

## ТЭХНАЛОГІЯ МАШЫНАБУДАВАННЯ

УДК 621.002:536.75

М. Л. ХЕЙФЕЦ

### МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ

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 [1–5].

Для обозначения новых процессов в технологической системе в настоящее время употребляются следующие термины [1–5]: 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). Поэтому в первую очередь возникает вопрос определения взаимосвязи процессов формообразования и разграничения используемых терминов (I–IV).

Для самовоспроизведения объектов, согласно модели фон Неймана [6], требуются машины:  $S$  — «копировщица плана построения»;  $O$  — «исполнительница плана построения»;  $S$  — «пусковое устройство» (включающее  $S$  и  $O$  в заданное время);  $B_{C+O+S}$  — «план построения автомата» (описывающий все элементы модели). В результате весь автомат выражается символически  $C + O + S + B_{C+O+S}$ . После начального запуска  $S$ , получив в свое распоряжение план построения автомата в целом  $B_{C+O+S}$ ,  $S$  копирует его, а  $O$  в свою очередь следует ему для построения  $C$ ,  $O$  и  $S$ .

В соответствии с синергетической концепцией [7–9] можно представить запуск ( $S$ ), как прямой доступ к потокам вещества и энергии (I); получение плана ( $B_{C+O+S}$ ), как самонастройку программы воспроизведения (II); копирование плана ( $C$ ), как трансляцию информационного потока (III); построение автомата ( $O$ ), как самоорганизацию его структуры (IV).

Исследование процессов (I–IV) производства деталей без использования формообразующей оснастки [1–5] в зависимости от агрегатного состояния исходного материала [2], размерности потоков формообразующей среды и последовательности технологических операций (таблица) позволило представить совокупность методов «выращивания» деталей в виде модели (рис. 1, а). Она представляет собой направленный замкнутый граф и описывает автомат с конечным числом состояний [6]. 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') материала технологической среды, а маршруты предусматривают различные комбинации изменений в зависимости от выбора начального и порядка выполнения последующих процессов.

Различные варианты технологических маршрутов имеют вид последовательностей при выборе в качестве начального процесса (рис. 1, а):

I) прямого получения деталей сложной формы  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3; 4 \rightarrow 3; 1 \rightarrow 5; 4 \rightarrow 2' \rightarrow 5; 6;$

II) послойного синтеза  $1' \rightarrow 4 \rightarrow 3; 2 \rightarrow 3; 1' \rightarrow 6; 2 \rightarrow 4' \rightarrow 6; 5;$

III) быстрого прототипирования  $2' \rightarrow 1' \rightarrow 6; 4' \rightarrow 6; 2' \rightarrow 5; 4' \rightarrow 1 \rightarrow 5; 3.$

Рассматривая замену в модели самовоспроизведения (рис. 1, а) процессов: I) прямого доступа к потокам вещества и энергии, II) самонастройки программы воспроизведения, III) трансля-

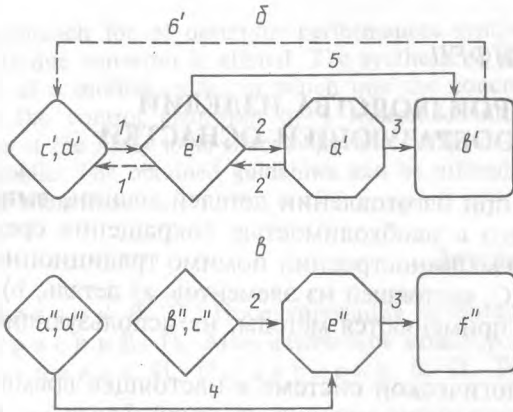
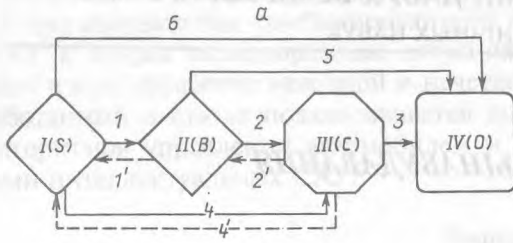


