

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКРОЯ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОСЛОЙНОЙ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Н.Л. Грецкий¹, В.И. Бородавко¹, А.М. Пынькин¹,
В.Т. Сенюць¹, С.В. Кухта², Д.В. Пуйман²

¹ГНПО «Центр» НАН Беларуси
г. Минск, Республика Беларусь

²УО «Полоцкий государственный университет»
г. Новополоцк, Республика Беларусь

Проведен анализ методов получения деталей машин без формообразующей оснастки. Показано, что процессы аддитивного производства требуют, кроме изучения технологии получения изделия из конструкционных материалов, разработки информационных технологий их моделирования. Рассмотрено формирование изделий сложной геометрии, с учетом использования 5-координатного манипулятора в автоматизированном раскройном комплексе, компьютерное проектирование процессов листового раскроя и последующей сборки.

Ключевые слова: аддитивное производство, послойная сборка, раскройное оборудование, листовая раскрой, LOM технологии

OPTIMIZATION OF PATCHING SHEET MATERIALS AND LAYER-BY-LAYER ASSEMBLY OF PRODUCTS IN ADDITIVE PRODUCTION

V.I. Borodavko¹, A.M. Pynkin¹, N.L. Gretskiy¹, M.L. Heifetz¹,
V.T. Senyut¹, S.V. Kuhta², D.V. Puyman²

¹GNPO «Center» of the National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus

²UO «Polotsk State University»
Novopolotsk, Republic of Belarus

The analysis of methods for obtaining machine parts without forming tools was carried out. It is shown that the processes of additive production require, in addition to studying the technology of obtaining products from structural materials, developing information technologies for their modeling. Considered the formation of products of complex geometry, taking into account the use of a 5-axis manipulator in an automated cutting complex, computer design of sheet cutting processes and subsequent assembly.

Keywords: additive production, layer-by-layer assembly, cutting equipment, sheet cutting, LOM technology

E-mail: mlk-z@mail.ru

Изготовление масштабных макетов, легко разрушаемых прототипов и заготовок деталей машин из композиционных материалов с рабочими поверхностями сложного профиля «прямым выращиванием» без использования дорогостоящей формообразующей оснастки, сокращая стадии технологической подготовки производства, наилучшим образом удовлетворяет требованию снижения материальных и трудовых затрат [1–4].

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 [5, 6]:

- 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 [7–9].

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 [2–4, 10, 11].

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 [3–6].

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} , Rz , Ra и др.).

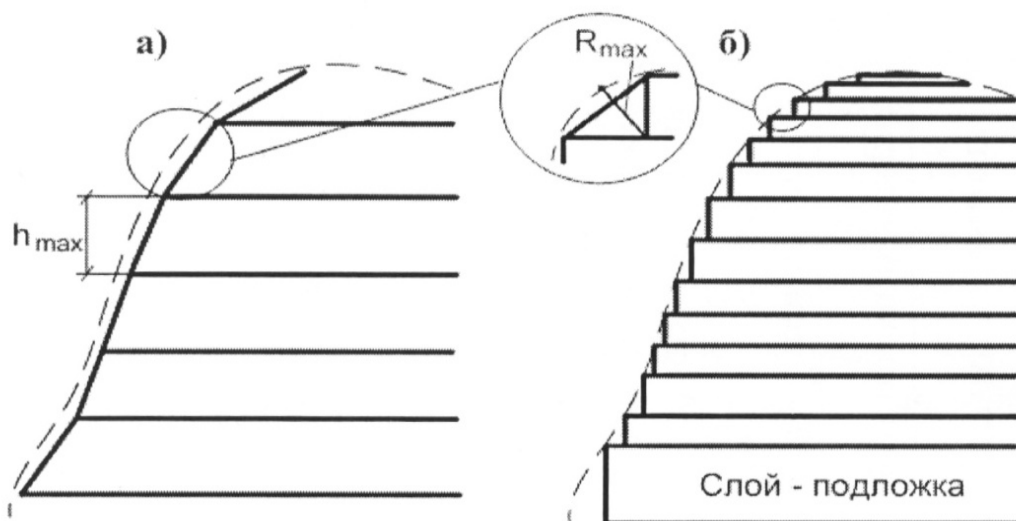


Рис. 1. Разбиение изделия на слои

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.

