

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ МОДУЛИРОВАННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПОДАЧИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА СТАНКА С ЧПУ

**Каштальян И.А., Шпак А.В., Романенко В.И.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Известен способ повышения виброустойчивости технологической системы при изготовлении нежестких деталей на токарных станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Способ заключается в замене постоянной подачи резца переменной, модулированной подачей, которую между ее пиковыми значениями изменяют приращениями, величиной кратной дискретности задания скорости подачи на станке, причем длину перемещения резца между приращениями подачи выбирают кратной дискретности перемещения резца по управляемой, при обработке с модулированной подачей координате [1].

Недостатком данного способа является постоянная частота изменения подачи между ее пиковыми значениями (постоянная длина пути разгона замедления) при отработке кадра управляющей программы. Этот недостаток при осуществлении на станке вибрационного резания в отдельных случаях приводит к резонансным явлениям. Для уменьшения вероятности проявления резонанса предложен модифицированный алгоритм модулированной подачи. Сущность алгоритма заключается в том, что при обработке с заменой постоянной подачи переменной модулированной подачей, которую между ее пиковыми значениями изменяют приращениями, величиной кратной дискретности задания скорости подачи увеличивают на величину кратную дискретности задания скорости подачи на станке, причем длину перемещения резца между приращениями подачи выбирают кратной дискретности перемещения резца по управляемой при обработке с модулированной подачей координате и после каждого очередного разгона (замедления) длину пути перемещения резца между приращениями подачи увеличивают на величину кратную дискретности перемещения по управляемой при обработке координате (Рис. 1).

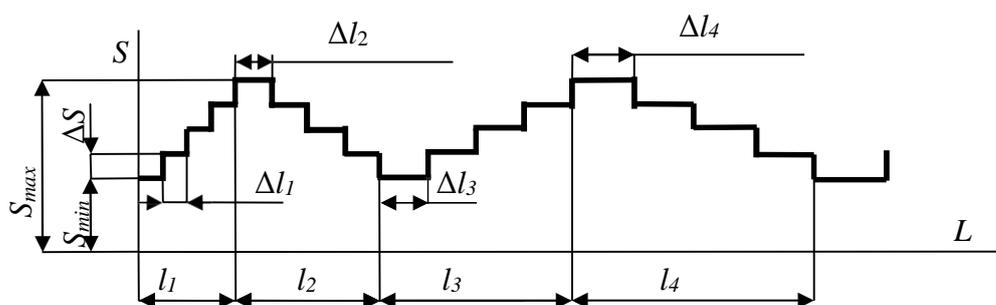


Рис. 1 – Диаграмма модулированного изменения подачи

Модулированное изменение подачи заключается в периодическом ее увеличении от  $S_{\min}$  до  $S_{\max}$  с последующим снижением до первоначального значения. Подача между ее пиковыми значениями изменяется приращениями на величину  $\Delta S$  по мере обработки участков между этими приращениями определенной длины. Для этого устройство ЧПУ поочередно реализует зависимости  $S_{\max} = S_{\min} + n_s \Delta S$  и  $S_{\min} = S_{\max} - n_s \Delta S$ , где  $n_s$  - число приращений скорости подачи при ее изменении от  $S_{\min}$  до  $S_{\max}$ . Фактически реализуется циклический процесс изменения подачи между ее пиковыми значениями. В первом цикле изменение подачи (разгон от  $S_{\min}$  до  $S_{\max}$ ) осуществляется приращениями на величину  $\Delta S$  по мере обработки участков заготовки  $\Delta l_1$  между этими приращениями. Длина пути разгона при этом определяется из выражения  $l_1 = n_s \Delta l_1$ . Во втором цикле изменение подачи (замедление от  $S_{\max}$  до  $S_{\min}$ ) длину участка заготовки между приращениями подачи, принятую в первом цикле, увеличивают на величину  $\Delta l'$ , кратную дискретности перемещения по управляемой при обработке заготовки координате, т.е.  $\Delta l_2 = \Delta l_1 + \Delta l'$ . Тогда длина пути замедления в этом цикле увеличится и может быть определена по следующей зависимости  $l_2 = n_s \Delta l_2 = n_s (\Delta l_1 + \Delta l')$ . Значения  $\Delta l_3$  и  $l_3$  в третьем цикле изменения подачи (разгон от  $S_{\min}$  до  $S_{\max}$ ) соответственно могут быть определены из выражений:  $\Delta l_3 = \Delta l_1 + 2\Delta l'$ ;  $l_3 = n_s (\Delta l_1 + 2\Delta l')$ . Такой процесс наращивания в каждом цикле разгона (замедления) длины участка пути перемещения резца между приращениями подачи на величину  $\Delta l'$  будет осуществляться до конца отработки кадра управляющей программы.

Значение  $\Delta S$  выбирается кратным дискретности задания подачи на станке с ЧПУ (максимальному значению скорости подачи, которое может быть задано в управляющей программе и отработано приводом подачи). Значения  $\Delta l_1$  и  $\Delta l'$  принимаются кратными дискретности перемещения (длине перемещения исполнительного органа станка при подаче устройством ЧПУ одного импульса). Для современных станков с ЧПУ минимальное значение  $\Delta S$  равно 0,1 мм/мин, а минимальные значения  $\Delta l_1$  и  $\Delta l'$  могут быть приняты 0,001 мм.

