

Шамазанашвили А.Н.

МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ НЕСТАБИЛЬНОСТЕЙ

Основным звеном технологической надежности производственных систем является надежность спроектированных рабочих процессов и управляющих программ (УП). Неработоспособность управляющих программ как обычно обусловлено нестабильностью производственных условий, что выражается в наличие таких технологических возмущении как колебание физико-механических свойств заготовок, припуска на обработку, параметров технологической системы и т.п. В таких условиях особую значимость приобретает задача разработки методов коррекции УП для различных технологических возмущающих воздействий. При этом определение корректируемых параметров в управляющей программе и разработка соответствующих методов коррекции, требует проведения исследований влияния технологических возмущений на элементы операционного процесса. В этой связи необходимо:

1. Изучение характера технологических возмущений;
2. Разработка имитационной модели операционного процесса;
3. Декомпозиция структуры операционного процесса;
4. Исследование влияния технологических возмущений на структурные элементы различных уровней декомпозиции операционного процесса посредством имитационного моделирования;

В настоящей статье рассмотрены методы коррекции управляющих программ по измененным значениям припуска на обработку и твердости заготовок для случаев токарной обработки.

Изменение припуска обусловлено несколькими факторами. По

расчетно-аналитическому методу определения припуска (РАМОП), максимальный припуск на обработку, из которого в дальнейшем вычисляется глубина резания, определяется как

$$2 Z_{\max} = 2 (Rz+h)+2 ()+2 +Td +Td \quad (1)$$

где

Rz -высота неровности припуска

h -глубина дефектного поверхностного слоя

-суммарное отклонение расположение поверхностей (отклонение от параллельности, перпендикулярности, кривизна и т.д.)

-погрешность установки заготовки

Td-допуск на размер

В (1) параметры Rz, h, , и Td характеризуют исходное состояние заготовки. Обозначим их сумму через :

$$=Rz+h+ +Td/2 \quad (2)$$

Величина имеет случайные значения и зависит от типа заготовок, а также от технологии их изготовления. Так в частности в результате производственных наблюдений, а также по данным справочно-нормативных источников установлено что для разных материалов, максимальные значения в среднем могут достигать для - отливок 4,15-13,6мм; поковок 11,7-15,2мм; штамповок 3,85-5,6мм; проката 3,9-4,1мм;

Таким образом наиболее существенные колебания припуска наблюдаются у отливок и поковок для которых значения случайной величины соизмеримы с значениями назначаемых глубин резания и могут привести к существенным неточностям в управляющей программе.

Колебание твердости материала заготовок в партии зависит от методов упрочняющей термообработки и по данным работы [1] наиболее ярко выражены для высокопрочных материалов для которых поле рассеивания твердости может достигать 120-150 единиц по бринеллю, т.е. примерно 45% от среднего значения.

Для формирования имитационной модели операционного процесса необходимо моделирование процесса перемещения режущего инструмента сопряженного с соответствующими преобразованиями контуров заготовки. Иными словами это означает моделирование процесса резания и процесса преобразования контуров заготовки при удалении объема материала на каждом отдельном проходе инструмента.

При этом в основу модели процесса резания лежит степенная стойкостная зависимость

(3)

Предусмотрено возможность моделирования обработки в двух случаях:

1) С переменными, по траектории перемещения инструмента, значениями режимов обработки, с соответствующим выражением для затрат на проходе:

(4)

где

Ес-стоймость станкоминуты работы оборудования

-объем удаляемого на проходе материала

-при критерий максимальной производительности

-при критерий минимальной себестоимости

Еи-стоймость инструмента включая стоймость переточек
Qб.х.і-затраты связанные с быстрым перемещением инструмента
на каждом проходе

2) С постоянными по траектории значениями V и S, с соответствующим выражением для затрат на проходе:

(5)

где

(6)

(7)

(8)

(9)

[Н]-параметр уравнение которого характеризуется относительно большим влиянием на целевую функцию подачи по сравнению со скоростью резания;

[Ф]-параметр уравнение которого характеризуется относительно большим влиянием скорости резания на целевую функцию чем подачи;

ϕ, ϕ, ϕ, h, h -соответствующие показатели степени в уравнениях [Н] и [Ф];

Различные условия обработки задаются посредством пяти законов управления [НФ], полученных в результате анализа граничных условий. Это:

