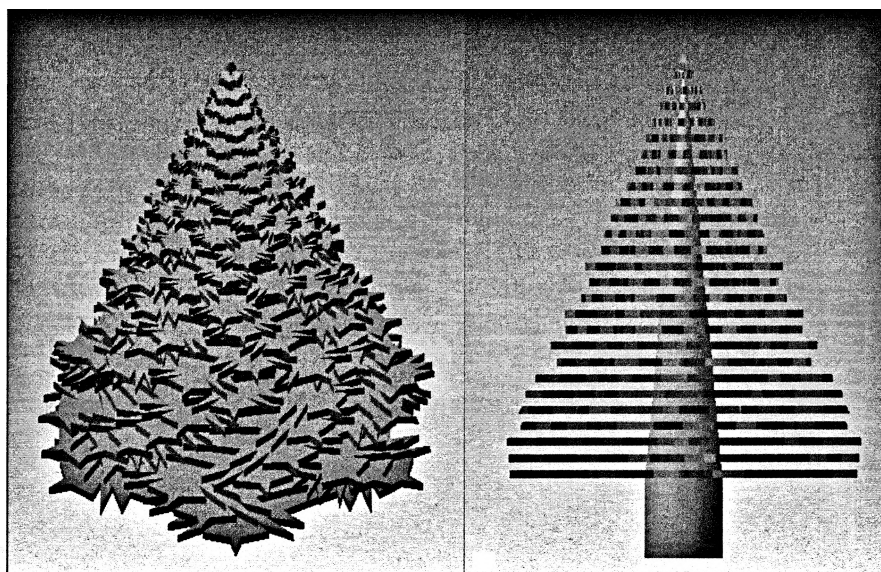


Рис. 4. Сборочная 3D модель изделия в различных проекциях

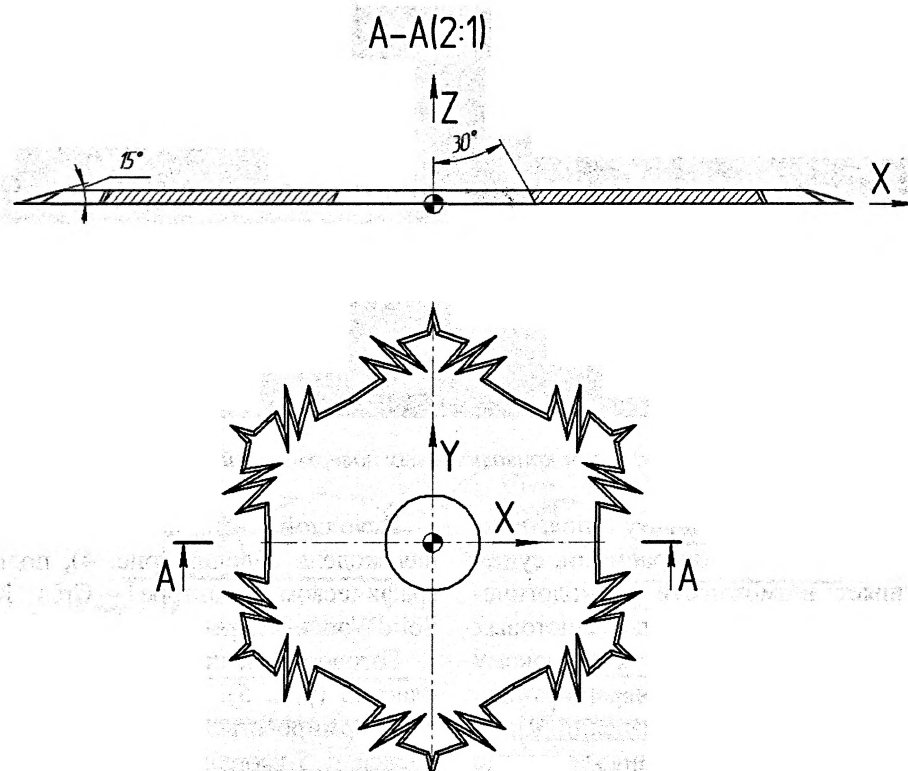


Рис. 5. Пластина, получаемая при листовом раскрое на автоматизированном комплексе, с использованием 5-координатного манипулятора

Для более точного представления изделия, с учетом его сложной геометрии, модель разбивается на слои (рис. 7). При обеспечении заданной точности воспроизведения поверхности сечения получатся разной толщины. После чего, для правильного выбора количества листового материала, необходимо произвести оценку толщин всех сечений. Сечения с одинаковой толщиной объединяются в группы. Каждая группа сечений раскладывается на листовом материале необходимой толщины. Для этого используется графический редактор. В каждом сечении делается по два технологических отверстия для сборки (рис. 8).

Используя САМ-пакет (Hypermill; Unigraphics; Turbonest и др.) готовится программа обработки для каждого контура сечений [10]. Написание кода программы зависит от используемой, в автоматизированном комплексе, системы ЧПУ (Sinumerik; Fanuc; Heidenhain). Программирование осуществляется при помощи G-кода. Обработка производится в 5-осях: линейное перемещение манипулятора по координатным осям и углы поворота головки под разделку кромок и вращения при обходе по контуру.

Действия повторяются для каждой группы сечений. Полученные пластины последовательно собираются на подставке.

