

с которыми связаны потери времени и, следовательно, производительности, что ведет к повышению себестоимости изделий. В новом оборудовании координатные столы по параметрам должны превышать требования производства ИС на момент покупки, чтобы через 4-6 лет, когда отрасль продвинется на новый уровень топологической нормы, оборудование еще можно было использовать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Русецкий А.М. Координатные позиционеры гибких производственных систем для электронного машиностроения. – Мн.: Военная академия РБ, 1998. – 177 с.

УДК 621.941.01

И.А. Каштальян

ЭФФЕКТИВНЫЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ НЕСТАБИЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Одной из важнейших задач современного машиностроения является автоматизация мелкосерийного и серийного производства, выпускающего около 75% всей машиностроительной продукции. В настоящее время эта задача решается путем создания и использования станков и станочных комплексов с числовым программным управлением (ЧПУ). Оборудование с ЧПУ совмещает гибкость универсального оборудования и высокую производительность специального автоматического, что существенно меняет характер производства, делает его мобильным, удовлетворяющим требованиям времени по непрерывному усовершенствованию и обновлению продукции машиностроения. Относительная доля станков с ЧПУ в станочном парке предприятий машиностроения постоянно возрастает, и в этой связи все более актуальными становятся вопросы их эффективной эксплуатации.

Эффективность использования станков с ЧПУ на производстве находится в прямой зависимости от их технических характеристик и особенно от времени безотказной работы. Среди многочисленных и разнообразных причин, снижающих надежность обработки на станках с ЧПУ, следует выделить нестабильность протекания процесса резания, которая обусловлена рядом систематических и случайных возмущающих факторов [1]. К числу систематических возмущающих факторов можно отнести закономерное изменение скорости, глубины резания, геометрии инструмента, которые вызваны конструктивными особенностями обрабатываемых деталей и кинематикой резания. К возмущающим факторам резания, имеющим случайную вероят-

ностную природу, относятся неконтролируемые изменения физико-механических свойств заготовки и инструмента, припуска на обработку, статических и динамических характеристик оборудования и др..

При разработке управляющих программ (УП) указанные факторы нестабильности процесса резания, как правило, учитываются интуитивно путем занижения режимов обработки. Это в свою очередь отражается на выходных параметрах процесса резания (производительности, точности, стойкости режущего инструмента и др.) и выдвигает на передний план задачу повышения надежности обработки на станках с ЧПУ технологическими методами [2]. Решают эту задачу в следующих основных направлениях: априорной оптимизацией параметров обработки с учетом факторов нестабильности процесса; сведением к минимуму действия факторов нестабильности путем термической обработки или физико-химического воздействия на заготовку и инструмент с целью стабилизации их свойств; преднамеренным введением в процесс резания кинематической нестабильности. Наибольший интерес при этом представляет последнее направление.

Для выявления резервов повышения эффективности использования токарных станков с ЧПУ за счет введения в процесс резания кинематической нестабильности был проведен анализ конструктивных особенностей широкой номенклатуры деталей, закрепляемых при обработке в патроне (диски, фланцы, шкивы и др.) и в центрах (валы, оси, стержни и др.). Рассматривались детали, обработка которых производилась на токарных станках с ЧПУ моделей 16K20Ф3, 16K30Ф3, 1П732Ф3, 1А751Ф3. В результате анализа установлено.

При точении канавок фасонного профиля с постоянной подачей ее величина ограничивается площадью сечения среза в конце врезания резца в заготовку (в конце формообразования канавки по глубине). Вследствие этого на всем пути врезания возможности станка и инструмента используются не полностью (площадь сечения среза, а, следовательно, сила и мощность резания возрастают по мере врезания резца в заготовку). Этот недостаток может быть устранен изменением подачи в функции пути по закономерностям, обеспечивающим стабильность площади сечения среза (или силы и мощности резания).

При обработке конических поверхностей, а также различного рода фасок с постоянной подачей по мере врезания резца в заготовку площадь сечения среза, а с ней сила и мощность резания изменяются. Для стабилизации силы и мощности резания на уровнях, близких к допустимым значениям, скорость подачи следует изменять так, чтобы обеспечить постоянство площади сечения среза. Изменение подачи в функции пути по закономерностям, обеспечивающим стабилизацию площади сечения среза, целесообразно осуществлять также при черновой обработке отливок и по-

ковок (снятие литейных и штамповочных уклонов на цилиндрических и торцовых поверхностях), при формообразовании сферических поверхностей и др.