- [PV]-управление с заданным усилием и скоростью резания;
- [PT]-управление с заданным усилием резания и оптимальной стойкостью режущего инструмента;
- [SV]-управление с заданной подачей и скоростью резания;
- [SN]-управление с заданной подачей и мощностью резания;
- [ST]-управление с заданной подачей и оптимальной стойкостью режущего инструмента;

Операционный процесс можно представить как систему переводящую объект из состояния заготовки в состояние готовой детали. При этом как известно операционный процесс для станков с ЧПУ дополнительно характеризуется запрограммированными действиями исполнительных органов станка, поэтому декомпозицию структуры операции необходимо произвести по двум системозначным свойствам. По свойству обрабатываемости - характеризующее технологию перевода объекта из состояния заготовки в состояние готовой детали; и по свойству управления - характеризующее управляющее воздействие на исполнительные органы станка. Соответствующая схема декомпозиции операционного процесса приведена на рис. 1.

Для анализа влияния технологических возмущений на структурные элементы операционного процесса, в качестве критерия оценки примем величину относительного сокращения приведенных затрат на обработку "базового" процесса

где

Q_b - приведенные затраты на обработку при "базовом" процессе;
 Q_k - приведенные затраты на обработку при "скорректированном" процессе;

При этом анализ влияния технологических возмущений произведем относительно примитивных элементов структуры операционного процесса полученных в результате декомпозиции операции по свойству "обрабатываемости" и "управления".

Элемент характеризующий условия обработки (3 уровень), для принятой математической модели процесса резания однозначно определяется через законы оптимального управления режимами обработки. В свою очередь существует достаточное количество исследований влияния технологических возмущений на законы управления. Кроме того в большинстве случаев (но не всегда) изменение конструкторского элемента, а также типа режущего инструмента, обуславливает необходимость выбора новой схемы движения. Поэтому ее можно считать как бы "параметром", характеризующем конкретную совокупность конструкторского элемента и обрабатываемого инструмента. Следовательно анализ влияния технологических возмущений на структурные элементы 3-го уровня декомпозиции операционного процесса, произведем применительно к схемам перемещения инструмента.

Что же касается структурных элементов, полученных в результате декомпозиции операционного процесса по свойству "управления", то исследования проведем относительно коррекции параметров режима обработки, а также коррекции траектории движения инструмента - по числу проходов, глубине резания на каждом проходе и

по координатам опорных точек траектории.
Коррекция схемы.

Анализ эффективности коррекции схем движения инструмента, при действии технологических возмущений, имеет смысл проводить для случаев наличия альтернативных вариантов перемещения инструмента. При этом возможно исследовать условия оптимальности применения каждой схемы и оценить действия технологических возмущений на эти условия.

С этой точки зрения в большинстве случаев формаобразующие и специальные схемы движения характеризуются единственностью решения, поскольку они разрабатываются исходя из специальных требований к процессу. Следовательно если технологические возмущения не изменяют указанных требования, то соответствующие схемы можно считать "постоянными" и проведение анализа не имеет смысла. В тех редких случаях, когда для таких условий все же существуют альтернативные варианты схем движения инструмента, проведение анализа затруднено из-за сложности формализации условий оптимальности оригинальных схем. Поэтому исследование эффективности коррекции схем движения инструмента в зависимости от технологических возмущений, произведем относительно схем выборок.

В большинстве случаев все многообразие схем выборок в конечном итоге определяет движение инструмента параллельно координатным осям станка - для деталей типа тел-вращения это поперечная и продольная к оси вращения шпинделя, направления (рис. 2).

Многие исследователи в качестве критерия выбора схемы движения, используют показатель минимального числа проходов инструмента. В основном это обусловлено следующим:

1) На каждом отдельном проходе в начале контактирования с обрабатываемой заготовкой, режущие лезвия резцов подвергаются мгновенному действию силовой нагрузки, в результате чего более интенсивно изнашиваются контактные площадки лезвия, наблюдаются частые скальвания лезвий резцов;

2) При завершении рабочего хода, на каждом отдельном проходе, производится отвод инструмента на быстром ходу в точку начала следующего прохода, следовательно с увеличением числа прохода возрастают затраты на ускоренные перемещения.

