

УДК 621.001:536.75

М. Л. ХЕЙФЕЦ

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ПО МОДЕЛЯМ САМОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ФОН НЕЙМАНА

(Представлено академиком П. И. Ящерицыным)

Снижение материальных и трудовых затрат при изготовлении деталей машин, выпускаемых небольшими сериями, связано прежде всего с необходимостью сокращения средств и времени на подготовку производства. Поэтому в машиностроении помимо традиционных методов обработки в технологической системе ДИПС, состоящей из элементов: а) деталь, б) инструмент, в) приспособление, г) станок, все чаще применяются методы, не использующие формообразующую оснастку [1—4].

Для обозначения новых процессов в технологической системе в настоящее время употребляются следующие термины [1—4]: I — прямое получение изделий сложной формы — «выращивание» (Solid Freeform Fabrication); II — послойный синтез (Laminate Synthesis); III — быстрое прототипирование — «оперативное макетирование» (Rapid Prototyping); IV — формирование трехмерных объектов (3D Component Forming). При анализе технологических методов в первую очередь встает вопрос определения взаимосвязи процессов формообразования и разграничения используемых терминов (I—IV).

Для самовоспроизведения объектов, согласно модели фон Неймана [5] требуются машины: С — «копировщица плана построения»; О — «исполнительница плана построения»; S — «пусковое устройство» (включающее С и О в надлежащее время); V_{C+O+S} — «план построения автомата» (описывающий все элементы модели). В результате весь автомат выражается символически $C+O+S+V_{C+O+S}$. После начального запуска S, получив в свое распоряжение план построения автомата в целом V_{C+O+S} , С копирует его, а О в свою очередь следует ему для построения С, О и S.

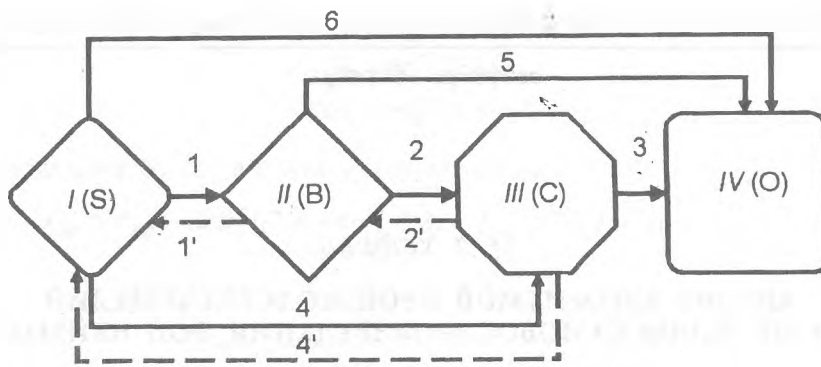
В соответствии с синергетической концепцией [6, 7] можно представить: запуск (S), как прямой доступ к потокам вещества и энергии (I); получение плана (V_{C+O+S}), как самонастройку программы воспроизведения (II); копирование плана (С), как трансляцию информационного потока (III); построение автомата (О), как самоорганизацию его структуры (IV).

Исследование процессов (I—IV) производства деталей без использования формообразующей оснастки [1—4] в зависимости от агрегатного состояния исходного материала [2], размерности потоков формообразующей среды [4] и последовательности технологических операций [1, 3] позволило представить совокупность методов «выращивания» деталей в виде модели (рисунок).

Модель представляет собой направленный замкнутый граф и описывает автомат с конечным числом состояний [5]. Вершины графа изображают процессы (I—IV) создания деталей без формообразующей оснастки и представляют логические операции (I—III); трансляцию информации, потоков вещества и энергии (III; IV); запуск и остановку автоматического цикла (I; IV). Ребра графа отражают изменения состояний (1—6 и 1', 2', 4') технологической среды, а маршруты предусматривают различные комбинации изменений в зависимости от выбора начального и порядка выполнения последующих процессов.

Так различные варианты технологических маршрутов имеют вид последовательностей при выборе в качестве начального процесса (рисунок): I — прямого получения деталей сложной формы: 1→2→3; 4→3; 1→5; 4→2'→5; 6; II — послойного синтеза: 1'→4→3; 2→3; 1'→6; 2→4'→6; 5; III) быстрого прототипирования: 2'→1'→6; 4'→6; 2'→5; 4'→1→5; 3.

Рассматривая замену в модели самовоспроизведения (рисунок) процессов: I — прямого доступа к потокам вещества и энергии, II — самонастройки программы воспроизведения, III — трансляции информационного потока, IV — самоорганизации структуры автомата, обеспечивающими их элементами технологической системы: а — деталью, б — инструментом, в — приспособлением, г) станком; приходим к выводу, что невозможно при использовании формообразующей оснастки создать конечный автомат. Так как для изготовления детали должна существовать оснастка, а в свою очередь для ее создания должна быть также изготовлена оснастка и т. д.



