

УДК 621.9.06:681.3.06

## ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НЕРЕГУЛЯРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

канд. техн. наук, доц. Д.Н. СВИРСКИЙ  
(Витебский государственный технологический университет)

*Рассмотрены современные технологии компьютерного формообразования технических объектов нерегулярной формы, реализуемые автоматизированным станочным оборудованием. Показана перспективность создания систем рекурсивного формокопирования сложных поверхностей на основе мехатронных устройств с параллельной кинематической структурой.*

Повышение конкурентоспособности промышленных изделий влечет за собой усложнение их конфигурации в ответ на требования обеспечения необходимого уровня параметров функциональности и эстетических свойств формы поверхности. Процесс формообразования включает процедуры формотворчества и формокопирования, в том числе формотиражирование в серийно выпускаемой продукции, и не реализуем в настоящее время без широкого применения компьютерных технологий и автоматизированного технологического оборудования [1]. Автоматизированное конструирование формы типичных машиностроительных изделий как объемных твердых тел осуществляется с помощью электронных каталогов элементарных геометрических параметризованных объектов – «примитивов». Подобный комбинаторный метод компьютерного формообразования применим и при проектировании технических изделий со сверхсложной (скульптурной, нерегулярной) формой на основе базы данных параметризованных фрагментов нерегулярных поверхностей. Предлагаемый подход получил название рекурсивного формокопирования, или рекурсивного формообразования. Реализованная на его основе технология включает:

- этапы оцифровки физических изделий-аналогов для формирования соответствующей графической базы данных;
- виртуальное прототипирование конструируемого объекта, причем основу геометрической модели составляют модифицируемые компоненты базы данных, связываемые определенными алгебрологическими отношениями, и быстрое прототипирование как автоматическое воплощение в материале результатов компьютерного геометрического моделирования.

Компьютерная технология рекурсивного послойного формообразования реализована в автоматизированной системе, принципиальная схема которой представлена на рисунке 1.

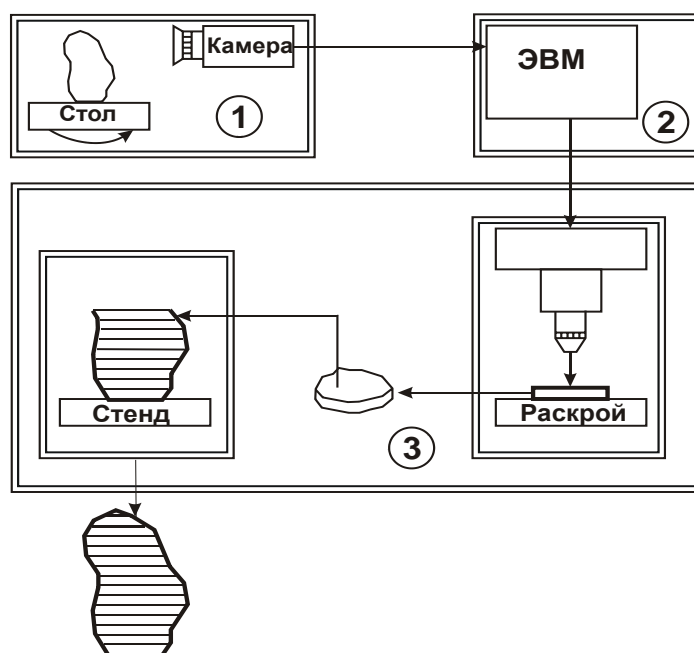


Рис. 1. Система рекурсивного послойного формообразования:  
1 – модуль видеооцифровки; 2 – модуль виртуального прототипирования;  
3 – модуль быстрого прототипирования

Объектами такого формообразования могут быть прототипы новых изделий, эксклюзивные экземпляры конечной продукции, а также компоненты технологической оснастки для мелкосерийного выпуска продукции высокопроизводительными методами литья и штамповки. При послойном формообразовании всех перечисленных видов продукции нередко требуется финишная обработка поверхности изделия для удаления «ступенчатости» (рис. 2). Ступенчатость как погрешность послойного формообразования может быть количественно оценена величиной  $\Delta = h \cdot \cos\alpha$ , где  $\alpha$  – угол между касательной к поверхности изделия в плоскости, параллельной оси синтеза, и плоскостью слоя;  $h$  – толщина слоя.

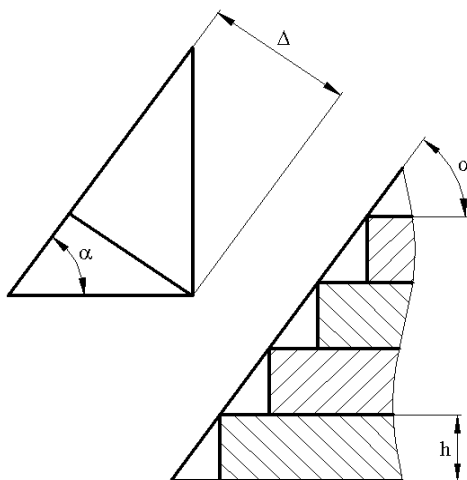


Рис. 2. К определению погрешности послойного формообразования

Анализ всего многообразия технологических методов окончательной обработки позволил отобрать и классифицировать их следующим образом:

**I группа** – методы, заключающиеся в удалении ступенчатости, когда кривая заданного профиля продольного сечения детали проходит через впадины между смежными слоями (1 – механическая и 2 – химическая обработка).

