

## **ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ЦИКЛОВ ОБРАБОТКИ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ**

*П.П. Переверзев*

Рассмотрены принципы проектирования управляющих программ с оптимальными режимными параметрами для операций механической обработки, выполняемых на металлорежущих станках с ЧПУ.

Ключевые слова: автоматический цикл, шлифование, управляющая программа, оптимизация, динамическое программирование.

Несмотря на длительную историю развития различных научных направлений в области технологии машиностроения, до сих пор отсутствуют отечественные информационно-управляющие и информационно-вычислительные технические системы, позволяющие производить проектирование оптимальных управляющих программ для станков с ЧПУ. В результате, парк металлорежущих станков с ЧПУ используется в машиностроении крайне неэффективно, т.к. управляющие программы для станков подбираются вручную или на основании набранной статистики, что ведет к существенному занижению режимных параметров, снижению производительности, увеличению брака и себестоимости обработки.

Кардинальная причина возникновения такой проблемы кроется в отсутствии теоретических разработок, позволяющих производить расчет оптимальных параметров управляющей программы для станка с ЧПУ для разных видов обработки. Подавляющее число исследователей изучают частные стороны проблемы проектирования оптимальных управляющих траекторий. Наибольшее внимание уделено моделированию силы резания и моделированию технологических ограничений (по точности, шероховатости, дефектному слою, износу и стойкости инструмента), влияющих на производительность операций. Итогом таких исследований являются частные рекомендации по режимам резания для ограниченного числа ограничений в узком диапазоне их варьирования. Очень мало имеется работ, направленных на развитие теории построения оптимальных управляющих программ для металлорежущих станков с ЧПУ, которые одновременно учитывают комплекс технологических ограничений (по параметрам заготовки, обрабатываемой поверхности, станка, режущего инструмента, системы управления станком, нестабильных условий организации производства и протекания процесса обработки) и позволяют рассчитывать следующие оптимальные параметры управляющей программы, по которой ведутся циклы обработки партии заготовок:

1. Оптимальное количество ступеней переключения каждой подачи цикла обработки (поперечной, продольной и др.). Количество ступеней в цикле определяется по количеству программных скоростей подач, изменяющихся в течение всего основного времени, при котором происходит процесс съема припуска под управлением прибора активного контроля.

2. Оптимальное сочетание значений снимаемого припуска на каждой ступени цикла со значениями скорости подачи. Если видов подач несколько, то рассчитываются оптимальные значения сочетаний одновременно по всем подачам.

3. Оптимальные значения частоты (или окружной скорости) вращения заготовки и режущего инструмента.

На кафедре «Технология машиностроения» ЮУрГУ разработана теория построения оптимальных циклов обработки для операций круглого врезного шлифования, в которой:

1. Оптимизация управляющих параметров цикла шлифования выполнена на основе метода динамического программирования. Каждый шаг вариантов расчета проверяется по четырем важнейшим ограничениям – точности, бесприжоговости, шероховатости и осыпаемости круга, обеспечивающим требуемое качество обработки, а также по основным механическим ограничениям технологической системы.

2. Моделирование производительности циклов шлифования в процессе оптимизации базируется на закономерностях изменения силовой нагрузки технологической системы и режимов резания при изменении требуемой

точности обработки, точности заготовок, шероховатости, температур в зоне шлифования (приводящим к прижогам), точности и жесткости элементов технологической системы и других факторов.

3. Моделирование сил шлифования выполнено на основе применения закономерностей механики пластических деформаций металлов в зоне резания и охватывает практически все технологические факторы, влияющие на изменение сил: фактические и программные скорости подач на каждой ступени цикла, скорость детали и круга, механические свойства шлифуемого металла (интенсивность напряжений), геометрические параметры зоны контакта круга и заготовки (диаметры заготовки и круга, ширина обрабатываемой поверхности заготовки), характеристику круга степень затупления зерен круга.

4. Результатом проектирования является управляющая программа циклом обработки, в которой проведено оптимальное разбиение припуска по всем ступеням цикла в сочетании с оптимальными значениями программной скорости подачи на каждой ступени цикла. Управляющая программа обеспечивает максимальную производительность операции круглого врезного шлифования и качество обрабатываемой поверхности для нестабильных условий обработки (колебание припуска, затупление зерен круга, размерный износ круга).