Оптимальная по себестоимости и производительности обработка требует точно соблюдения скорости резания. Поэтому при обработке торцовых, конических и сферических поверхностей деталей целесообразно осуществлять регулирование частоты вращения шпинделя в соответствии с изменением диаметра обработки. Так как подача на оборот при этом должна оставаться постоянной, необходимо обеспечить плавное увеличение (уменьшение) минутной подачи в соответствии с изменением частоты вращения шпинделя. На станке с ЧПУ, оснащённом бесступенчато регулируемым приводом главного движения, эта задача может быть решена путем изменения частоты вращения шпинделя и подачи в функции пути, обеспечивающей постоянство площади сечения среза. Изменение скорости резания в функции пути может быть использовано также для управления интенсивностью изнашивания режущего инструмента с целью обеспечения заданного периода его стойкости при работе станков с ЧПУ в составе станочных комплексов.

Управлением упругими перемещениями путем изменения величины подачи в функции пути может быть значительно повышена точность формы нежестких деталей в продольном сечении, а также стойкость режущего инструмента. Закономерность изменения подачи в каждом конкретном случае определяется конструктивными параметрами детали и ее жесткостью.

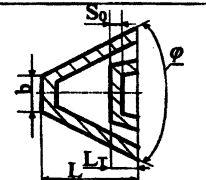
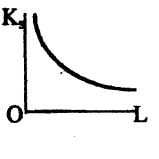
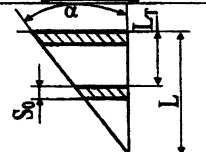
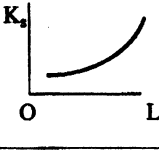
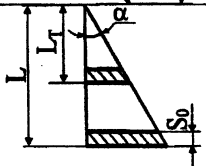
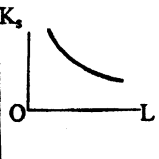
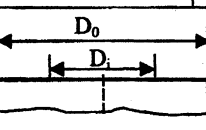
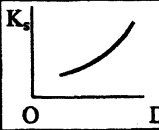
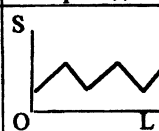
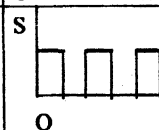
Плавным уменьшением подачи по мере перемещения режущего инструмента к выходу из зоны резания можно предотвратить явление выкрашивания кромок деталей, которым, как правило, сопровождается обработка хрупких материалов с постоянной подачей.

Сбегающая сливная стружка при токарной обработке склонна к наматыванию на обрабатываемую деталь, что является серьезным препятствием для полной автоматизации формообразующих движений. Это лишает станки с ЧПУ их основного преимущества – возможности многостаночного обслуживания. Поэтому надежное стружколоманье регулированием подачи является необходимым условием рационального использования станков с ЧПУ. В результате анализа существующих методов кинематического стружколоманья установлено, что устройством ЧПУ могут быть реализованы лишь те методы, которые не связаны с периодическим изменением направления перемещения суппорта, т.е. метод дискретного точения (прерывания подачи) и метод модулированного изменения подачи. Последний может быть использован также для повышения виброустойчивости технологической системы при точении нежестких деталей.

Некоторые из расчетных закономерностей изменения скорости резания и подачи, которые следовало бы реализовать на токарных станках с ЧПУ с целью повышения эффективности их использования, представлены в табл. 1. Большинство из них

Таблица 1

Расчетные закономерности изменения подачи в функции пути

Характеристика перехода	Схема обработки	Цель регулирования	Зависимость для расчета K_s	Изменение K_s в функции пути
Обработка канавок фасонного профиля		Повышение производительности обработки	$K_s = \frac{b + 2L \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}{b + 2L_r \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}$	
Обработка конических поверхностей			$K_s = \frac{L_r}{L} \operatorname{tg} \alpha$	
Снятие литых и штамповочных уклонов			$K_s = \frac{L}{L_r} \operatorname{tg} \alpha$	
Подрезка торцев			$K_s = \frac{D_0}{D_i}$	
Продольное точение жестких деталей	Закрепление детали в патроне, центрах и др.		Повышение точности обработки	—
Продольное и поперечное точение, сверление	Модулированное изменение подачи	Снижение уровня вибраций	—	
	Прерывание подачи	Стружколомание, организации циклов	—	

выражает зависимость между коэффициентом изменения подачи K_s по длине рабочего хода L и текущим значением перемещения L_T в направлении подачи. Текущее значение K_s при этом определяют как отношение величины подачи в начале рабочего хода S_H к ее текущему значению S_T .

Реализовать на станке с ЧПУ все многообразие существующих закономерностей такого типа достаточно сложно. Это связано с неоправданно большим увеличением объема технологического программного обеспечения. Однако эта задача в какой-то мере может быть решена, если управляющее устройство обеспечит увеличение (уменьшение) минутной подачи по линейному закону в координатах «подача – длина обработки». Тогда любая кривая в этих координатах может быть аппроксимирована отрезками прямых, задаваемых в программе отдельными кадрами, что позволит с достаточной степенью точности приблизиться к необходимой закономерности изменения подачи. Для этого необходимо в состав технологического программного обеспечения устройства ЧПУ включить модуль линейного изменения подачи в функции пути.