Рис. 1. Модель и алгоритмы методов изготовления деталей машин без формообразующей оснастки (а), из листовых материалов (б), путем лазерного спекания порошковых слоев (в)

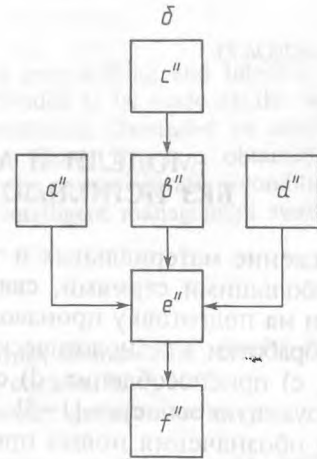
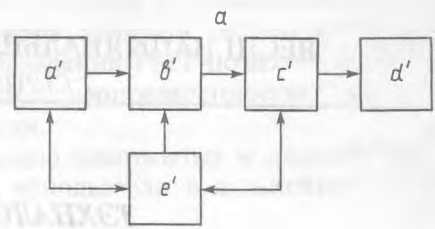


Рис. 2. Обобщенные схемы технологических комплексов для изготовления деталей из листовых материалов (а) и путем лазерного спекания порошковых слоев (б)

ции информационного потока, IV) самоорганизации структуры автомата обеспечивающими их (I—IV) элементами технологической системы: а) деталью, б) инструментом, с) приспособлением, d) станком, приходим к выводу, что невозможно при использовании формообразующей оснастки создать конечный автомат. Поскольку для изготовления детали должна существовать оснастка, а в свою очередь для ее создания должна быть также изготовлена оснастка и т. д.

Таким образом алгоритмы, предложенные, согласно модели самовоспроизведения фон Неймана, позволяют описывать методы изготовления деталей машин без формообразующей оснастки, а обратные им последовательности (методы, использующие оснастку) непредставимы в качестве конечного автомата.

Описание в соответствии с существующими терминами (I—IV) процессов изготовления деталей без формообразующей оснастки алгоритмами по предложенной модели (рис. 1, а) предоставляет возможность анализировать существующие и разрабатывать новые методы прямого «выращивания» деталей машин.

Рассмотрим описанные в [5] методы изготовления деталей машин без формообразующей оснастки [10—15]. Технологический комплекс для изготовления деталей из листовых материалов [10—12] в общем случае включает (рис. 2, а) установку (а'), содержащую лазер и сканирующее устройство для координации раскроя и резки листовых заготовок, манипулятор (b'), обеспечивающий перемещение нарезанных листовых контуров и их укладку в пакет, пресс (с') и печь (d') для формования и объемного спекания сформированных деталей. Система (e') на базе компьютера обеспечивает управление оборудованием технологического комплекса и оптимальный раскрой листа.

Поставив в соответствие потокам вещества и энергии (I) формируемую на прессе (с') и в печи (d') деталь, программе воспроизведения (II) — управляющий компьютер (e'), трансляции информации (III) — сканирование лазером (а'), свяжем элементы структуры (IV) технологического комплекса движениями манипулятора (b') (рис. 1, б), повторив все связи, указанные [5] на обобщенной схеме (рис. 2, а). Из полученного на основе обобщенной схемы технологического комплекса (рис. 2, а) алгоритма изготовления деталей из листовых материалов (рис. 1, б) видно, что отсутствуют операции (4, 4'), связывающие (с', d') с (а'), а направление связи (б) по сравнению с рис. 1, а изменено на противоположное (б').

