

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Татарников А.А., Любашевская В.Г., Волошенко А.В. Особенности процесса экструзии резиновых смесей в одночервячных машинах. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1989. – 100 с.
2. Brzoskowski R. et al. Experimental study of the flow characteristics of rubber compounding extruder screws // Rubber. Chem. and Technol. – 1986. – V. 59. – № 4. – P. 634–650.
3. Григорьева М.М., Горбунов Д.Б., Татарников А.А. Квазистационарный режим процесса экструзии эластомерных материалов на одночервячных машинах // Вестник МИТХТ им. М.В. Ломоносова. – 2008. – № 1. – С. 75–78.
4. Татарников А.А., Горбунов Д.Б. Аналитический расчет динамических характеристик одночервячной машины с коническим каналом червяка при переработке резиновой смеси // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 5. – С. 141–145.
5. Григорьева М.М. Влияние производительности одночервячной машины на ее фильтрующую способность // Современные техника и технологии: Труды XIV Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск. 24–28 марта 2008. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – Т. 1. – С. 356–358.
6. Буртелов Л.В. Математическое моделирование процесса экструзии псевдопластичных сред на одночервячных машинах на примере резиновой смеси: Дис. ... к.т.н.: 05.17.08. – Томск, 2006. – 236 с.
7. Губер Ф.Б., Тамаркин В.Б., Говша А.Г. Проблемы оптимизации процессов шприцевания в промышленности РТИ: Тематический обзор. – Серия: Производство резинотехнических изделий – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1981. – 76 с.
8. Ким В.С.-Х., Самойлов В.А., Прищепов В.Б., Порчхидзе Г.Д. Анализ работы зоны загрузки одношнекового экструдера // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2002. – № 4. – С. 6–9.

Поступила 26.01.2009 г.

УДК 62-523.8

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧИ

Д.А. Кононенко

Московский государственный институт путей сообщения

E-mail: d.kononenko@systemcompany.ru

Установлены факторы образования погрешностей обработки из-за упругого перемещения технологической системы токарного станка. Предложена блок-схема системы адаптивного управления технологическим процессом токарной обработки, позволяющая повысить качество деталей за счет регулирования величины продольной подачи. Приведен расчет диапазона параметра регулирования для станка модели 16A20.

Ключевые слова:

Упругие перемещения, адаптивная система, управление продольной подачей, качество изделий, токарная обработка.

Key words:

Elastic movements, adaptive system, longitudinal feed control, quality of product, turning.

Анализ номенклатуры изделий ряда отраслей промышленности позволил установить, что около половины всех деталей составляют валы (более 40 %), диски, втулки, тонкостенные цилиндры, кольца, т. е. тела вращения, изготавливаемые из легированных высокопрочных сталей и сплавов [1]. Кроме того, широко используются различного рода приспособления, механизмы, прецизионный и специальный инструмент, которые тоже могут быть отнесены к классу нежестких деталей типа тел вращения, несмотря на различное функциональное назначение и конструктивные отличия.

Нежесткие детали, как правило, могут быть объединены в одну группу по общим классификационным признакам – форме (тела вращения) и методу обработки (точение).

От точности исполнения токарной операции зависит выполнение последующих операций и результаты обработки в целом, а в ряде случаев токар-

ные операции являются окончательным видом обработки. Решение задачи обеспечения требуемого качества затрудняется тем, что в процессе обработки сама деталь, инструмент и узлы станка, находясь в относительном движении, представляют собой сложную динамическую технологическую систему, поведение которой без целевых исследований заранее определить практически невозможно. Малая собственная жесткость или низкая жесткость по отношению к жесткости узлов, возможность возникновения при определенных условиях вибрации, наличие в процессе обработки множество возмущающих и дестабилизирующих процесс обработки факторов – все это приводит к необходимости поиска новых методов управления и технологических способов обеспечения заданной точности и качества обработки.

К одному из основных путей повышения производительности токарной относится ужесточение

режимов резания, которое в современных условиях фактически означает повышение скорости резания при соответствующем увеличении подачи [2]. Максимальная глубина резания обычно существенно не меняется. Для решения задачи ужесточения режимов обработки необходимо повысить устойчивость всей технологической системы.

В этой связи проблемы повышения точности формообразования, совершенствования технологических способов и средств управления обработкой нежестких деталей являются весьма актуальными.

Из-за изменения по пути прохода величины припуска и твердости материала заготовки, износ режущего инструмента обработка с постоянными режимами резания вызывает изменение силы резания.