**II группа** – методы, заключающиеся в сглаживании неровностей в случае, когда кривая заданного профиля продольного сечения детали проходит через вершины выступов, образованных смежными слоями (1 – обработка неровностей шпатлевками: а) на основе древесных опилок или мела с использованием в качестве связующих олиф, лаков, клеев или смол; б) обладающими высокими прочностными характеристиками; в) с высокой теплостойкостью, например, на основе каолина и буры; 2) нанесение гальванического покрытия; 3) плазменная металлизация; 4) нанесение лакокрасочного покрытия).

**III группа** – например, каркасно-оболочковый метод создания каркасной модели изделия, обмотки ее эластичным (трикотажным) материалом и фиксации формы оболочки клеевым составом (при необходимости с последующим заполнением полости изделия).

Выбор конкретного технологического метода устранения погрешности послойного формообразования (таблица) осуществлялся функционально-стоимостным или квалиметрическим анализом.

Технология и оборудование для рекурсивного послойного формообразования апробированы в промышленных условиях при изготовлении технологической оснастки с антропоморфной поверхностью для производства изделий легкой промышленности, а именно: манекенов и колодок для обуви и головных уборов.

Методы окончательной обработки послойных изделий

Вид изделия		Основные технические требования	Варианты окончательной обработки	Рекомендуемый метод окончательной обработки
Модели для литейного производства		1. Влагустойчивость 2. Неслипаемость модели с формовочной смесью	I(1); II(1a); II(2); II(3); II(4)	II(1a) + II(4)
Детали штампов	для холодной штамповки	Поверхностная стойкость	I(1); I(2); II(1б); II(2); II(3)	II(1б)
	для горячей штамповки	Теплостойкость	II(1в); II(2); II(3)	II(1в)
Болваны для производства манекенов		Прочность	I(1); II(1б); II(2); II(3)	II(1б)
Эскизные дизайнерские макеты		Передача общего представления о внешней форме изделия	III	III

В ведущих отраслях машиностроения накоплен опыт контроля размеров готовых изделий с помощью автоматизированных координатно-измерительных машин. С конца прошлого столетия известны попытки их использования в качестве технического средства оцифровки для ввода геометрической информации при построении компьютерных объемных моделей. Исторически первым видом технологического оборудования быстрого прототипирования можно считать 3- и 5-координатные автоматизированные станки для объемной фрезерной обработки. В наступившем веке оба типа технических устройств были объединены в так называемых 3D комбайнах – компактных системах рекурсивного формообразования рельефных поверхностей. Наиболее популярны у потребителей относительно дешевые комбайны на основе 3-координатных вертикально фрезерных станков с системой прямого компьютерного управления (PC NC), у которых в шпинделе могут быть последовательно закреплены как режущий инструмент, так и измерительная головка.

Ограниченные возможности трехкоординатной механообработки скульптурных поверхностей привели ведущие станкостроительные фирмы к необходимости создания принципиально новых механизмов, осуществляющих сложное относительное движение инструмента и заготовки. В итоге появились станочные мехатронные структуры с параллельной кинематикой. Среди разнообразия станков манипуляционного типа, построенных на принципах параллельной кинематики, наиболее распространенной является схема «гексапод».

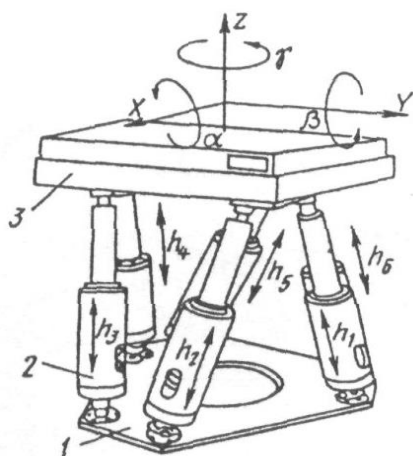


Рис. 3. Конструктивная схема гексапода «платформа Стьюарта»

Типичный гексапод (рис. 3) выполнен на базе шести мехатронных телескопических устройств 2 поступательного перемещения, представляющих собой шариковые винтовые передачи (ШВП). Их длины изменяются регулируемые электроприводами. Величина перемещения контролируется датчиками положения. Одним концом телескопическое устройство шарнирно соединено с основанием 1 (нижней платформой), а другим (также шарнирно) – с подвижной верхней платформой 3, на которой расположен исполнительный орган (ИО), например, инструмент или измерительная головка. Перемещая винты по программе на различную величину ( $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6$ ), можно управлять положением ИО по шести координатам ( $X, Y, Z, \alpha, \beta, \gamma$ ).