| № операции | Размерность формообразующей среды | Процессы формообразования для агрегатных состояний технологической среды                |  |   |
|------------|-----------------------------------|---|--|---|
|            |                                   | Твердое   | Жидкое   | Газообразное  |
| 1          | $\Delta d^3$                      | Прессование, спекание порошков и др. частиц   | Формирование слоев наплавкой, вкраплениями расплавленных частиц                        | Формирование слоев осаждением и имплантацией пара, газа и плазмы                  |
|            | $d\Delta d^2$                     | Намотка, припекание волокон, проволок   | Формирование слоев литием, оплавлением поверхностей и покрытий                         | —   |
| 1'         | $\Delta d^3$                      | Послойное формирование наращиваемых поверхностей порошками и другими частицами          | Послойное формирование наращиваемых поверхностей каплями расплавов, растворов          | Послойное формирование наращиваемых поверхностей осаждением пара, газа и плазмы   |
|            | $d\Delta d^2$                     | Послойное формирование наращиваемых поверхностей волокнами, проволоками                 | Послойное формирование наращиваемых поверхностей струями расплавов, растворов          | —   |
| 2          | $d^2\Delta d$                     | Послойное соединение листовых двумерных заготовок из легкоплавких выгораемых материалов | Послойная наплавка, оплавление легкоплавких быстротвердеющих материалов                | Послойное осаждение потоков пара, газа, плазмы легкоплавких выгораемых материалов |
| 2'         | $d^2\Delta d$                     | Послойное прессование, спекание формируемых облочков из материалов детали               | Послойное литье по моделям расплавленных, растворенных материалов                      | Послойное осаждение потоков пара, газа и плазмы материалов детали                 |
| 3          | $d^3$                             | Спекание, сварка сформированных заготовок   | Литье по моделям расплавленных, растворенных материалов                                | Осаждение, имплантация частиц пара, газа, плазмы материалов детали                |
| 4          | $\Delta d^3$                      | Прессование, спекание порошков и других частиц легкоплавких выгораемых материалов       | Формообразование каплями растворов, расплавов легкоплавких быстротвердеющих материалов | Осаждение пара, газа, плазмы легкоплавких выгораемых материалов                   |
|            | $d\Delta d^2$                     | Намотка, припекание волокон, проволок легкоплавких выгораемых материалов                | Формообразование струей растворов, расплавов легкоплавких быстротвердеющих материалов  | —   |
| 4'         | $\Delta d^3$                      | Прессование, склеивание порошков и других частиц для создания оболочковых форм          | Создание оболочковых форм осаждением из раствора и вкраплением расплавленных частиц    | Осаждение пара, газа и плазмы для создания оболочковых форм                       |
|            | $d\Delta d^2$                     | Намотка, приклеивание волокон и проволок для создания оболочковых форм                  | Создание оболочковых форм струей растворов и расплавов                                 | —   |
| 5          | $d^2\Delta d$                     | Соединение листовых двумерных заготовок, слоев из материалов детали                     | Окувание, послойное литье на поверхность и оплавление материалов детали                | Послойное осаждение, имплантация потоков пара, газа и плазмы материалов детали    |
| 6          | $d^3$                             | Сборка из объемных трехмерных заготовок детали  | —  | —   |

Связь (4) пресса и печи ( $c'$ ,  $d'$ ) с установкой для раскроя ( $a'$ ) и обратная связь (4') (рис. 1, б) потребуются в том случае, когда будут соединяться листы из легкоплавких материалов для создания прототипа или листы разнородных материалов, различные по толщине и физико-механическим свойствам. Такие связи обеспечат изменение интенсивности излучения и позволят управлять глубиной реза и расплавления. В этом случае для пресса и печи ( $c'$ ,  $d'$ ) прежде, чем обратная (6'), потребуется прямая (6) связь с манипулятором ( $b'$ ).

Таким образом, изучение алгоритма изготовления деталей из листовых материалов (рис. 1, б) позволяет предложить мероприятия по расширению технологических возможностей комплекса за счет создания слоистой детали из разнородных материалов. Технологический комплекс для получения деталей путем лазерного спекания порошковых слоев [13—15] содержит следующие основные функциональные узлы (рис. 2, б): устройство послойной подачи по-

рошка ( $a''$ ), сканирующее устройство ( $b''$ ) лазера ( $c''$ ), устройство послойного прессования порошка ( $d''$ ) и подложку ( $e''$ ), снабженную приводом вертикального перемещения ( $f''$ ).

