

- технологические операции обработки и упрочнения необходимо рассматривать в рамках единого технологического процесса обеспечения параметров качества поверхностного слоя деталей машин;
- средства технологического оснащения операций обработки и упрочнения целесообразно проектировать для использования на одном технологическом оборудовании с возможностью совмещать технологические операции и комбинировать воздействия потоками энергии;
- оборудование для обработки и упрочнения в процессах изготовления и восстановления деталей машин следует проектировать в виде комплексов, обеспечивающих технологические, транспортные, энергетические и информационные производственные процессы.

**УДК 621.01: 681.5**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЛИСТОВОГО РАСКРОЯ И ПОСЛОЙНОГО СИНТЕЗА ИЗДЕЛИЙ**

**А. М. Пынькин<sup>1</sup>, М. Л. Хейфец<sup>1</sup>, С. В. Кухта<sup>2</sup>, Д. В. Пуйман<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск

<sup>2</sup> Полоцкий государственный университет, Новополоцк

Изучение методов получения деталей машин без формообразующей оснастки, сравнение их преимуществ и недостатков, определение областей рационального применения синтезируемых изделий позволили классифицировать процессы оперативного макетирования и производства и выделить три основных направления развития методов послойного синтеза изделий, связанных с применением: 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.

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.

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 (рис. 1).

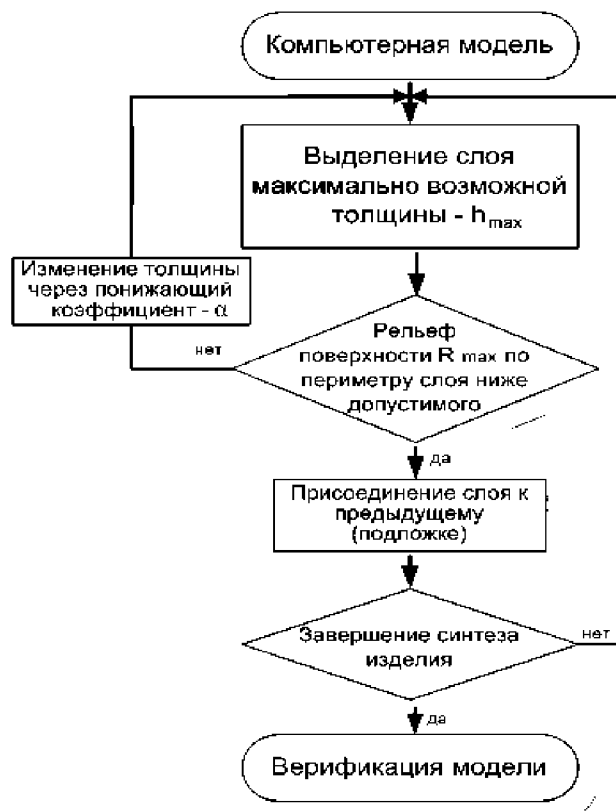


Рис. 1. Блок-схема алгоритма разбиения изделия на слои

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

Схема алгоритма разбиения изделия на слои 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. 2, а), и неравномерной толщины различных слоев (рис. 2, б). Разбивка непо-

средственно влияет на геометрические параметры качества поверхности ( $R_{\max}$ ,  $Rz$ ,  $Ra$  и др.).

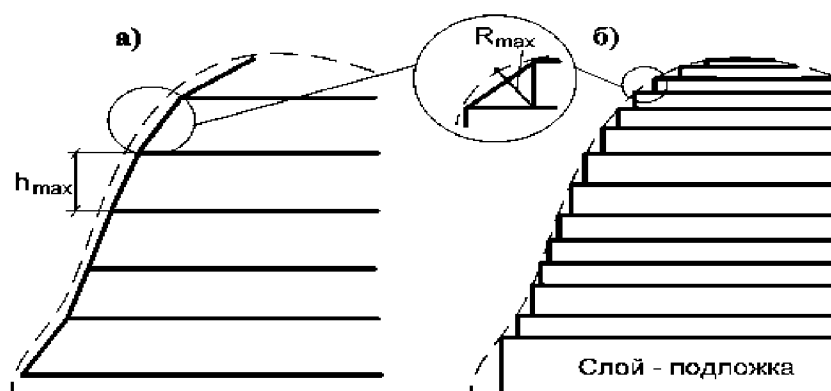


Рис. 2. Схема разбиения изделия на слои: одинаковой (а) и разной (б) толщины

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  $\alpha$  производится при недопустимых параметрах рельефа поверхности (например:  $\alpha = 0,7 \dots 0,8$  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.

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 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.

**УДК 621.817:621.825.63.001.6**

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗДЕЛИЙ  
ДЛЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ  
ИЗ СТАЛЕЙ ПОНИЖЕННОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ  
МУЛЬТИПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ**

**В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, К. В. Кравченко, Е. И. Эйсымонт,  
Е. В. Овчинников**

*Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Гродно  
ОАО «Белкард», Гродно*

Важнейшим условием динамичного развития производства карданных передач нового поколения является получение информации, адекватно отображающей эксплуатационные, технико-экономические характеристики продукции при минимальных затратах материальных и временных ре-