Потребность реализации закономерности изменения минутной подачи, вытекающей из условия поддержания постоянства подачи на оборот при бесступенчатом регулировании частоты вращения шпинделя, возникает наиболее часто (практически при обработке каждой детали). Поэтому целесообразно реализовать эту закономерность путем построения соответствующего программного модуля, основанного на использовании текущей информации о диаметральных размерах обрабатываемой детали (такая информация находится непосредственно в устройстве ЧПУ).

При механической обработке большинства деталей приходится сталкиваться с проблемой надежного дробления стружки и проблемой виброустойчивости технологической системы. Учитывая это обстоятельство, модулированное изменение подачи и ее прерывание следует также реализовать в виде отдельных программных модулей, входящих в состав технологического программного обеспечения устройства ЧПУ.

Указанные программные модули были включены в состав технологического программного обеспечения устройства ЧПУ КМ 65. Характеристика этих модулей представлена в табл. 2.

Модуль линейного изменения подачи в функции пути реализует алгоритм увеличения (уменьшения) минутной подачи приращениями величиной ΔS по мере обработки участков ΔL между приращениями подачи [3]. Управляющее устройство при этом реализует зависимость $S_K = S_H \pm l \cdot \Delta S / \Delta l$, где S_H и S_K - начальная и конечная скорости подачи, мм/мин; l - длина обработки, на которой подача изменяется от S_H до S_K . Величина ΔS назначается из ряда 0,1; 0,2; 0,3 мм/мин и т.д. Величина Δl находится из выражения $\Delta l = \pm l \cdot \Delta S / (S_K - S_H)$ и принимается кратной длине перемещения исполнительного органа станка при подаче устройством ЧПУ одного импуль-

са. Знак «плюс» или «минус» указывает соответственно на увеличение или уменьшение скорости подачи.

Таблица 2

Характеристика программных модулей

Наименование модуля	Назначение модуля	Включение модуля
Модуль линейного изменения подачи в функции пути	Повышение производительности и точности обработки	Параметры S_H , ΔS , ΔL задаются в кадре УП либо формируются автоматически (при наличии обратной связи)
Модуль модулированного изменения подачи	Снижение уровня вибраций при обработке нежестких деталей, дробление стружки	Параметры S_{\min} , S_{\max} , ΔS , ΔL задаются в кадре УП либо формируются автоматически в зависимости от уровня вибраций
Модуль прерывания подачи	Дробление стружки, организация циклов с выдержкой времени	Параметры A , B задаются в кадре УП либо вводятся с пульта оператора
Модуль линейного изменения скорости резания в функции пути	Повышение стойкости режущего инструмента	Параметры V_H , ΔV , ΔL задаются в кадре УП либо формируются автоматически (при наличии обратной связи)
Модуль поддержания постоянства скорости резания и подачи на оборот	Повышение производительности обработки при торцовом и фасонном точении	В кадре УП задается подготовительная функция G96, скорость резания под адресом S и подача под адресом F

По алгоритму модулированного изменения подачи управляющее устройство ступенчато (величиной ΔS по мере обработки участков между приращениями подачи Δl) увеличивает подачу от S_{\min} до S_{\max} , а затем также ступенчато снижает ее [4]. Длина участка l_1 разгона (замедления) при этом равна: $l_1 = n_s \cdot \Delta l$, где n_s - число приращений скорости подачи при ее изменении от S_{\min} до S_{\max} .

По алгоритму прерывания подачи управляющее устройство периодически через определенное число импульсов, поступающих на привод подач, выдает импульсы, которые на привод подач не поступают (отрабатываются фиктивно) [5]. В результате перемещение исполнительного органа станка прекращается на время, определяемое числом и частотой импульсов, фиктивно обрабатываемых по максимальной координате. В кадре управляющей программы совместно с другой геометрической и технологической информацией под адресом A задается число импульсов, которые периодически поступают на привод подач, и под адресом B число импульсов, которые отрабатываются фиктивно.