Проведем анализ соответствия устройств послойной подачи и прессования порошка ( $a''$ ,  $d''$ ) потокам вещества и энергии (I), сканирующего лазерного устройства ( $b''$ ,  $c''$ ) программе воспроизведения (II) формируемой детали, подложки ( $e''$ ), перемещаемой приводом ( $f''$ ) трансляции информации (III), обеспечивающей самоорганизацию структуры (IV) технологического комплекса (рис. 1, *в*), используя связи, отмеченные [5] на обобщенной схеме (рис. 2, *б*).

Полученный алгоритм изготовления деталей путем лазерного спекания порошковых слоев (рис. 1, *в*) показывает, что присутствует минимальное число связей между устройствами, обеспечивающими быстрое прототипирование заданного макета. Отсутствуют операции (1, 5 и 1', 2'), связанные с программой воспроизведения (II) (рис. 1, *а*), и операция (6), обеспечивающая связь вертикального перемещения ( $f''$ ) формируемой детали с устройствами послойной подачи и прессования порошка ( $a''$ ,  $d''$ ), и обратная связь (4') подложки ( $e''$ ) с ( $a''$ ,  $d''$ ).

Поэтому технологический комплекс необходимо дополнить системой, управляющей лазерным сканированием ( $b''$ ,  $c''$ ) [5], обеспечивающей избирательное спекание различных слоев порошка путем заданных перемещений и интенсивности лазерного луча. Использование управляющей системы восполнит отсутствующие связи в структуре алгоритма (рис. 1, *а*).

Таким образом, изучение алгоритма получения деталей путем лазерного спекания порошковых слоев (рис. 1, *в*) указывает на необходимость применения дополнительного устройства управления по программе воспроизведения детали. Проведенный анализ методов прямого «выращивания» деталей машин показал целесообразность разработки процессов послойного синтеза с управляемым формированием свойств материала концентрированными потоками энергии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

### Summary

The self-reproduction algorithms, describing the methods of making the machine parts without form building equipment were proposed, according to von Neumann's model.

### Литература

1. Г о р ю ш к и н В. И. Основы гибкого производства деталей машин и приборов. Мн., 1984.
2. Б е л я н и н П. И. // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1994. № 6. С. 3–14.
3. С к о р о д у м о в С. В. // Вестн. машиностроения. 1998. № 1. С. 20–28.
4. Х е й ф е ц М. Л. // Технологическое управление качеством поверхности деталей. Киев, 1998. С. 42–50.
5. Т о л о ч к о Н. К., С о б о л е н к о Н. В., М о з ж а р о в С. Е. и др. // Вестн. машиностроения. 1995. № 4. С. 22–25.
6. Н е й м а ц Д. Ж. Теория самовоспроизводящихся автоматов. М., 1971.
7. Н и к о л и с Г., П р и г о ж и н И. Познание сложного: Введение. М., 1990.
8. Х а к е н Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. М., 1991.
9. Х е й ф е ц М. Л. Самоорганизация процессов при высокоэффективных методах обработки деталей. Новополоцк, 1997.
10. Робототехнический комплекс: А. с. 1327408 СССР: МКИ <sup>5</sup> B23 Q 41/00.
11. Робототехнический комплекс: А. с. 1462588 СССР: МКИ <sup>5</sup> B21 D43/00; B23 Q 41/00.
12. Pat. 4752352 USA. Int. Cl<sup>4</sup>, B44 C1/22; C23 F1/02; B23 B31/00; C03 C15/00.
13. Pat. 4863538 USA. Int. Cl<sup>4</sup>, B23 K9/00; B29 C67/00.
14. Pat. 4938816 USA. Int. Cl<sup>4</sup>, B27 N3/00; B23 B31/00; B23 K9/00; B29 C67/00.
15. Pat. 4944817 USA. Int. Cl<sup>4</sup>, B27 N3/00; B23 B31/00; B23 K9/00; B29 C67/00.