В настоящее время процесс интенсивного износа инструмента в начальный момент контактирования с заготовкой слабо изучен и отсутствие аналитических зависимостей исключают возможность проведения анализа;

Для затрат связанных с быстрым перемещением инструмента на проходе справедливо выражение:

$$Q_{б.х.} = E_c t \quad (11)$$

где t - время быстрого хода

$$(12)$$

где

- время разгона/торможения;

- длина участка разгона/торможения

$S_{б.х.}$ - подача быстрого хода (м/мин)

- длина участка быстрого хода на i -ый проход

В свою очередь число проходов зависит от геометрических параметров обрабатываемого контура. Так в случае равномерного распределения припуска на проходы число проходов K_i :

$$\begin{aligned} [(D_z - D_d) / 2 t] & \text{ продольная схема} \\ [(Z_z - Z_d) / t] & \text{ поперечная схема} \end{aligned} \quad (13)$$

где D_z, D_d, Z_z, Z_d - соответственно диаметры и длины заготовки и контура детали;

t - заданная глубина резания

а фактическая глубина резания на проходе:

$$t = (D_z - D_d) / 2 K_i \quad (14)$$

Таким образом, в зависимости от соотношения длины и высоты припуска можно оценивать эффективность применения продольных либо поперечных схем движения инструмента. При этом в результате действия технологических возмущений изменение геометрических параметров припуска может повлиять на условия оптимальности выбранной схемы движения инструмента, что в свою очередь приведет к необходимости ее переключения.

Проведенные исследования показали что для высокопрочных материалов доля затрат на обработку мала, следовательно схемы фактически являются равноценными для любых значений V/N . Поэтому сравнительный анализ проведем для условий: материал заготовки Д16Т, инструмент Т15К6, $E_s = 6.7$, $\nu = 4.5$, $S_b.x. = 10 \text{ м/мин}$, $\alpha = 0.9$, $H_V = 100$, $V = 150 \text{ м/мин}$, $P_z = 300 \text{ кгс}$, $D_d = 10 \text{ мм}$, $V = 21$. Результаты имитационного моделирования приведены на рис.4,а; а соответствующая кривая относительного сокращения приведенных затрат на обработку $= F(\Phi)$, где $\Phi = N / (N + \dots)$, на рис.4,б.

Как видно из графика выбранная схема перемещения инструмента слабо чувствительна к внешним воздействиям и в УП ее можно не корректировать даже при значительных возмущающих воздействиях. Коррекция режимов.

Эффективность коррекции режимов исследуется для случаев изменения припуска и твердости на примере однопроходной обработки цилиндрической заготовки (рис.5). При этом анализ для законов [PT] и [ST] произведем с целевой функцией (5). Тогда при снижении величины припуска (и соответственно глубины резания) для функции, с учетом выполнения условий [H]=const и [Ф]=const, получим

(15)

где

$$\begin{aligned} e=0; d= & \text{ для [PT]} \\ e=0; d= & \text{ для [ST]} \end{aligned}$$

и

(16)

где

$$m=[V] \{ [P] \text{ Cp HB }) \text{ Ct/} \quad \begin{aligned} & \text{ для [PV]} \\ & \text{ для [SV]} \end{aligned}$$

Соответствующим образом при изменении твердости для законов [PT] и [ST] справедливо:

(17)

где

$$e=0; d= \quad \begin{aligned} & \text{ для [PT]} \\ & \text{ для [ST]} \end{aligned}$$

а для законов [PV] и [SN]

(18)

где

$$\begin{aligned} d &= n / && \text{для [PV]} \\ d &= n(1 -) && \text{для [SN]} \end{aligned}$$

Результаты моделирования условий обработки: марка материала ВТ-4, инструмент Т15К6, [Pz]=300кгс, T=30мин приведены на рис. 6 а, в. Как видно из рисунка коррекция наиболее эффективна для закона [PV] а также в случае регулирования V и S одновременно. Крутизна возрастания функции $\sigma = F(\Phi)$ зависит от показателя степени d, который при изменении припуска колеблется в пределах: $d = 0.6-1.17$; $d = 0.15-0.2$; а при изменении твердости $d = 1.33-1.73$; $d = 1-1.3$;

Коррекция траектории.

Исследование эффективности коррекции траектории движения инструмента включает анализ влияния коррекции числа проходов и координат опорных точек траектории на функцию $\sigma = F(\Phi)$ при изменении припуска.