Модель методов изготовления деталей машин без формообразующей оснастки

Таким образом, предложенные согласно модели самовоспроизведения фон Неймана алгоритмы позволяют описывать методы изготовления деталей машин без формообразующей оснастки, а обратные им последовательности — методы, использующие оснастку, не представимы в качестве конечного автомата. Описание в соответствии с существующими терминами (I—IV) процессов изготовления деталей без формообразующей оснастки алгоритмами по предложенной модели (рисунок) предоставляет возможность анализировать существующие и разрабатывать новые методы прямого «выращивания» деталей машин.

Анализ методов прямого «выращивания» деталей машин показал [4], что существующие технологии прямого «выращивания» деталей реализуются только для определенных материалов и формируют плоские непротяженные поверхностные слои. Последовательное формообразование по всей сложнопрофильной, фасонной поверхности слоев из различных материалов и управление их свойствами в разнообразных высокоэнергетичных полях позволяют осуществить технологии, использующие самоорганизацию поверхностных явлений [7]. Самоорганизация обеспечивает устойчивое образование слоя определенной толщины при значительных изменениях расстояния от источника энергии до формируемой поверхности, а также позволяет посредством взаимопроникновения сращивать последовательно наносимые слои. Поэтому наиболее актуально разрабатывать процессы послойного синтеза с управляемым формированием свойств материала концентрированными потоками энергии.

Послойный синтез изделий проводится в различных агрегатных состояниях материала — твердом, жидком, газообразном — и в разнообразных высокоэффективных процессах с объемной, множеством локализованных и единой сфокусированной зоной поглощения концентрированных потоков энергии (таблица). При нанесении металлических порошков в твердом состоянии в процессах плазменного напыления или при наплавке образуется объемная зона поглощения энергии [8]. Толщина формируемого слоя определяется совместным действием кинетического и термодинамического факторов, описываемых скоростью потока частиц порошка и термодинамическим потенциалом плазменного потока. Сам процесс формирования слоя описывается энергетическим критерием Si , определяемым соотношением между энергией, которую несет поток, и джоулевой энергией [9].

Высокоэффективные процессы послойного синтеза изделий

Процессы формирования слоя детали	Агрегатное состояние материала	Зоны поглощения и плотность потоков энергии, Вт/см ²	Толщина формируемого слоя, мм
плазменное напыление и наплавка	твердое (порошок)	объемная, 10^2-10^5	0,1—10 [8]
электромагнитная наплавка	твердое (порошок)	множество локализованных, 10^3-10^5	0,05—0,5 [10]
индукционная наплавка погружением	жидкое (расплав)	объемная, 10^2-10^4	0,3—3,0 [11]
лазерное и электронно-лучевое оплавление	жидкое (расплав)	единая сфокусированная, 10^3-10^7	1,0—10 (при термоэлектрической конвекции 0,01—1,0) [14]
ионное осаждение и модифицирование	газообразное	множество локализованных, 10^2-10^5	0,002—0,2 [15]

При электромагнитной наплавке ферропорошка образуется множество локализованных зон поглощения энергии. Электромагнитная наплавка позволяет наносить покрытие только до определенной толщины, после чего формируемый слой теряет устойчивость, а на поверхности образуются пики, которые при последующих разрядах превращаются в кратеры [10]. Управлять процессом наплавки позволяют электромагнитные потоки. Так движения и фиксация частиц ферропорошка задаются индукцией магнитного поля, а интенсивное тепловыделение в местах контакта с формируемой поверхностью и плавление порошка определяются напряженностью электрического поля. В результате роста сопротивления ферропорошковой среды, и электропроводности наносимого покрытия, стабилизируется толщина наносимого слоя [7]. Процесс электромагнитной наплавки определяется соотношением критериев магнитного взаимодействия и напряженности электрического поля Sm/Se , описывающих электромагнитные и инерционные силы [10]. Также процесс может быть представлен соотношением модифицированных критериев Пекле и Прандтля Re^*/Pr^* , описывающих энергию, отводимую конвекцией и проводимостью.

В процессе индукционной наплавки погружением детали в расплавленный металл рассматривается объемная зона поглощения энергии по всей наращиваемой поверхности [11]. Толщина формируемого слоя определяется адгезией между поверхностью детали и расплавом, описываемой скоростью подъема детали, напряжением поверхностного натяжения и коэффициентом внутреннего трения [12]. Максимальная толщина слоя при обтекании расплавом детали ограничивается условиями потенциального течения и рассчитывается как толщина пограничного слоя Прандтля d_G , за пределами которого происходит срыв потока.

При лазерном или электроннолучевом оплавлении поверхностного слоя или наносимого покрытия целесообразно рассматривать единую сфокусированную зону поглощения энергии, сканируемую по всей формируемой поверхности [13]. При лучевой обработке в результате конвекционной неустойчивости в узком поверхностном слое расплава определенной толщины формируются состоящие из вихрей диссипативные структуры. При достаточно быстром охлаждении в таком состоянии по фронту кристаллизации образуется ячеистая структура. Толщина измененного слоя d_M описывается соотношением свойств металла, его коэффициентами поверхностного натяжения и объемного расширения, плотностью в расплавленном состоянии [14]. Процесс формирования диссипативных структур в расплаве определяется критерием Марангони Mg , характеризующим проявление термокапиллярных явлений, и критерием Рэлея Ra , описывающим соотношение подъемной силы и силы диссипации.

