

## ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНООБРАБОТКИ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук  
(г. Харьков, Украина)

В работе описан опыт создания и внедрения систем автоматизированного проектирования технологических процессов механообработки

В 80-тые годы прошлого столетия получило бурное развитие автоматизированное проектирование технологических процессов и в особенности в металлообработке. Это стало возможным в первую очередь благодаря появлению в технологических отделах машиностроительных предприятий мини-ЭВМ (типа АРМ ТП “Искра-226” и т.д.), с помощью которых можно было решать технологические задачи. Традиционно технологические задачи на предприятиях решались с использованием “больших” ЭВМ (типа ЕС), которые находились в центральном вычислительном центре, применялись для решения бухгалтерских, экономических и различных АСУПовских задач и были, как правило, труднодоступны для технологических отделов.

Из всех САПРовских технологических задач, решаемых на предприятиях, наибольшее развитие получили задачи автоматизированной подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. По сути, мини-ЭВМ использовались для решения именно этих задач, т.к. в этот период времени на предприятия в достаточном количестве поступали станки с ЧПУ и “ручная” подготовка управляющих программ стала не эффективной, а в большинстве случаев – просто не выполнимой.

Основная трудность при подготовке управляющих программ состоит в геометрических вычислениях координат опорных точек траектории движения инструмента при контурной обработке на токарных и фрезерных станках с ЧПУ. Трудоемкость геометрических вычислений в общей трудоемкости подготовки управляющей программы составляет 80-90 %. Под опорными точками следует понимать точки, соединяющие различные участки контура обрабатываемой заготовки, образованные отрезками прямых, дугами окружностей и других кривых более высокого порядка, которыми условно предстает чертеж заготовки. Учитывая то, что в процессе точения контур обрабатываемой заготовки непрерывно изменяется, а при фрезеровании формообразующим контуром является более сложный контур эквидистанты, определение координат опорных точек требует весьма большого количества математических вычислений. При объемной обработке заготовок со сложными пространственными формами на фрезерных станках с ЧПУ время подготовки управляющих программ увеличивается в несколько раз.

Необходимо отметить, что высокая трудоемкость геометрических вычислений при подготовке управляющих программ в ряде случаев ограничивает применение станков с ЧПУ, в особенности при объемной обработке сложных по конструкции штампов, пресс-форм и т.д., которые по-прежнему изготавливаются на малопроизводительных копировальных станках с последующей трудоемкой слесарной обработкой.

Актуальность автоматизированной подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ определила создание большого количества систем автоматизированной подготовки управляющих программ (САП УП), которые предназначались для решения вполне конкретных задач обработки на отдельных станках с ЧПУ и, к сожалению, не охватывали с единых позиций всей совокупности обрабатываемых геометрических поверхностей деталей и систем ЧПУ. Вместе с тем, их роль в повышении эффективности использования станков с ЧПУ трудно переоценить. Об этом свидетельствует большой опыт автора настоящей статьи по разработке и внедрению в 80-тые годы САП УП на предприятиях бывшего Минсельмаша СССР, где было сосредоточено очень большое количество станков с ЧПУ. Это крупные предприятия: Харьковский, Челябинский, Волгоградский, Минский и Липецкий тракторные заводы, Чебоксарский завод промышленных тракторов, Ростсельмаш и Гомсельмаш, Херсонский и Днепропетровский комбайновые заводы, Чугуевский завод топливной аппаратуры, Харьковский завод “Серп и молот” и многие другие.

Задачи автоматизированной подготовки управляющих программ не утратили своей значимости и сейчас, особенно в плане совершенствования математического описания сложной геометрии обрабатываемых поверхностей деталей для автоматизированного расчета траекторий движения инструмента в процессе обработки.

В тот период очень большое внимание уделялось разработке САПР ТП механообработки. Вопросы автоматизированного проектирования технологических процессов занимались многие организации. В результате был разработан ряд “работающих” систем, однако, достаточно широкого применения на предприятиях они не получили. Распространение получили диалоговые системы, работающие по принципу “вопрос - ответ”, которые, к сожалению, не позволяли на основе исходных данных автоматизированным путем рассчитать параметры технологического процесса.

Поэтому автоматизированным путем не удалось в полном объеме решить задачи проектирования маршрутной технологии, но удалось решить ряд важных задач по проектированию операционной технологии. В первую очередь это относится к расчету режимов резания. Например, в СПКТИ АС (г. Харьков) бы-

ла разработана система автоматизированного расчета режимов резания для всех видов механической обработки, которая успешно использовалась на основных крупных предприятиях Минсельмаша. Основным недостатком данной системы состоит в том, что все решения основаны на эмпирических данных, полученных для частных случаев обработки – система базируется на разработанных нормативах режимов резания. Табличное представление нормативов режима резания (а это тысячи сложных многопараметрических таблиц) потребовало больших усилий и времени при создании системы.