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 (рис. 2).

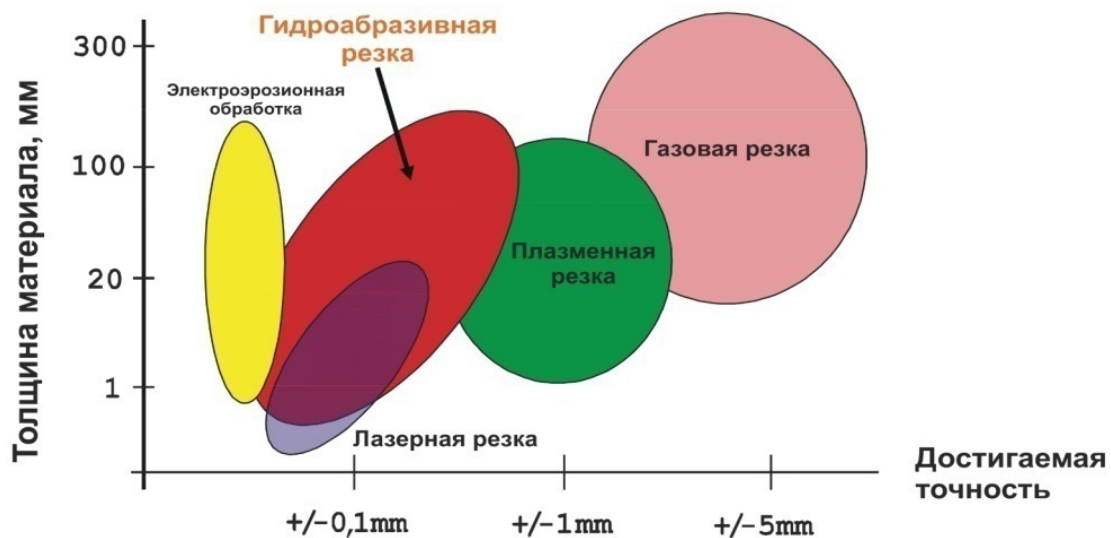


Рис. 2. Использование концентрированных потоков энергии в раскройном оборудовании

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, 6]. 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 разработан 5-координатный порталный манипулятор, обеспечивающий резку под углом криволинейных поверхностей поворотной головкой (рис. 3).

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 [6, 11].

При изготовлении детали, с использованием автоматизированного комплекса, оборудованного поворотным 5-координатным манипулятором, исходной информацией служит твердотельная модель изделия, подготовленная в графическом редакторе – Creo, КОМПАС 3D, SolidWorks, Unigraphics и т.п.

Изделие состоит из ряда фигурных пластин. 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 [12, 13].

Для более точного представления формы изделия, с учетом его сложной геометрии, модель разбивается на слои. При обеспечении заданной точности воспроиз-



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

ведения 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 как минимум по два технологических отверстия для сборки.

Используя САМ-пакет (Hypermill; Unigraphics; Turbonest и др.) готовится программа обработки для каждого контура сечений [14, 15]. 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, а полученные пластины последовательно собираются в готовое изделие.

Заключение

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 LOM (Laminated Object Manufacturing) - 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.

ЛИТЕРАТУРА

- 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 и Б.П. Чемисова. - Новополоцк: ПГУ, 2002.- 268 с.
- 3 Витязь, П.А. «Индустрия 4.0»: от информационно-коммуникационных и аддитивных технологий к самовоспроизведению машин и организмов / П.А.Витязь, М.Л.Хейфец, С.А.Чижик // Известия НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 2017, № 2. – С.54-72.
- 4 Витязь, П.А. Состояние и перспективы развития технологических комплексов аддитивного производства изделий из композиционных материалов / П.А.Витязь, М.Л.Хейфец, С.А. Чижик // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2017, № 7(73). – С.42-48.
- 5 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.
- 6 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.
- 7 Русецкий, А.М. Теоретические основы проектирования технологических комплексов / под общ. ред. А.М.Русецкого. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 239 с.
- 8 Русецкий, А.М. Конструирование и оснащение технологических комплексов / под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 316 с.
- 9 Русецкий, А.М. Автоматизация и управление в технологических комплексах / под общ. ред. А.М.Русецкого. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 375 с.
- 10 Хейфец, М.Л. Формирование свойств материалов при послойном синтезе деталей / М.Л. Хейфец.- Новополоцк: ПГУ, 2001.- 156 с.
- 11 Vitiaz, P.A. Laser-Plasma Techniques in Computer-Controlled Manufacturing / P.A. Vitiaz, M.L.Kheifetz, S.V. Koukhtha. – Minsk: Belorusskaya nauka, 2011. - 164p.
- 12 Аверченков, В.И. Основы математического моделирования технических систем: учебное пособие / В.И. Аверченков, В.П.Федоров, М.Л.Хейфец. – Москва: ФЛИНТА, 2016. – 271 с.
- 13 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.
- 14 Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием /В.В. Денисенко. – М.:Горячая линия-Телеком, 2009.–608с.
- 15 Харазов, В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами / В. Г. Харазов. – СПб.: Профессия, 2009. – 592 с.