5. Система оптимизации нечувствительна к характеру (линейность, дифференцируемость) применяемых моделей целевой функции и ее ограничений и позволяет включать неограниченное количество ограничений.

Создание такой системы оптимизации стало возможным благодаря разработке следующих теоретических предпосылок к расчету наиболее производительных циклов шлифования.

При проектировании цикла шлифования, необходимо учитывать, что на протяжении всего цикла шлифования текущее значение фактической скорости подачи ограничивается комплексом технологических ограничений, включающим в себя такие основные ограничения, как требуемая точность получаемого размера, шероховатость, бесприжоговость шлифуемой поверхности, осыпаемость круга (рис. 1).

Границы областей этих ограничений для разных деталей с различными чертежными требованиями поверхности заготовки (по точности, исходному радиальному биению) и готовой детали (по точности диаметрального размера, бесприжоговости и шероховатости обрабатываемой поверхности), могут иметь самое разнообразное взаиморасположение, иметь разные очертания. Ограничивать максимальные значения фактической скорости подачи на пути снятия припуска могут разные ограничения. При этом каждое ограничение имеет свое допустимое значение фактической скорости подачи, и зона активного действия каждого ограничения проявляется на разных частях снимаемого припуска. Например, ограничение по осыпаемости круга работает на первой ступени цикла, ограничивая допустимую

наибольшую фактическую скорость подачи; ограничение по шероховатости – на последней ступени цикла, ограничивая величину конечной скорости подачи (выхаживание); ограничение по требуемой точности обработки работает на протяжении всех ступеней цикла, заставляя снижать фактическую скорость подачи до значений, при которых достигается требуемое уточнение заготовки.

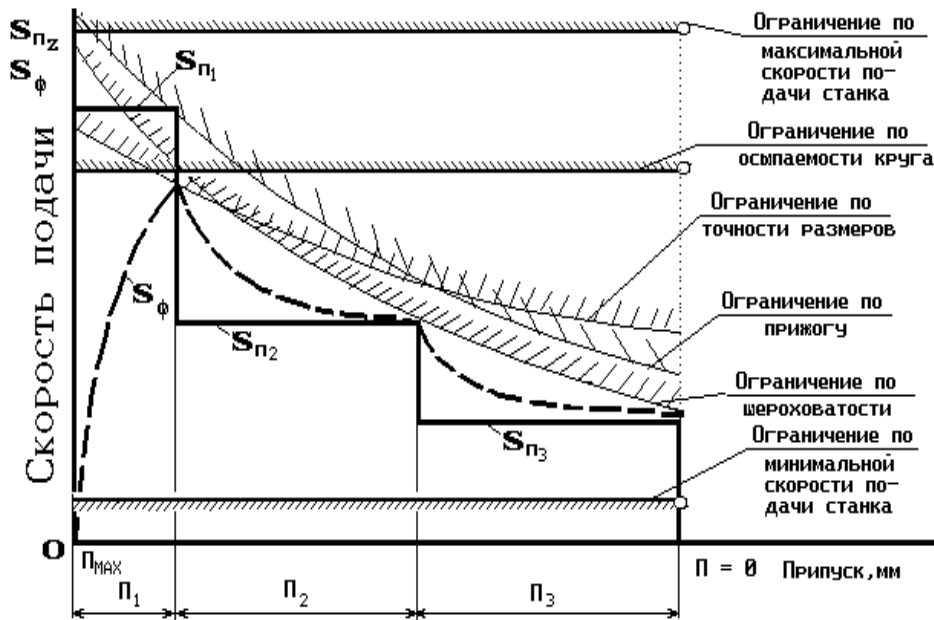


Рис. 1. Область допустимых значений фактических скоростей подач трехступенчатого цикла круглого врезного шлифования:  $S_{\phi}$  – фактическая скорость подачи;  $S_{\pi}$  – программная скорость подачи;  $Z$  – номер ступени цикла

Для определения границ области допустимых значений фактической скорости подачи, необходимо установить расчетную взаимосвязь этих подач со всеми ограничениями. Контурная (активная) граница области допустимых значений состоит из кусков границ нескольких ограничений. Для построения этих границ по каждому ограничению, необходимо разработать методики их построения, учитывающие особенности их физической сущности и механизма влияния на величину допустимого значения фактической скорости подачи на протяжении всего цикла шлифования. Рассмотрим особенности методики построения границ отдельно по каждому ограничению.