Изменение силового режима вызывает увеличение погрешности обработки [3]. Происходит это следующим образом. Как известно, любая технологическая система обладает конечной жесткостью j . Тогда под действием сил P , возникающих в процессе обработки детали, появляется упругое перемещение y обрабатываемой детали относительно режущего инструмента, равное $y=P/j$. В итоге на детали возникает погрешность обработки.

Изменение величины силы резания по пути прохода вызывает погрешность геометрической формы. Для сокращения погрешности обработки приходится или снижать режимы резания, или увеличивать количество проходов, что приводит к снижению силы резания и уменьшению упругих перемещений. Однако в обоих случаях будет существенно снижена производительность обработки. Чем ниже жесткость технологической системы, тем больше получается погрешность обработки и тем больше потери в производительности.

Кроме того, колебание силового режима может вызвать поломку наиболее слабого звена технологической системы. Как правило, таким звеном является режущий инструмент. Особенно остро проблема сокращения числа поломок стоит при обработке деталей инструментом малой прочности и жесткости. Поэтому для уменьшения вероятности поломки инструмента также назначаются заведомо заниженные режимы резания.

Существенно может измениться и жесткость технологической системы. При этом ее изменение может происходить по пути прохода в силу конструктивных особенностей станка, приспособления, обрабатываемой детали, а также во времени из-за разогрева технологической системы, изменения состояния смазки и др. Так, например, при обработке детали типа нежесткого вала величина его прогиба будет меняться по пути прохода, вследствие чего после обработки вал получится с погрешностью формы в виде «бочкообразности». Со временем происходит постепенный износ технологической системы, теряется ее точность, снижается жесткость, прочность.

Таким образом, учет указанных изменений как по пути прохода, так и во времени вынуждает вести обработку с увеличением числа проходов, снижать режимы резания. Потеря точности при оценке показателей процесса резания неизбежно приводит к экономическим потерям. Эти потери определяются простоем оборудования и рабочей силы, сверхурочными работами, нарушением ритмичности производственного процесса, повышенным износом режущего инструмента, что отрицательно сказывается на качестве продукции, и чревато штрафными санкциями за невыполнение договорных обязательств. Экономические потери неизбежно увеличивают себестоимость изделий, а нерациональное использование оборудования снижает его производительность.

Еще в 40-е гг. прошлого века профессором Б.С. Балакшиным была выдвинута идея адаптивного управления ходом технологического процесса изготовления деталей на металлорежущих станках [4].

В настоящее время во многих странах выпускаются станки, оснащенные системами адаптивного управления, и ведутся работы по разработке более совершенных систем. С помощью систем автоматического управления технологическими процессами, действующих по этому методу, решаются такие задачи как повышение качества и производительности обработки на станках, стойкости режущего инструмента, надежности работы оборудования, предотвращения его поломок, снижение себестоимости обработки, расхода режущего инструмента и др.

Задачей адаптивных систем управления является такое изменение управляемых параметров процесса резания, которое в условиях действия случайных возмущающих воздействий обеспечило бы экстремум выбранного критерия оптимизации — производительности, стойкости инструмента и т. п. независимо от изменения припуска и твердости материалов заготовки, износ режущего инструмента и других факторов. Для этого технологической системы оснащают различными датчиками, с помощью которых контролируются параметры, характеризующие ход технологического процесса. Причем контроль осуществляется в режиме реального времени [5], под которым в соответствии с ГОСТ 15971-90 понимается режим обработки информации, обеспечивающий взаимодействие системы обработки информации с внешними по отношению к ней процессами в темпе, соизмеримом со скоростью протекания этих процессов. Обработка резанием обуславливает темп взаимодействия системы обработки информации с внешними процессами, соответствующий периоду стойкости режущего инструмента.

Измеренные величины сравниваются с заданными или допустимыми значениями, и в случае их различия определяются знак и величина поправки, которую необходимо внести в ход технологического процесса с тем, чтобы указанное различие уме-

нышилось до допустимой величины [3]. Внесение поправки в ход технологического процесса заключается в изменении значений тех его параметров, которые находятся в функциональной связи с измеряемой величиной.

Внесение поправки осуществляется с помощью различного рода исполнительных механизмов, имеющихся в станке или специально встроенных для этой цели в технологическую систему.

Таким образом, при адаптивном управлении процессом обработки деталей на станках необходимо решить две основные задачи: получение информации в режиме реального времени с требуемой точностью об отклонениях различных параметров, оказывающих влияние на ход технологического процесса, и своевременного внесения поправки в величины, функционально связанные с управляемой величиной.