REFERENCES

- 1 Norenkov, I.P. Informational support of high technology products. CALS-technologies / IP Norekenkov, PK Kuzmik. - Moscow: MSTU them. NE Bauman, 2002. - 320 with.
- 2 Intellectual production: state and development prospects / Ed. M.L. Kheifets and BP Chemisov. - Novopolotsk: PSU, 2002.- 268 p.
- 3 Vityaz, P. A. "Industry 4.0": from information and communication and additive technologies to self-reproduction of machines and organisms / P.A.Vityaz, M. L. Heifetz, S.A.Chizhik //News of NAN of Belarus. It is gray. physical. - tekhn. sciences. 2017, No. 2. – Page 54-72.
- 4 Vityaz, P. A. Status and perspectives of development of technology complexes of additive production of products from composition materials / P.A.Vityaz, M. L. Heifetz, S. A. Chizhik//High technologies in mechanical engineering. 2017, No. 7(73). – P 42-48.
- 5 Chizhik, S.A. Prospects for the development of technological complexes for the additive synthesis of composite materials and the shaping of articles / SA Chizhik, ML Kheifetz, SA Filatov /// Mechanics of Machines, Mechanisms and Materials, 2014, No. 4 (29). - P.68-74.
- 6 Borodavko V.I., Designing of technological complexes for the formation of products by concentrated energy flows / V.I. Borodavko, A.M. Pynkin, M.L. Kheifetz, V.A. Danilov, D.V. Buyman // Progressive technologies and engineering systems. - Donetsk: State Higher Educational Institution "DonNTU", 2014. - Issue. 3 (49). - P.31-37.
- 7 Rusetsky, A.M. Theoretical bases of designing of technological complexes / under obshch. Ed. A.Rusetskogo. - Minsk: Belaruskaya Navuka, 2012. - 239 p.

- 8 Rusetsky, A.M. Designing and equipment of technology complexes / under a general edition of A.M. Rusetsky. – Minsk: Belarusky navuka, 2014. – 316 p.
- 9 Rusetsky, A.M. Automation and control in technological complexes / under total. Ed. A.Rusetskogo. - Minsk: Belaruskaya Navuka, 2014. - 375 p.
- 10 Kheifetz, M.L. Formation of the properties of materials in layer-by-layer synthesis of parts / M.L. Kheifets .- Novopolotsk: PSU, 2001.- 156 with.
- 11 Vityaz, P.A. Laser-Plasma Techniques in Computer-Controlled Manufacturing / P.A. Vitiaz, M.L.Kheifetz, S.V. Koukhtha. – Minsk: Belorusskaya nauka, 2011. - 164p.
- 12 Averchenkov, V. I. Bases of mathematical modeling of technical systems: manual / V. I. Averchenkov, V.P. Fedorov, M. L. Heifetz. – Moscow: FLINT, 2016. – 271 p.
- 13 Cherepashkov, A.A. Computer technologies, modeling and automated systems in mechanical engineering / A. A. Cherepashkov, N. V. Nosov. - Volgograd: Ed. house "In Folio", 2009. - 640 p.
- 149 Denisenko, V.V. Computer control of the technological process, experiment, equipment / VV. Denisenko. -M.: Hot line-Telecom, 2009.-608c.
- 15 Kharazov, V.G. Integrated control systems for technological processes / VG Kharazov. - SPb .: The profession, 2009. - 592 p.