Основные достоинства такого механизма:

- высокие скорость перемещений (до 100 м/мин) и ускорение (до 50 м/с<sup>2</sup>) при малой массе подвижного ИО;
- высокая жесткость, обусловленная работой телескопического устройства на растяжение – сжатие и равномерным распределением усилий по всей структуре;
- точность обработки на гексапode в среднем в 5 раз выше, чем в станках классической структуры [2];
- модульная структура технологична и упрощает производство, обеспечивая требования конкретного потребителя.



Рис. 4. Экспериментальный стенд-трипод

В соответствии с принципами обеспечения компактности (ресурсонеизбыточности) автором предлагается использовать для объемного фрезерования устройство типа «трипод» – с тремя управляемыми штангами.

Далее показана возможность обеспечения выбранной конструктивной схемой любой степени подвижности инструмента ИО (фрезы или измерительной головки) в пределах от 1 до 9.

Специально изготовленный макет трипода (рис. 4) состоит из семи подвижных звеньев, образующих 9 кинематических пар, а именно:

6 пар 3-го класса и 3 поступательные пары 5-го класса [3]. При этом его степень подвижности по формуле Малышева – Сомова равна

$$W = 6 \cdot 7 - 5 \cdot 3 - 4 \cdot 0 - 3 \cdot 6 - 2 \cdot 0 - 1 \cdot 0 = 9.$$

Однако если путем наложения дополнительных связей кинематические пары 3-го класса заменить, например, на две 5-го и четыре 4-го класса, то можно получить пространственный механизм с одной степенью подвижности:

$$W = 6 \cdot 7 - 5 \cdot 5 - 4 \cdot 4 - 3 \cdot 0 - 2 \cdot 0 - 1 \cdot 0 = 1.$$

Аналогичным образом, для обеспечения ИО трех степеней свободы можно использовать такую комбинацию кинематических пар:

$$W = 6 \cdot 7 - 5 \cdot 5 - 4 \cdot 2 - 3 \cdot 2 - 2 \cdot 0 - 1 \cdot 0 = 3.$$

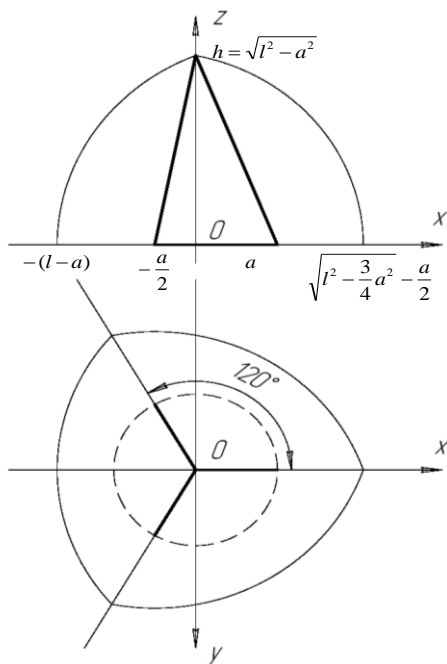


Рис. 5. Рабочее пространство станка-трипода (повернуто в вертикальной плоскости на 180°) без учета размеров инструмента:

$l$  – максимальная длина штанг;

$a$  – радиус опорной окружности «пирамиды» трипода

параллельной кинематикой являются перспективной базой для построения гаммы компактных 3D комбайнов, реализующих компьютерную технологию рекурсивного формообразования нерегулярных поверхностей технического назначения.

Приняв в качестве обобщенных  $l$ -координат длины штанг, были локализованы габариты рабочего пространства станка-трипода (рис. 5).

В настоящее время разрабатывается методология создания нового поколения станочного оборудования на основе мехатронных систем с параллельной кинематической структурой. В процессе работы поставлены, формализованы и решаются с помощью компьютерного моделирования следующие задачи, перечисленные в порядке их усложнения:

1) *прямая задача* кинематики: «по известным перемещениям звеньев, составляющих параллельные кинематические цепи, определить положение ИО в любой заданный момент времени»;

2) *обратная задача* состоит из двух подзадач:

- *задача управления*: «при известной кинематической структуре по заданному закону движения ИО определить необходимые управляемые перемещения звеньев в кинематических парах»;

- *задача оптимизационного синтеза*: «определить минимально необходимый количественный и качественный состав звеньев параллельной кинематической цепи для заданного класса обрабатываемых поверхностей».

Учитывая возможность применения подобных манипуляционных станков для финишной обработки сложных поверхностей [4], мехатронные PC NC системы с

## ЛИТЕРАТУРА

1. Свирский Д.Н. Феномен формообразования // Вестник ВГТУ. – 2003. – Вып. 5. – С. 63 – 67.
2. Бушуев В.В., Хольшев И.Г. Механизмы параллельной структуры в машиностроении // СТИН. – 2001. – № 1. – С. 3 – 8.
3. Свирский Д.Н., Ким Ф.А. Новое поколение компактных мехатронных обрабатывающих систем с параллельной кинематикой // Вестник ВГТУ. – 2005. – Вып. 7. – С. 64 – 68.
4. Mianowski K. Application of RNT robot to selected machining processes // Proc. 3<sup>rd</sup> Int. conf. on Advances in Production Engineering, Part 3. – Warsaw: WUT, 2004. – P. 121 – 128.