На рисунке представлена блок-схема системы автоматического регулирования, предложенная автором. Она состоит из следующих основных узлов: измерительного узла, узла обработки сигналов измерительного узла и узла управления скоростью вращения электродвигателя привода продольной подачи. В процессе резания сила непрерывно оценивается посредством измерения потребляемой силы тока двигателями продольной, поперечной подачи. В качестве датчиков тока двигателей продольной и поперечной подач используются резисторы с малым сопротивлением. Резисторы подключаются последовательно с одной из обмоток статора. Напряжения ($U_{пр}$, $U_{поп}$), которые падают на каждом из этих резисторов пропорциональны силам тока ($I_{пр}$, $I_{поп}$), потребляемым соответствующим двигателем. Величина напряжения каждого от датчиков силы тока ($U_{пр}$, $U_{поп}$) преобразуется в цифровую форму (ЦС1, ЦС2) с помощью АЦП 1 и АЦП 2. Далее сигнал от АЦП 1 и АЦП 2 поступает в вычислительное устройство (ВУ). Туда же с программного устройства ПУ подается цифровой сигнал

ЦС3, пропорциональный требуемой в данный момент величине силы резания.

В результате алгебраического суммирования сигналов модуля сигналов ЦС1, ЦС2 с ЦС3 на выходе ВУ формируется сигнал рассогласования ЦС4, который поступает в систему управления станка. Система управления под воздействием сигнала ЦС4 изменяет частоту тока обмоток статора двигателя привода продольной подачи. В результате этого изменяется скорость вращения ротора, а следовательно, и величина подачи s . Последняя изменится до тех пор, пока сигнал ЦС4 не станет равным заданной величине. При врезании обратная связь по силе резания отключена до тех пор, пока сила резания не достигнет величины, близкой к заданному значению. Как только это произойдет, система включается на режим автоматического поддержания заданного значения силы резания.

Поскольку применение САР не только повышает точность диаметральных размеров в партии деталей, но и сокращает погрешность формы продольного сечения, следует остановиться на вопросах программирования регулируемой величины. Если обеспечение точности формы в продольном сечении детали при обычной обработке не вызывает каких-либо трудностей, то САР решает задачу стабилизации величины упругого перемещения u . Если погрешность формы велика, то с целью ее сокращения следует изменять величину упругого перемещения u по заданной программе в зависимости от продольного перемещения резца относительно детали. Программирование величины u имеет ряд особенностей.

Рассмотрим определение диапазона изменения параметра регулирования станка модели 16А20, в случае, когда в качестве регулируемой величины выбрано упругое перемещение, обусловленное действием осевой составляющей силы резания, а в качестве параметра регулирования – продольная подача s .

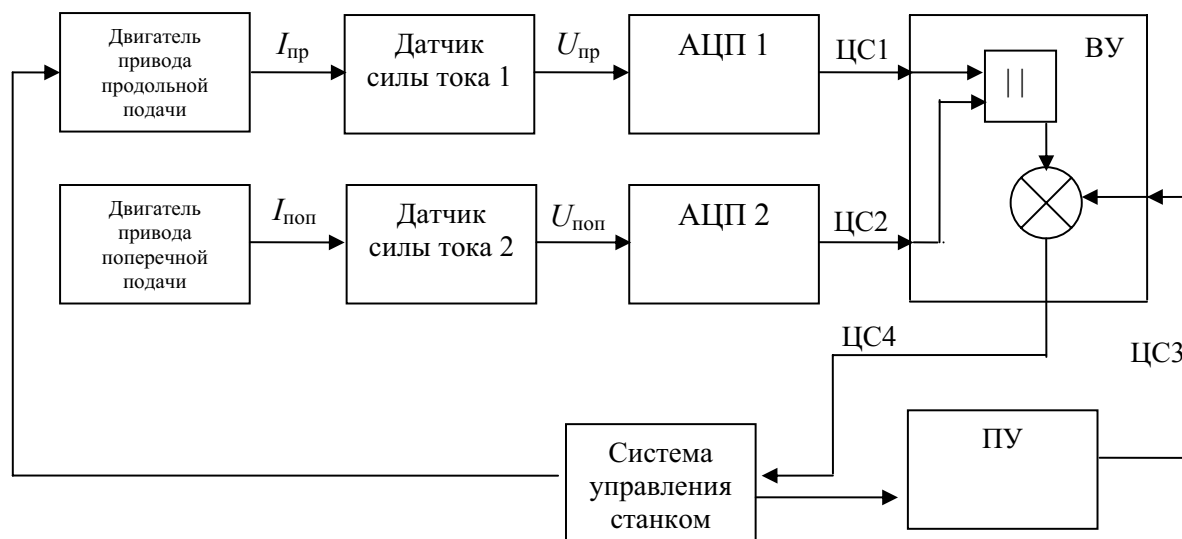


Рисунок. Блок-схема системы автоматического регулирования станка модели 16А20

Необходимо также учитывать ограничения диапазона изменения параметра регулирования исходя из условий обработки и состояния технологической системы.

