

УДК 519.17:519.6

В. Н. Тилипалов, д-р техн. наук, проф.**КОМПЬЮТЕРНЫЙ СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЙ МЕХАНООБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА БАЗЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ**

Выбор оптимального варианта технологического процесса (ТП) механообработки деталей на специальном автоматизированном оборудовании (САО) – одна из задач многокритериальной оптимизации. По сравнению с аналогичной задачей при использовании серийного металлообрабатывающего оборудования задача поиска оптимальной технологии обработки на САО усложняется на два порядка, поскольку даже на уровне маршрутной технологии необходимо указать используемое оборудование. В статье представлено решение первого этапа задачи – поиск оптимальной структуры ТП механообработки деталей на САО с использованием теории графов.

Введение

Проектирование оптимальной технологии всегда представляет собой задачу векторной многокритериальной оптимизации, решения которой достигают поэтапно [1–3]. Нахождение оптимального ТП механообработки деталей на САО входит в этот класс задач оптимизации и включает в себя следующие этапы: генерацию множества вариантов ТП $\{M_1\}$ и отыскание на этом множестве подмножества реализуемых вариантов с учетом возможных конкурентных способов обработки каждой поверхности детали; формализуя и используя известные технологические принципы, находим в n -мерном пространстве свойств подмножество $\{M_2\}$ оптимальных ТП по девяти частным критериям [4], тем самым редуцируем область решений; с учетом наложенных ограничений по определенным алгоритмам подбираем возможные типы САО, получая новое подмножество $\{M_3\}$, которое еще больше сужает область решений; используя ряд математических моделей определяем еще одно подмножество ТП $\{M_4\}$, в котором каждый вариант ТП просчитан экономически [4–6].

Методы

В настоящей работе рассмотрено решение первого этапа задачи отыскания оптимального ТП механообработки деталей на САО. В условиях компьютерного проектирования для решения ряда задач

первого этапа необходимо практически использовать методы теории графов [7].

Предположим, что для обработки каждой i -й отдельной поверхности детали необходимо выполнить i -й технологический переход (часть технологической операции) S_i , тогда имеем конечное множество (из n элементов технологических переходов) $S = \{S_i\}^n$. Используя теорию графов, на множестве $\{S\}$ для каждой пары технологических переходов зададим одно из шести бинарных отношений порядка: 1) предшествования – $(S_i, S_j) = P$ (переход S_i должен выполняться раньше технологического перехода S_j); 2) строгого предшествования – $(S_i, S_j) = \Pi$ (между переходами S_i и S_j не должен выполняться какой-либо другой переход); 3) отношение следования $(S_i, S_j) = C$ (переход S_i должен следовать после перехода S_j); 4) строгого следования – $(S_i, S_j) = \exists$ (когда между переходами S_i и S_j не должен выполняться какой-либо другой технологический переход); 5) отношение независимости – $(S_i, S_j) = H$ (очередность выполнения перехода S_i не зависит от перехода S_j); 6) отношения исключения – $(S_i, S_j) = \Pi$ (выполнение перехода S_i исключает выполнение перехода S_j в этом варианте ТП).

Пусть указанные бинарные отношения будут обладать следующими свойствами:

1) если $(S_i, S_j) = P$, то $(S_j, S_i) = C$;

- 2) если $(Si, Sj) = II$, то $(Sj, Si) = 3$;
 3) если $(Si, Sj) = H$, то $(Sj, Si) = H$;
 4) если $(Si, Sj) = I$, то $(Sj, Si) = I$, (1)

тогда далее можно рассматривать только такие отношения порядка выполнения между переходами (Si, Sj) , где $i < j$.

Фактически мы образуем на множестве $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ биместное отношение M^* , т. е. $M^* \leq S \cdot S$ и $S \neq \Phi$. Биместные отношения SiM^*Sj определяют отношения порядка между технологическими переходами. Отношение строго квазипорядка (II и 3) M^* может быть транзитивным, т. е.

$$\forall s_i, \forall s_j, \forall k (SiM^*Sj \wedge SjM^*Sk) \Rightarrow SiM^*Sk. (2)$$

Когда между переходами установлено отношение нестрогого предпочтения $\nu^*(Si \nu^* Sj)$, то оно тоже может быть транзитивным и иррефлексивным, причем таким отношениям может быть присуща асимметричность, т. е.

$$\begin{aligned} \forall s_i, \forall s_j (SiM^*Sj) &\Rightarrow 1SjM^*Si \text{ и} \\ \forall s_i, \forall s_j (Si\nu^*Sj) &\Rightarrow 1Sj\nu^*Si. \end{aligned} (3)$$

Введение таких отношений позволяет составить топологическую модель структуры ТП в виде графа, матрицы инцидентий и матрицы смежности вершин графа. Определение бинарных отношений на множестве $\{S\}$ позволило редуцировать множество вариантов структур ТП, поскольку по определению структура любого объекта определяется видами его элементов, числом элементов каждого вида и отношениями между элементами.