В процессе ионного осаждения слоя из газообразного состояния поток ионов не фокусируется, а распределяется по поверхности детали. Толщина наносимого слоя определяется в основном толщиной слоя Дебая d_D , в котором потенциал, прилагаемый к детали, эффективно воздействует на ионы [15]. Слой Дебая описывается соотношением величины потенциала и потенциальной энергии иона в электрическом поле, а также плотностью ионов плазмы. Ионы в результате совместного влияния их потенциальной энергии в электрическом поле и тепловой энергии плазменного потока распределяются по экспоненциальному закону в слое Дебая, задавая тем самым толщину осаждаемого покрытия. Рассмотренные высокоэффективные процессы дают возможность послойно наносить материалы с особыми свойствами и создавать поверхности деталей геометрически сложной формы. Эти процессы позволяют направленно изменять физико-механические свойства материала и устанавливать их в зависимости от требований к эксплуатации деталей машин.

В последнее время методы обработки рассматриваются с системных позиций как последовательности преобразований вещества, энергии и энтропии в материальных и информационных подсистемах, направленные на изменение точности и качества поверхностей и физико-механических свойств детали [7]. Для анализа путей интенсификации процессов формирования структур и фаз поверхностных слоев деталей в обрабатывающей системе выделяются нестабильные переменные (температура, давление, сила тока, магнитная индукция и др.), которые подчиняют себе развитие, эволюцию стабильных в данном процессе параметров. Такой подход позволяет рассматривать любую структуру, как самостабилизирующийся энергетической обусловленностью комплекс.

При эволюции чередование переходов системы из устойчивого в неустойчивое состояние сопровождается сменой масштабного уровня процесса поглощения энергии и образованием диссипативных структур. Изучение явлений наследования свойств, состояний, фаз и структур поверхностных слоев, формируемых в процессах интенсивной обработки; проводится на основании физико-химического анализа, с использованием топологических моделей — геометрических образов отношений: состав — свойство системы.

Поверхности раздела слоев и градиенты их свойств определяются технологическими барьерами, которые с соответствием с условием устойчивости Цыглера описываются производ-

ными импульса энергии по глубине поверхностного слоя [7]. Технологические барьеры дают возможность установить граничные условия процессов послойного синтеза, а конфигурацию границ позволяет определить компьютерное поверхностное и твердотельное моделирование.

Проведенный анализ показал, что наиболее перспективными направлениями развития технологий прямого «выращивания» деталей машин с управляемым формированием свойств материала являются: 1) создание новых материалов как для каркаса-основы, так и для поверхностных слоев-покрытий; 2) проектирование технологий, синтезирующих композиционные материалы при послойном формировании деталей в высокоэнергетичных полях; 3) разработка программного обеспечения как для моделирования послойных оболочек, так и для управления лучом или потоком энергии; 4) конструирование установок, реализующих новые высокоэнергетические процессы послойного синтеза в автоматическом режиме; 5) изыскание областей рационального применения новых материалов, технологий, конструкций и экономическое обоснование организационно-технических аспектов их внедрения.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Summary

According to von Neumann's model of self-reproduction, the algorithms are suggested that describe the methods of the production of machine parts without formbuilding equipment. Using the self-organization of surface effects by solid form fabrication of details allows one to form the layers of certain thickness along all the surface of difficult profile and to control the materials characteristics by currents of energy during laminate synthesis.

Литература

1. Горюшкин В. И. Основы гибкого производства деталей машин и приборов. Мн., 1984.
2. Белянин П. И. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1994. № 6. С. 3—14.
3. Скородумов С. В. // Вестник машиностроения. 1998. № 1. С. 20—28.
4. Хейфец М. Л. // Технологическое управление качеством поверхности деталей. Киев. 1998. С. 42—50.
5. Нейман фон Дж. Теория самовоспроизводящих автоматов. М., 1971.
6. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. М., 1991.
7. Хейфец М. Л., Кожуро Л. М., Мрочек Ж. А. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей. Гомель, 1999.
8. Витязь П. А., Ивашко В. С. и др. Теория и практика газопламенного напыления. Мн., 1993.
9. Жуков М. Ф., Урюков Б. А. // Плазменные процессы в металлургии и технологии неорганических материалов. М., 1973. С. 3—14.
10. Акулович Л. М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. Новополоцк. 1999.
11. Ткачев В. Н., Фиштейн Б. М., Казинцев Н. В. и др. Индукционная наплавка твердых сплавов. М., 1970.
12. Кнойбюль Ф. К. Пособие для повторения физики. М., 1981.
13. Шипко А. А., Поболь И. Л., Урбан И. Г. Упрочнение сталей и сплавов с использованием электроннолучевого нагрева. Мн., 1985.
14. Эйдельман Е. Д. // Успехи физических наук. 1995. Т. 165, № 11. С. 1279—1294.
15. Емельянов В. А., Мрочек Ж. А., Иванов И. А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий. Мн., 1998.