

УДК 621.91.52

Управление формообразованием деталей с использованием упреждающих сигналов

Л.К Генералов

Аннотация. Рассмотрен метод повышения точности токарной обработки на станках с ЧПУ основанный на использовании упреждающих сигналов, получаемых путем моделирования системы автоматического управления. Упреждающий сигнал позволяет поддерживать ток в якорной цепи двигателя постоянной величины при изменении нагрузки на привод, что достигается регулированием глубины резания в процессе обработки. В результате упругие деформации детали стабилизируются и точность обработки повышается.

Ключевые слова: точность; упреждение; модель; обработка; токарная; податливость; коррекция; усилие; ток; двигатель.

Управление точностью формы деталей в процессе изготовления является важным условием при проектировании технологических систем. Важность определяется сложностью и спецификой управления процессом резания, представляющим собой нелинейный и нестационарный объект с неизвестными параметрами. Отсутствие технической возможности измерения параметров резания и отдельных возмущающих воздействий выдвигает новые задачи по получению априорной информации ее использованию для управления. Применяемое комбинированное управление процессом резания, частично решает указанную проблему, поскольку не все переменные поддаются регистрации с помощью обратных связей и кроме того существующее запаздывание при формировании и прохождении корректирующих сигналов является причиной появления остаточной погрешности обработки.

Развитие методов точной компенсации некоторых видов возмущающих воздействий и точного отслеживания эталонных сигналов, позволяют решить поставленную задачу, используя принцип упреждения [1]. Управление с упреждением является известной концепцией в практическом проектировании систем управления, но для управления процессом резания они не находят широкого применения несмотря на высокую эффективность. Рассмотрим

использование указанного метода на примере обработки деталей на станке с ЧПУ, оснащенном адаптивной системой автоматического управления.

В качестве примера рассмотрим обработку валов, жесткость которых недостаточна для обеспечения заданной формы детали, в результате чего в продольном сечении имеем вогнутую или выпуклую поверхность. Приемы для устранения указанной погрешности существуют, например, использование дополнительных опор или смещение инструмента относительно обрабатываемой поверхности в зависимости от вида искажения образующей поверхности детали.

С точки зрения автоматического управления наиболее приемлемым является второй способ компенсации погрешности, но требующий доработки в части устранения запаздывания при отработке сигналов обратных связей. Эффект запаздывания обусловлен временем протекания физических процессов при резании, их регистрацией, обработкой, выработкой корректирующего воздействия и его отработкой [2.3]. В реальных системах управления все указанные действия могут быть реализованы только после совершения события.

Учитывая, что время является физической величиной, реально устранить отставание не представляется возможным, поэтому требуется упреждающая подача корректирующего сигнала в систему управления приводом. При этом возникает вопрос, откуда взять корректирующий сигнал, если процесс резания не реализован? Ответ заключается в его предварительной подготовке с помощью математической модели привода, включающей процесс резания. Модель процесса резания разделена на две части, одна из которых подвергается действию внешних возмущений, а другая нет. Структурная схема упреждения возмущений в общем виде имеет вид, показанный на рис. 1, где: $W_y(p)$ - передаточная функция системы управления; $W_{M1}(p)$ - передаточная функция модели процесса резания, подвергаемая изменению под действием возмущений; $W_{M2}(p)$ передаточная функция модели, не подвергаемая изменению под действием возмущений; $W_f(p)$ - передаточная функция возмущающего воздействия; $G(p)$ - входное воздействие; $U(p)$ - выходной сигнал системы управления; $Y(p)$ - выход модели.

Приведенная модель имеет упрощенный вид по сравнению с истинным процессом, но позволяет комбинировать аналитическое представление возмущений с их реальной отработкой, опережая действующие возмущения.