Таким образом, ступенчатый график изменения программной скорости подачи в зависимости от оставшейся части припуска представляет собой управляющую программу, по которой настраивается станок на заданный цикл шлифования. Цикл шлифования начинается при максимальном значении снимаемого припуска  $\Pi_{\max}$ . Заканчивается цикл по команде ПАК, когда оставшаяся часть припуска равна нулю, т. е. после съема последней части припуска  $\Pi_3$ .

При проектировании цикла шлифования, для обеспечения максимальной производительности операции необходимо стремиться к тому, чтобы на протяжении всего цикла шлифования текущее значение фактической скорости подачи было максимально допустимым, тем или иным ограничением, на протяжении всего пути снятия припуска.

Для этого надо как можно ближе приблизить фактическую скорость подачи к области ограничений. В этом случае фактическая подача будет наибольшей, а цикл производительней. Поскольку управление фактической скоростью подачи ведется через ступенчатое изменение программной скорости подачи, то чем больше ступеней, тем ближе можно приблизить фактическую подачу к области ограничений, и тем производительней будет цикл. В идеале, бесступенчатый цикл самый производительный, поскольку он заставит фактическую скорость подачи совпасть с областью ограничений. Отсюда следует, что бесступенчатые циклы, (т. е. циклы, с плавным изменением программной скорости подачи) потенциально могут обеспечить полное совпадение траектории фактической скорости подачи с границей области допустимых значений, и, тем самым достичь теоретического предела производительности цикла.

Таким образом, чем больше ступеней переключения программной скорости подачи, тем ближе фактическая скорость подачи приближается к области ее допустимых значений, тем больше среднее значение фактической скорости подачи за время цикла, и, следовательно, тем меньше основное время и больше производительность цикла.

Однако, как показывают расчеты, увеличение количества ступеней цикла целесообразно вести до определенного предела, т.к. наблюдается незначительный прирост производительности цикла при слишком большом количестве ступеней цикла. Например, для операций круглого врезного шлифования, с каждой последующей ступенью, большей пятой ступени – прирост производительности цикла уменьшается и составляет доли процента, что не оправдывает усилий по наладке и управлению. Поэтому на практике применяют 3–5 ступеней. Следовательно, при расчете оптимального цикла, оптимальное количество ступеней цикла надо определять из условия, что прирост производительности цикла при добавлении новой ступени составляет менее 5 %. Таким образом, если кто-то утверждает, что цикл обработки на станке с ЧПУ априорно должен быть, например, только 3-х ступенчатым, это значит, он не понимает принципа формирования высокопроизводительного цикла.

В настоящее время ведутся научные исследования по расширению возможностей системы оптимизации, позволяющей рассчитывать оптимальные циклы для нескольких подач и оптимальные характеристики режущего инструмента.

### Библиографический список

1. Беллман, Р. Динамическое программирование / Р. Беллман. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960. – 400 с.
2. Лурье, Г.Б. Оптимизация цикла шлифования на основе адаптивного управления / Г.Б. Лурье // Машиностроитель. – 1979. – № 3. – С. 12–14.
3. Михелькевич, В.Н. Автоматическое управление шлифованием / В.Н. Михелькевич. – М.: Машиностроение, 1975. – 304 с.
4. Переверзев, П.П. Оптимизация автоматических циклов круглого врезного шлифования: дис. ... д-ра техн. наук / П.П. Переверзев. – Челябинск, 1985. – 302 с.
5. Николаенко А.А. Моделирование обеспечения точности обработки при плоском глубинном шлифовании периферией круга / А.А Николаенко // Технология машиностроения. – 2011. – № 5. – С. 57–59.