

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ ОПЕРАЦИИ, ВЫПОЛНЯЕМОЙ НА ДВУХСУППОРТНОМ ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ**

**Каштальян И.А., Орукари Б., Августовский П.А.**  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) требуют эффективной подготовки производства, обеспечивающей высокую их производительность при эксплуатации. В первую очередь это достигается путем проектирования операции с оптимальной структурой, что обеспечивает минимизацию времени цикла изготовления детали.

Структура операции может иметь несколько вариантов (отличаться траекторией обхода элементов контура детали, иметь разные наборы инструментов в наладке и т.д.). Особенно это относится к операциям, выполняемым на двухсуппортных токарных станках, оснащенных микропроцессорными устройствами ЧПУ с функцией независимого управления координатными перемещениями. Основные резервы создания оптимальной операции при этом заключаются в выборе рациональных вариантов совмещения переходов. Автоматизированное решение данной задачи осуществляется поэтапно и заключается в следующем.

На первом этапе синтеза формируется описание информации о детали и информации о технологическом потенциале станка с ЧПУ, на котором данная деталь будет изготовлена. Описание информации о детали представляется в виде массива, который включает следующие поля [1]: код поверхности, вид поверхности, качество, шероховатость, наибольший и наименьший диаметры, длина поверхности, припуск на обработку. Массив сформирован путем анализа исходных данных (информации о детали, описанной на проблемно ориентированном языке). Описание технологического потенциала двухсуппортного токарного станка с ЧПУ представлено в виде треугольной матрицы смежности [2]. В ней обозначены возможные варианты выполнения технологических рабочих ходов: рабочий ход выполняется только с подачей в продольном направлении (точение цилиндрической поверхности); только с поперечной подачей (подрезка торца); при сочетании продольной и поперечной подачи (обработка конической или сферической поверхности). Возможные сочетания технологических рабочих ходов в данной матрице отражаются коэффициентами значимости от 0 до 1. Для технологических рабочих ходов, которые не могут быть совмещены (например, сверление и зенкерование отверстия), коэффициент значимости равен 0. В общем случае один рабочий ход, выполняемый с первого суппорта, может быть совмещен с одним или несколькими рабочими ходами, выполняемыми со второго суппорта. Для проверки возможности такого совмещения

необходимо знать время выполнения каждого рабочего хода. На данном этапе достаточно выполнить предварительную оценку трудоемкости выполнения перехода (основное время обработки поверхности определяется по приближенным формулам).

После представления информации о детали и технологическом потенциале станка выполняется ее анализ: для каждой поверхности определяется необходимость чистовой обработки; устанавливается необходимое число черновых и чистовых рабочих ходов; для каждого рабочего хода выполняется расчет основного времени обработки по приближенным формулам. Если для выполнения рабочего хода требуется перемещение по двум координатам одновременно, то определяется время перемещения по каждой из координат отдельно и из полученных результатов выбирается наибольший. Необходимость чистового рабочего хода определяется в зависимости от точности и шероховатости обрабатываемой поверхности. Требуемое число рабочих ходов рассчитывается как результат деления припуска на максимальную (допустимую) для обработки рассматриваемой поверхности глубину резания. Результатом анализа исходных данных является массив рабочих ходов (МРХ), который включает следующие поля: номер перехода; код поверхности; содержание рабочего хода; время рабочего хода; код рабочего хода. При этом, если для обработки поверхности требуется несколько рабочих ходов, то содержание рабочего хода повторяется в МРХ установленное число раз.

Очередной этап синтеза связан с созданием структурной модели операции (СМО), которая так же, как и описание технологического потенциала станка, представляет собой треугольную матрицу смежности. Исходными данными для составления СМО является разработанный МРХ, который содержит полный перечень рабочих ходов, необходимых для обработки заготовки с указанием времени выполнения рабочего хода и кода поверхности, над которой он выполняется. При составлении СМО коэффициенты значимости выбираются из структурной модели технологического потенциала оборудования для каждого сочетания рабочих ходов, перечисленных в МРХ. Алгоритм заполнения СМО включает следующие этапы: заполнение треугольной матрицы смежности коэффициентами значимости; обнуление главной диагонали матрицы (один и тот же рабочий ход не может быть совмещен сам с собой). Таким образом, СМО представляет собой полный перечень рабочих ходов, необходимых для преобразования данной заготовки в деталь.

На заключительном этапе синтеза создается структурная модель совмещения рабочих ходов, в основу которой структурная модель представления информации о детали и СМО. Алгоритм выбора рационального сочетания переходов для минимизации времени обработки с учетом ограничений, накладываемых техническими возможностями оборудования, включает следующие вычислительные операции.

1. Поиск в СМО оптимального сочетания рабочих ходов (сочетание, которому соответствует максимальное время совмещения обработки при максимальном коэффициенте значимости).

2. Определение перекрываемого времени выполнения  $i$  и  $j$  переходов, которое равно меньшему из рассматриваемых времен, т.е.  $T_{\text{пер}} = \min(t_i, t_j)$ . Полученное перекрываемое время вычитается из времени выполнения каждого из переходов в массиве рабочих ходов. При этом время рабочего хода, указанное в массиве рабочих ходов (после его заполнения), соответствует неперекрываемому времени обработки для каждого рабочего хода. По мере выбора кодов переходов для их совмещения величина неперекрываемого времени уменьшается.

3. Определение кодов рабочих ходов, трудоемкость которых в МРХ после выполнения п.2 алгоритма стала равна нулю. Для рассматриваемых поверхностей (одной или двух) в модели операции коэффициенты значимости обнуляются, когда рабочий ход больше не может быть совмещен ни с одним из других рабочих ходов.

4. Вывод результатов в виде таблицы совмещения рабочих ходов (осуществляется, если все коэффициенты значимости в СМО равны нулю, в противном случае осуществляется переход к п.2 данного алгоритма).

Таблица совмещений включает следующие поля: номер совмещения; коды рабочих ходов, выбранных для совмещения; коды поверхностей, обрабатываемых при совмещении; время совмещения; коэффициент значимости, соответствующий выбранному совмещению. Указание в таблице времени совмещения и коэффициента значимости позволяет технологу отказаться от вариантов совмещений, применение которых не позволяет должным образом увеличить экономическую эффективность обработки или вовсе не может быть реализовано для изготовления конкретной детали. Распределение технологических переходов по суппортам осуществляется на этапе выбора режущего инструмента. Программа по выбору рациональных вариантов совмещения переходов реализована на языке С#.

1. Каштальян, И.А. Структурная модель представления информации о деталях, обрабатываемых на двухсуппортных токарных станках с ЧПУ / И.А. Каштальян, Б. Орукари, // Технология – оборудование – инструмент - качество: тез. докл. междунар. науч.-практич. конф., Минск, 9 -10 апреля 2014 г. / редкол.: В.К. Шелег [и др.]. – Минск, 2014. – С. 56 – 58.

2. Каштальян И.А. Структурная модель технологического потенциала двухсуппортного токарного станка с ЧПУ / И.А. Каштальян, Б. Орукари, А.В. Шпак // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Минск, 05 апреля 2017 г. / редкол.: В.К. Шелег [и др.]. – Минск, 2017. – С. 127 – 129.