В кадре управляющей программы совместно с другой геометрической и технологической информацией задаются значения  $S_{\min}, n_s, \Delta S, \Delta l_1, \Delta l'$ . Параметры  $(S_{\min}, \Delta S, n_s, \Delta l_1, \Delta l')$ , характеризуют режим перемещения режущего инструмента вдоль обрабатываемой поверхности заготовки (детали) в процессе ее формообразования (обработки) с модулированной подачей. Фактически эти параметры определяют последовательность действий над обрабатываемой заготовкой. Они

являются управляемыми и характеризуют закон изменения подачи при обработке участка поверхности, длина которого задана в управляющей программе. Этот закон определяется математической моделью и алгоритмом управления.

Отработка кадра управляющей программы, в которой заданы параметры модулированного изменения подачи, начинается с перемещения резца вдоль обрабатываемой заготовки, совершающей главное движение резания (вращение) со скоростью подачи  $S_{\min}$ . Когда резец переместится на длину  $\Delta l_1$ , скорость подачи увеличивается на величину  $\Delta S$ . Вследствие этого, следующий (второй) участок заготовки длиной  $\Delta l_1$  будет обрабатываться со скоростью подачи равной  $S_{\min} + \Delta S$ . После завершения обработки этого (второго) участка поверхности длиной  $\Delta l_1$ , подача в очередной раз увеличивается на величину  $\Delta S$  и становится равной  $S_{\min} + 2\Delta S$ . Очередной участок заготовки длиной  $\Delta l_1$ , обрабатывается с подачей, равной  $S_{\min} + 3\Delta S$ . Такое дискретное увеличение скорости подач резца вдоль обрабатываемой поверхности заготовки на величину  $\Delta S$  по мере обработки участков заготовки длиной  $\Delta l_1$  осуществляется до тех пор, пока не будет обработан участок поверхности заготовки длиной  $l_1 = n_s \Delta l_1$ , где  $n_s$  - число приращений подачи на участке поверхности длиной  $\Delta l_1$ . Скорость подачи при этом увеличивается от  $S_{\min}$  до  $S_{\max}$  (режим разгона). Далее, на участке поверхности заготовки длиной  $l_2 = n_s \Delta l_2 = n_s (\Delta l_1 + \Delta l')$  резец относительно заготовки перемещается с замедлением (скорость подачи дискретно уменьшается на величину  $\Delta S$  по мере обработки участков заготовки длиной  $\Delta l_2 = \Delta l_1 + \Delta l'$  от  $S_{\max}$  до  $S_{\min}$ ). Очередное увеличение скорости перемещения резца относительно заготовки от  $S_{\min}$  до  $S_{\max}$  также осуществляется приращениями величиной  $\Delta S$ , но длина участка поверхности заготовки между приращениями  $\Delta l_3$  по сравнению с  $\Delta l_2$  на этот раз больше на величину  $\Delta l'$ , т.е.  $\Delta l_3 = \Delta l_1 + 2\Delta l'$ . Вследствие этого, длина  $l_3$  перемещения резца относительно заготовки, на котором подача дискретно изменяется от  $S_{\min}$  до  $S_{\max}$ , увеличиться и будет равна  $l_3 = n_s \Delta l_3 = n_s (\Delta l_1 + 2\Delta l')$ . Очередной цикл дискретного изменения подач от  $S_{\max}$  до  $S_{\min}$  будет реализован на участке поверхности заготовки еще большей длины  $l_4 = n_s \Delta l_4 = n_s (\Delta l_1 + 3\Delta l')$ . Процесс наращивания в каждом цикле разгона (замедления) длины участка поверхности заготовки между приращениями подачи на величину  $\Delta l'$  позволяет увеличивать длину поверхности заготовки, на которой скорость подачи изменяется между ее пиковыми значениями ( $S_{\min}$ ,  $S_{\max}$ ). В результате, время разгона (замедления) по мере перемещения резца вдоль обрабатываемой поверхности заготовки возрастает, что исключает возможность совпадения

частоты осцилляции подачи (частоты изменения подачи между ее пиковыми значениями) с частотой автоколебаний, возникающих в процессе резания (исключается явление резонанса).

Периодическое изменение скорости подачи резца (осцилляция) вдоль обрабатываемой поверхности заготовки между ее пиковыми значениями ( $S_{\min}$ ,  $S_{\max}$ ) с дискретностью  $\Delta S$ , осуществляется на всей длине поверхности заготовки, обрабатываемой с модулированной подачей (пока резец не выйдет в точку, координаты которой заданы в кадре управляющей программе).

Замена постоянной подачи переменной, модулированной подачей по данному модифицированному алгоритму, позволяет повысить устойчивость технологической системы к автоколебаниям при обработке нежестких заготовок на токарных станках с ЧПУ.

1. Каштальян, И.А. Математические модели и алгоритмы управления нестационарными процессами формообразования на станках с ЧПУ / И.А. Каштальян // Автоматизация и современные технологии. – 2006. - № 6. – С. 18–24.