Модуль поддержания постоянства скорости резания и подачи на оборот реализует алгоритм, в котором используется текущая информация об изменении диаметральных размеров обрабатываемой детали. При этом для определения момента выдачи нового значения частоты вращения шпинделя и изменения минутной подачи используется оценочная функция [6]. По знаку оценочной функции на предыдущем шаге изменения частоты вращения шпинделя или минутной подачи определяется опе-

рация на следующем шаге. Для случая, когда диаметр обработки уменьшается, оценочная функция запишется: $F(i, j) = -in_0 + jk_n D_i$, где n_0 - начальное значение частоты вращения шпинделя; i - суммарная величина перемещения суппорта; j - число приращений частоты вращения шпинделя; k_n - единица ряда частот вращения шпинделя (величина одного приращения частоты вращения шпинделя); D_i - текущее значение диаметра обработки. Когда диаметр обработки увеличивается, оценочная функция имеет вид: $F(i, j) = in_0 - jk_n D_i$. Выбор оценочной функции каждый раз осуществляется по результатам анализа направления изменения диаметра детали в процессе обработки.

Линейное увеличение (уменьшение) скорости резания в функции пути также осуществляется приращениями величиной ΔV по мере обработки участков Δl между приращениями скорости резания. Управляющее устройство при этом реализует зависимость $V_k = V_n \pm l \cdot \Delta V / \Delta l$, где V_n и V_k - соответственно начальная и конечная скорости резания, м/мин; l - длина обработки, на которой скорость резания изменяется от V_n до V_k .

На базе этих модулей разработана система автоматического регулирования процессом резания, которая обеспечивает постоянство скорости резания при торцовом и фасонном точении, управление подачей в функции пути, а также осуществляет выбор необходимого режима модулированного изменения или прерывания подачи. Система реализована на токарном станке с ЧПУ мод. СМ1756Ф3. В результате экспериментальной проверки функционирования системы установлено. 1. Увеличение производительности обработки деталей различной конфигурации в среднем на 20-30%. 2. Повышение точности формы нежестких деталей в осевом сечении в 2-3 раза за счет уменьшения влияния совокупного действия ряда систематических и случайных факторов. 3. Увеличение стойкости режущего инструмента на 30-40% за счет работы с оптимальными режимами резания и снижения уровня вибраций. 4. Надежное дробление стружки при точении вязких материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старков В.К. Технологические методы повышения надежности обработки на станках с ЧПУ. - М.: Машиностроение, 1984. - 120 с.
2. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. - М.: Машиностроение, 1977. - 304 с.
3. Каштальян И.А., Кочергин А.И., Зайцев В.Б. Поддержание заданного закона изменения подачи на токарных станках с ЧПУ. // Машиностроение. - Мн., 1979. - Вып. 2. - С. 83-90.
4. Каштальян И.А., Кочергин А.И. Обработка с модулированной подачей на токарных станках с ЧПУ. // Машиностроение. - Мн., 1980. - Вып. 4. - С. 25-28.
5. Kashtalyan I.A. Improvement of Manufacturing Software for Microprocessor Program Controllers. // Micro and Precision Mechanics: Proceeding of the 41th International Colloquium, - Ilmenau, 1996. - V.1. - P. 441-444.
6. Kashtalyan I.A., Parkhutik A.P.

УДК 62.251

В.П. Леневиц, В.Ф. Горошко

К ОЦЕНКЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ БАЛАНСИРОВКЕ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В руководствах к балансировочным станкам и приборам ведущих в этой области машиностроения предприятий и фирм отмечается, что погрешности определения амплитуд отклонений в плоскостях измерений (ПИ) существенно превышает погрешность определения фазовых углов.

Например, прибор VIBROTEST (SHENK, Germany) определяет амплитуду отклонения с погрешностью в пределах до 10 процентов, а фазовый угол - в пределах 2 градусов (меньше 1 процента), прибор АМЕТИСТ (ДИАМЕХ, Россия) определяет амплитуду с погрешностью в пределах до 1 дБ (приблизительно 12 процентов) и фазовый угол - также в пределах 2 градусов.

Мы предполагаем, что относительно высокая погрешность определения амплитуд отклонения, в общем случае, балансировочных станков и приборов не обуславливает такую же относительно высокую погрешность определения амплитуд отклонения отдельного балансировочного станка или прибора в каждом конкретном случае.

Цель работы - предложить способ косвенной оценки погрешности измерений в ПИ балансировочных станков и приборов.

Мы полагаем, что погрешность измерений в ПИ конкретного балансировочного станка или прибора можно оценить с помощью метода '1+2*n' пусков, согласно которому калибровочный дисбаланс вносится поочередно в каждую из 'n' плоскостей коррекций (ПК) балансируемого изделия дважды с противоположными угловыми координатами, при этом измерения отклонений производится также в 'n' ПИ.

Предложенный способ продемонстрируем, используя результаты исследований двухплоскостной балансировки ротора методом '1+2*n' пусков [1]:

1-й пуск ротора дал в 1-й ПИ амплитуду $Y_{1x}=109$ мкм с фазой 281 град. и в 2-й ПИ - $Y_{2x}=89$ мкм с фазой 39 град.;