В общем случае при изменении припуска возможны два варианта действия: 1) Коррекция режимов по условию $[H]=const$ $[\Phi]=const$; 2) Коррекция режимов с одновременной коррекцией числа проходов и координат опорных точек траектории;

Как уже отмечалось случайная величина σ в ряде случаев соизмерима с назначаемой глубиной резания т.е. Следовательно возможно уменьшение фактической глубины резания t до таких значений при которых коррекция режимов по условию $[H]=const$ $[\Phi]=const$ для заданного закона управления, приведет к резкому росту затрат на съем единицы объема материала - .

В результате при большой крутизне возрастания функции σ ,

несмотря на уменьшение удаляемого объема материала, увеличиваются суммарные затраты на обработку - Q . Данная зависимость главным образом определяется показателем степени n в выражении (5) - чем меньше значение n , тем сильнее эта зависимость. Поэтому при различных законах управления влияние n на Q имеет неоднозначный характер.

Для закона [PV] значение n колеблется в пределах -0.61- -1.73. Результаты моделирования для условия обработки: марка материала ЭИ437В, инструмент ВК8, НВ=260, [Pz]=200кгс, $V=150\text{м/мин}$ $t=4.6\text{мм}$, $\alpha=4.5$, приведены на рис.7а.

Для закона [PT] $n=0.04--0.18$. Результаты моделирования для тех же условия обработки приведены на рис.7б.

Для закона [SN] $n=-2.28--4.25$, поэтому зависимость еще более сильна чем в случае [PV]. А для остальных законов управления соответственно $n=-0.8--0.85$; $n=0--0.42$ и характер зависимости приблизительно такой же что и при законе [PT].

Таким образом при значительных колебания припуска для законов [PV] и [SN] коррекция режимов обработки приводит к снижению эффективности коррекции $\Delta F(\Phi)$, а порой может явиться и проигрышной по сравнению с базовым вариантом; а для законов [PT], [ST] и [SV] описанный выше характер зависимости $\Delta F(\Phi)$ сохраняется.

При одновременной коррекции режимов обработки и траектории движения инструмента для фактического значения припуска определяются число проходов, глубина резания на каждом проходе и координаты опорных точек. При этом на каждом проходе по рассчитанной глубине для заданного закона управления происходит коррекция режимов по условию $[H]=\text{const}$ $[\Phi]=\text{const}$. В результате значение ве-

личины перераспределяется на проходы в связи с чем даже при значительных возмущениях когда , и т.д., фактическая глубина резания на каждом проходе не уменьшается до значения после которого взаимосвязь сильно выражена. При этом характер зависимости $=F(\Phi)$ для законов [PV] и [SN] примерно соответствует вышеописанному (рис.6). Результаты моделирования для рассматриваемого примера при законе [PV] приведены на рисунке 8.

Выводы

- 1) В случае если при изменении припуска производится регулирование режимов обработки без коррекции траектории, то для законов управления [PV], [SN] такая коррекция малоэффективна (порой и проигрышна) так как при этом увеличение оказывает преобладающее влияние на суммарные затраты, чем уменьшение объема. А в случае если производится регулирование режимов обработки с одновременной коррекцией траектории то для [SN] и [PV] увеличение незначительно, и суммарные затраты уменьшаются пропорционально уменьшению объема. С другой стороны в любом случае если нет дополнительных ограничений по стойкости режущего инструмента, оптимальному управлению при черновой обработке соответствует управление [PV] и [SN]. Все остальные законы при этом, такие как [MV], [MN], [Mn] и др., аналогичны им. Поэтому можно установить что на черновых операциях при возмущающих воздействиях коррекциям в УП подвергнуты параметры режимов обработки по условию $[H]=const$ $[\Phi]=const$, число проходов инструмента и координаты опорных точек траектории;

- 2) В случае если ограничения по стойкости режущего инструмента все же существуют, то коррекция траектории в УП необязательна и возможно ограничится регулированием режимов по заданному закону управления.
- 3) При колебании твердости обрабатываемого материала, наиболее эффективным является коррекция по закону $[PV]$, а также по V и S одновременно.
- 4) Коррекция схемы перемещения инструмента малоэффективна, поэтому выбранную схему в УП можно не корректировать в широком диапазоне изменения возмущения.