Поскольку для объективности оптимизации структуры ТП предусмотрена возможность использования разных методов обработки одной и той же поверхности детали (например, симметричные лыски на цилиндрической поверхности можно обработать фрезерованием, строганием, наружным протягиванием и т. п.), то кро-

ме указанных матриц создана еще матрица исключений, с помощью которой в любом генерируемом варианте ТП может использоваться только один вид обработки этой поверхности, а остальные конкурирующие виды обработки исключены.

Хороший эффект дает (как это показано в [4–6]) введение дополнительных (искусственных) элементов множества $\{S\}$ в виде $\inf\{S\}$ и $\sup\{S\}$, которые на графе смежности являются вершинами, однозначно определяющими начало и конец гамильтонова пути в графе ТП. Как известно [5–7], бинарные отношения порядка можно задавать в виде матриц, графов, сечений или окрестностей единичного радиуса. В этой работе использованы матрицы смежности вершин графа, матрицы инцидентий и матрицы исключений.

При автоматизированном синтезе структур ТП выбирать только один, оптимальный вариант рискованно, учитывая погрешности модели критерия отбора, его локальность и другие факторы [3, 4, 7]. Для устранения влияния ранее принятых решений на результат последующих решений при синтезе сложных систем используют принцип Д. Габора [4], заключающийся в неполной конкретизации промежуточных решений, т. е. в выборе не одного наилучшего решения, а некоторой их совокупности, обладающей наибольшей стабильностью свойств, близких к оптимуму. Оптимальный размер подмножества ТП, близких к оптимальному, можно определить в зависимости от процента ошибок экономических моделей и числа конкурентных видов обработки [4].

Выводы

1. Разработанный метод синтеза вариантов ТП механообработки деталей на САО явился частью САПР ТП, позволившей проводить компьютерное проектирование технологий обработки деталей на специальных автоматах, полуавтоматах, малогабаритных агрегатных станках

и автоматических роторных линиях.

2. Использование основных положений теории графов позволяет существенно сократить множество возможных вариантов обработки деталей на САО и исключает возможность упущения действительно оптимального варианта технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Батищев, Д. И.** Методы оптимального проектирования / Д. И. Батищев. – М. : Радио и связь, 1984. – 248 с.

2. **Моисеев, Н. Н.** Методы оптимизации / Н. Н. Моисеев, Ю. П. Иванилов, Е. М. Столяров. – М. : Наука, 1978. – 352 с.

3. **Aoki, M.** Introduction to optimization tech-

niques. Fundamentals and application of nonlinear programming / M. Aoki. – Los Angeles : University of California, 1975. – 327 s.

4. **Тилипалов, В. Н.** Роторные технологии и техника / В. Н. Тилипалов. – Калининград : КГТУ, 2001. – 429 с.

5. **Тилипалов, В. Н.** Основы квалиметрии технологических процессов механической обработки / В. Н. Тилипалов. – Калининград : КГТУ, 2001. – 210 с.

6. **Кузьмин, В. В.** Математическое моделирование технологических процессов сборки и механообработки изделий машиностроения / В. В. Кузьмин, В. Н. Тилипалов, А. Г. Схиртладзе. – Калининград : КГТУ, 1999. – 224 с.

7. **Swamy, M. N.** Graphs, Network and Algorithms. John Willey Sons / M. N. Swamy, K. Thulasiraman. – New York : Chichester – Brisbane – Toronto, 1980. – 427 s.

Калининградский государственный технический университет

Материал поступил 09.01.2008

V. N. Tilipalov

Computer synthesis of details machining technologies based on the graph theory

The choice of an optimum variant of technological process (TP) for machining on special automated equipment (SAE) is one of the problems of multicriterion optimization. In comparison with a similar problem at use of the serial metalcutting equipment the problem of search of optimum technology of processing on SAE becomes complicated on two orders as even at a level of routing technology it is necessary to specify the used equipment. The decision of the first stage of the problem – search of optimum TP structure for machining on SAE with the use of the graph theory is submitted in article.