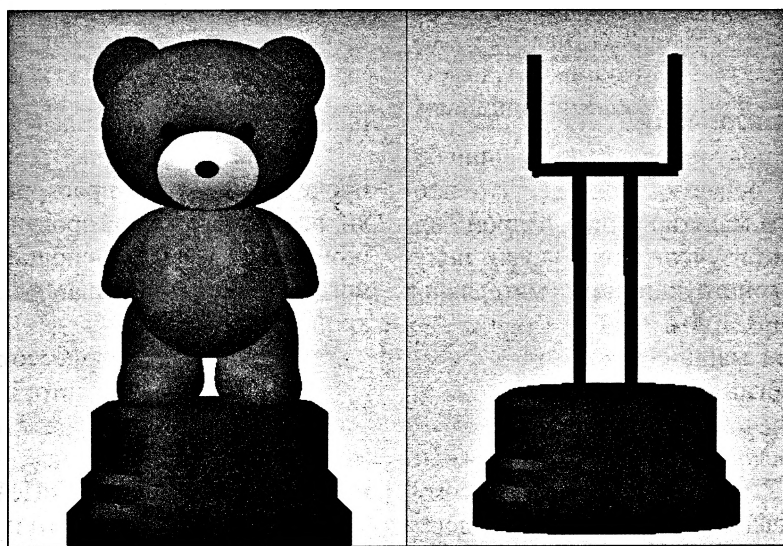


Рис. 6. 3D-модель в сборе и подставка с каркасом для сборки изделия

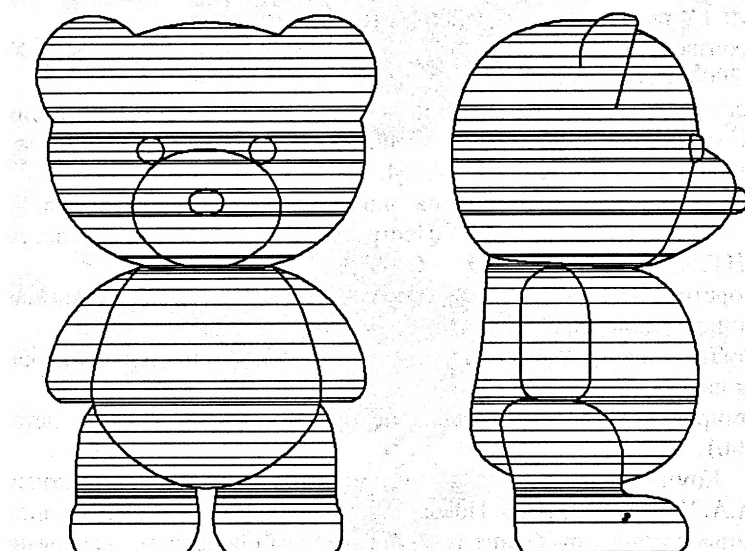


Рис. 7. Рассечение 3D-модели на слои

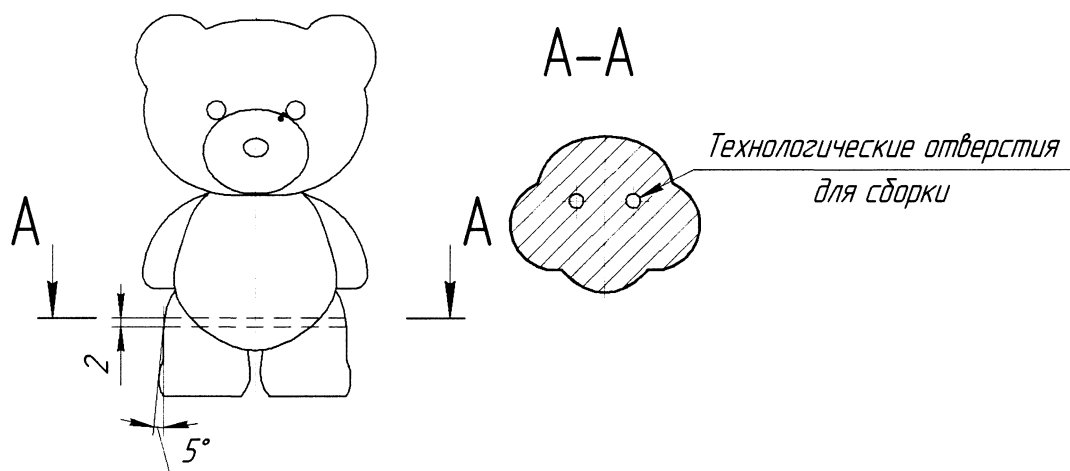


Рис. 8. Выделение пластины под раскрой

### Заключение

Анализ методов получения деталей машин без формообразующей оснастки показал, что процессы оперативного макетирования и производства требуют, кроме изучения технологии получения изделия из конструкционных материалов для масштабных макетов и легко разрушаемых прототипов деталей машин, разработки информационных технологий их моделирования.

Для технологии LOM (Laminated Object Manufacturing) – послойного формирования из листового материала, с целью обеспечения высокой точности геометрической формы, рекомендован алгоритм разбиения изделия на слои различной тол-

щины, 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.

Для управления процессом листового раскроя концентрированными потоками энергии на автоматизированном комплексе, целесообразно использовать дополнительный модуль, реализованный на установке ГНПО «Центр» НАН Беларуси в качестве 5-координатного портального манипулятора, обеспечивающего резку под углом.

### Список использованных источников

1. Норенков, И.П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И.П. Норенков, П.К. Кузмик. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
2. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития / под ред. М.Л. Хейфеца, Б.П. Чемисова. – Новополоцк: 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. Проектирование технологических комплексов для формообразования изделий концентрированными потоками энергии / В.И. Бородавко [и др.] // 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. – Новополоцк: ПГУ, 2001. – 156 с.
8. Черепашков, А.А. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении / А.А. Черепашков, Н.В. Носов. – Волгоград: Изд. дом «Ин-Фолио», 2009. – 640 с.
9. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.
10. Харазов, В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами / В.Г. Харазов. – СПб.: Профессия, 2009. – 592 с.