Применительно к обработке резанием формирование упреждения может быть связано с необходимостью стабилизации силы резания, от которой во многом зависят точность изготавливаемых деталей. Так упругое отжатие заготовки при обработке можно исключить, если

силовое воздействие в зоне резания находится в равновесном состоянии и поддерживается изменением режимов резания и рядом других параметров. Для этого определим дополнительные входные воздействия, которые изменяют скорость вращения заготовки, глубину резания, подачу, ток двигателя, приводящего в действие исполнительный механизм с режущим инструментом.

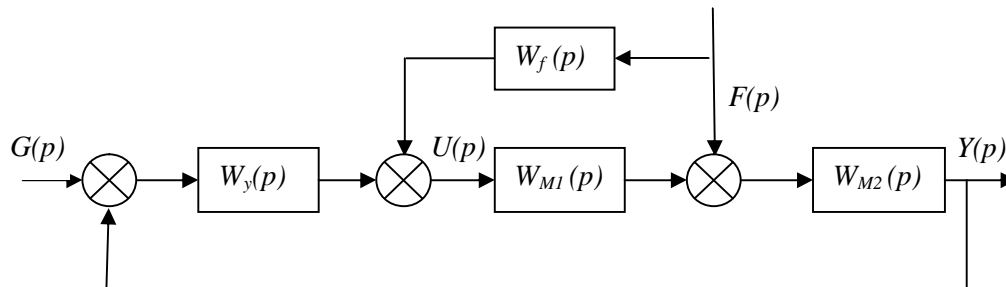


Рис.1 Структурная схема упреждения возмущений

Формирование условий решения задачи основано на предположении постоянства слоя срезаемой стружки, или постоянства ее массы в течение каждого оборота. Это означает срезаение стружки с одинаковой площадью сечения в начале и в конце одного обо-

$$a_0(t)b_0(t) = a_1(t)b_1(t), (1)$$

где $a_0(t)$, $a_1(t)$, $b_0(t)$, $b_1(t)$ – толщина и глубина срезаемого слоя в начале и конце одного оборота соответственно.

В действительности этого не происходит, поскольку заготовки имеют неравномерный припуск на обработку, неравномерные свойства материала по периметру, происходит износ инструмента и ряд других факторов, влияющих на состояние процесса резания. Все это приводит к возникновению упругих деформаций и появлению колебаний различной частоты и амплитуды.

Для исключения указанных явлений требуется стабилизация силы резания, которую осуществим путем поддержания постоянного значения глубины резания в процессе обработки, изменяя скорость поперечной подачи. В этом случае выражение равновесия (1) имеет вид:

$$b_0(t)V_0(p) = b_1(t)V_1(p), (2)$$

где $b_0(t)$, $b_1(t)$, $V_0(p)$, $V_1(p)$ – глубина резания и скорость поперечной подачи в начале и в конце одного оборота заготовки соответственно.

Заметим, что скорость вращения заготовки постоянна и осуществляется приводом главного движения. Следовательно, выражение (2) может быть записано в форме приращений в следующем виде:

$$(b_0(t) + \Delta b_0(t))(V_0(p) + \Delta V_0(p)) = (b_1(t) + \Delta b_1(t))(V_1(p) + \Delta V_1(p)), \quad (3)$$

где b_0, b_1, V_0, V_1 – номинальные значения.

Считаем, что

$$b_0 V_0 = b_1 V_1. \quad (4)$$

Кроме того известно, что в отсутствии колебаний силы резания глубина срезаемой стружки связана с координатами вершины резца соотношением вида:

$$\Delta b_0(t) = C_1 \Delta h(t) + C_2 \Delta b_1(t) \quad (5)$$

где C_1 – жесткость заготовки при изгибе; C_2 – жесткость станка; $\Delta h(t)$ – изменение глубины срезаемой стружки, обусловленное жесткостью заготовки; $\Delta b_1(t)$ – изменение глубины резания, вызванное смещением вершины резца ввиду податливости узлов и деталей станка.