Как видим, накопленный опыт создания и эффективного внедрения САПР ТП на машиностроительных предприятиях не столь значительный и требует новых подходов к разработке автоматизированных систем проектирования. Основная причина “всех бед” состоит в том, что технология механообработки математически не формализована. Отсутствуют математические модели, описывающие функционирование основных сторон технологического процесса. Это связано с тем, что математическому моделированию технологических процессов механической обработки уделяется все же очень мало внимания. Почему – то процесс обработки считается изученным при наличии лишь экспериментальных данных. Но этого мало, как с точки зрения понимания глубины явлений рассматриваемого процесса, так и с точки зрения использования этих данных для автоматизированного проектирования технологического процесса. Для решения САПРовских задач необходимы в первую очередь аналитические модели, описывающие параметры технологических операций. Об этом говорится в фундаментальной работе [1], посвященной обобщению опыта автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов. В работе приведены важные теоретические решения, полученные на основе разработанных аналитических моделей механической обработки.

Учитывая важность аналитического моделирования технологических процессов, нами так же решены многие технологические задачи, касающиеся механики и теплофизики резания и шлифования, прочности и износостойкости режущих инструментов, точности, качества, производительности и себестоимости обработки [2,3,4]. Как пример, ниже приведены аналитические решения по механике и теплофизике резания:

$$K_{рез} = tg 2\beta = ctg(\psi - \gamma) = \frac{1 + f \cdot tg \gamma}{f - tg \gamma}, \quad (1)$$

$$\beta = 45^\circ + \frac{\gamma - \psi}{2}, \quad (2)$$

$$P_z = \frac{2ab \cdot \tau_{сдв}}{K_{рез}} \cdot (1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2}) = \frac{2ab \cdot \tau_{сдв}}{tg \beta}, \quad (3)$$

$$P_y = \frac{2ab \cdot \tau_{сдв}}{K_{рез}^2} \cdot (1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2}) = \frac{2ab \cdot \tau_{сдв}}{tg 2\beta \cdot tg \beta}, \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{2\tau_{сдв}}{K_{рез}} \cdot (1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2}) = \frac{2\tau_{сдв}}{tg \beta}, \quad (5)$$

$$\theta_{min} = \frac{2 \cdot \tau_{сдв}}{c \cdot \rho}, \quad (6)$$

где  $K_{рез} = P_z / P_y$  - коэффициент резания;  $P_z, P_y$  - тангенциальная и радиальная составляющие силы резания, Н;  $\beta$  - угол сдвига материала;  $\gamma$  - передний угол инструмента;  $\psi$  - угол трения на передней поверхности инструмента ( $tg \psi = f$  - коэффициент трения);  $a, b$  - толщина и ширина среза, м;  $\tau_{сдв}$  - предел прочности обрабатываемого материала на сдвиг, Н/м<sup>2</sup>;  $\sigma = P_z / (a \cdot b)$  - условное напряжение резания, Н/м<sup>2</sup>;  $\theta_{min}$  - минимальная температура резания, К;  $c$  - удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К);  $\rho$  - плотность обрабатываемого материала, кг/м<sup>3</sup>.

Из приведенных зависимостей следует определяющее влияние коэффициента резания  $K_{рез}$  (соответственно угла сдвига материала  $\beta$ ) на параметры  $P_z, P_y, \sigma$ . Добиться их уменьшения можно увеличением  $K_{рез}$  и  $\beta$  за счет уменьшения разности углов  $(\psi - \gamma)$ , т.е. уменьшением  $\psi$  и увеличением  $\gamma$ .

Нами аналитически определены показатели энергоемкости основных процессов механической и физико-технической обработки материалов. Это позволяет в первом приближении аналитически подходить к проектированию технологических процессов.

Важнейшим вопросом автоматизированного проектирования технологических процессов является поиск оптимальных решений по выбору технологических маршрутов обработки и параметров технологических операций.

Традиционно задачи оптимизации технологических процессов обработки решаются в рамках структурно-параметрической оптимизации с использованием эмпирических зависимостей основных технологических показателей обработки. Для этого чисто интуитивно из собственного опыта технолог назначает несколько вариантов технологического маршрута, математически описывает их и выбирает наиболее оптимальный. Затем производится расчет оптимальных параметров технологических операций (режимов резания

и т.д.). Однако, данный подход не гарантирует выбора оптимального варианта, т.к. в числе рассматриваемых вариантов его может просто не оказаться.

Чтобы более обоснованно подойти к выбору оптимального варианта маршрута обработки, следует использовать теоретические (аналитические) подходы к решению задач структурно-параметрической оптимизации, состоящие в аналитическом описании рассматриваемых процессов обработки. Вместе с тем, как отмечалось выше, математически формализованная теория процессов обработки материалов в настоящее время в полном объеме не разработана. Имеются лишь отдельные решения, что затрудняет применение аналитических подходов. Однако, с определенными допущениями, используя указанные выше аналитические решения задач, структурно-параметрическая оптимизация обработки уже сегодня может быть осуществлена.

#### Список литературы:

1. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов. Учебник для вузов по спец. “Технология машиностроения”, “Металлорежущие станки и инструменты” / С.Н. Корчак, А.А. Кошин, А.Г. Ракович, Б.И. Сеницын; Под общ. ред. С.Н. Корчака. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.

2. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.

3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.1. “Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.

4. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т.4. “Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с.