Подставляя (5) и (4) в (3) и пренебрегая членами второго порядка малости, получим скорость поперечной подачи инструмента в виде

$$\Delta V_1(p) = \frac{1}{b_1 + \Delta b_1(t)} (V_0 \Delta b_0(t) - V_1 \Delta b_1(t)), \text{ или}$$

$$\Delta V_1(p) = \frac{1}{b_1 + \Delta b_1(t)} (V_0 C_1 \Delta h(t) + V_0 C_2 \Delta b_1(t) - V_1 \Delta b_1(t)) \quad (6)$$

Анализ физических процессов происходящих при резании металла приводит к выводу, что изменения силы резания происходят потому, что скорость подачи инструмента не поддерживается должным образом при изменении глубины. Этого можно избежать, если относительное изменение угловой скорости двигателя поперечной подачи будет равно относительному изменению скорости поперечной подачи

$$\frac{\Delta v_1(t)}{v_1} = \frac{\Delta \omega_\partial}{\omega_\partial} \quad (7)$$

где ω_∂ – угловая скорость двигателя поперечной подачи.

Следовательно, из (7) $\Delta \omega_\partial = \frac{\Delta \omega_\partial v_1(t)}{v_1}$, или

$$\Delta \omega_\partial = \frac{\omega_\partial}{(b_1 + \Delta b_1) v_1} (v_0 C_1 \Delta h(t) + v_0 C_2 \Delta b_1(t) - v_1 \Delta b_1(t)) \quad (8)$$

Теперь простая модель динамики привода поперечной подачи будет иметь вид:

$$J_\partial \frac{d\omega_\partial}{dt} = k_m i_\partial(t) \quad (9)$$

где J_∂ – момент инерции ротора двигателя и движущихся частей привода поперечной подачи; ω_∂ – угловая скорость вала электродвигателя; k_m – коэффициент крутящего момента; $i_\partial(t)$ – ток двигателя.

Подставляя (8) в (7) получим:

$$i_o(t) = \frac{J_o d\omega_d}{b_1 v_{1km}} \left(v_0 C_1 \frac{dh(t)}{dt} + v_0 C_2 \frac{db_1(t)}{dt} - v \frac{db_1(t)}{dt} \right) \quad (10)$$

Выражение (10) дает сигнал упреждения, связывающий изменение глубины резания $\Delta h(t)$, ввиду податливости заготовки и элементов станка и выходной глубиной резания $b_l(t)$ с током двигателя поперечной подачи.

Реализация способа может осуществляться с помощью компьютера и реальной системы управления. Исходными данными для начала моделирования являются упругие отжатия заготовки, которые возникают в процессе обработки. Для деталей сложной формы отжатия измеряются датчиком, если деталь правильной геометрической формы определяются аналитически. Аналитическое определение упругих отклонений предпочтительнее реальных замеров, поскольку одновременно решается задача упреждения. Это значит отработка модельного сигнала, представляющего собой величину упругих деформаций заготовки на расчетной длине, будет произведено до ее регистрации с помощью каналов обратных связей, что позволяет исключить дополнительную погрешность, связанную с задержкой прохождения сигналов.

Предложенный метод может использоваться для повышения точности обработки резанием деталей путем предварительного расчета поправочных коэффициентов, позволяющих корректировать скорость поперечной подачи инструмента в зависимости от изменения глубины резания, вызванной упругими деформациями заготовки и станка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гудвин Г.К. Проектирование систем управления / Г.К. Гудвин, С.Ф. Гребне, М.Э. Сальдаго. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с., ил. ISBN 5-94774-128-8.
2. Кудинов В.А. Динамика станков – М.: Машиностроение, 1976 – 192с.
3. Ташлицкий Н.И. Явления запаздывания усилий при прерывистом резании с переменной толщиной среза. // Вестник машиностроения - 1969, № 4, с. 67-69.

Сведения об авторе

Генералов Леонтий Константинович, доцент Владимирского государственного университета, к.т.н.

600000 г. Владимир, ул. Горького 87,

тел.: 8 (4922) 479876; 479971

E – mail: generalov@vlsu.ru