К основным можно отнести ограничения по [2]:

- требуемой точности обработки;
- мощности привода станка;
- вибрации.

Рассмотрим ограничения по требуемой точности обработки. Требуемая точность обработки определяется полем допуска δ размера обрабатываемой поверхности детали. Для компенсации случайной погрешности, вызванной колебанием упругого перемещения, обычно выделяют часть поля допуска, оставляя другую его часть для компенсации систематически действующих факторов. Соотношение этих частей поля допуска определяется экономикой производства. Поэтому зададимся допустимой величиной случайной погрешности, поэтому именно она ограничивает максимальную подачу. Зная колебание припуска в партии деталей $t_{\max} - t_{\min}$ и колебание твердости заготовок, можно определить максимальную подачу из допустимого колебания упругого перемещения.

Например, для станка модели 16A20 можно считать у пропорциональным осевой составляющей P_x , т. е.

$$\frac{\Delta P_{x_{\text{дон}}}}{j_{\min}} \leq \Delta y_{\text{дон}}. \quad (1)$$

Принимая для простоты твердость материала деталей в партии постоянной, определим ΔP_x по известным формулам для расчета составляющих силы резания:

$$\Delta P_x = C_{P_x} s^y (t_{\max}^x - t_{\min}^x), \quad (2)$$

где C_{P_y} – коэффициент, зависящий от условий обработки.

Таким образом, данное ограничение, после преобразования формул (1) и (2) можно записать в виде:

$$s \leq \sqrt[y]{\frac{\Delta y_{\text{дон}} j_{\min}}{C_{P_x} (t_{\max}^x - t_{\min}^x)}}. \quad (3)$$

Рассмотрим ограничения по мощности привода станка. Как указано в литературе [2, 3], эффективная мощность резания рассчитывается по формуле:

$$N_3 = \frac{P_z}{60 \cdot 102} \text{ кВт},$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания.

$$P_z = C_{P_z} t^x s^y,$$

где C_{P_z} – коэффициент, зависящий от условий обработки.

Таким образом, зная мощность привода станка N_{np} и КПД передачи η , можно определить $s=f(t)$:

$$s \leq \sqrt[y]{\frac{60 \cdot 102 N_{np} \eta}{C_{P_z} t^x v}}.$$

Рассмотрим ограничения по вибрации. Известно, что существенным фактором, ограничивающий свободный выбор подачи, являются возникновение вибраций технологической системы станка, ухудшающих качество обрабатываемых поверхностей деталей, а часто делающих вообще невозможной работу на выбранных режимах. В большинстве случаев возникновение вибраций наблюдается при обработке с малыми подачами и большой глубиной резания, особенно затупившимся инструментом. К сожалению, нет определенных закономерностей, которые дали бы возможность ограничить зону вибраций. В каждом конкретном случае она будет занимать ту или иную часть графика $s=f(t)$. Можно только предположить, что с ростом t допустимая s_{\min} будет также расти.

Выбор оптимального уровня поддержания $P_x = \text{const}$. При работе с управлением технологической системы токарного станка методом изменения подачи существует определенная функциональная зависимость $s=f(t)$. Для наших условий при y , пропорциональном P_x , т. е. $y = \text{const}$, если и $P_x = \text{const}$, зависимость $s=f(t)$ можно найти из уравнения (2), решив его относительно s и приняв $P_x = \text{const}$.

Тогда

$$s = \sqrt[y]{\frac{P_x}{C_{P_x} t^x}}.$$

Зависимость (3) имеет вид гиперболы, ветви которой асимптотически приближаются к осям s и t .

Если на зависимость $s=f(t)$ наложить ограничения, рассмотренные выше, то будет видно, что в некоторых случаях нельзя найти нужного значения P_x , при котором график $s=f(t)$ не ограничивался бы тем или иным условием.

Поскольку $\Delta y \neq 0$, на линии 2 всегда существует какой-то участок $t_1 - t_{\min} = \Delta t$. Колебание силы резания с максимальной подачей s_{\max} припуска, с t_{\max} до t_1 , вызовут колебания упругого перемещения, не превышающие допустимые.

Значение t_1 можно определить из формул (1) и (2):

$$\delta y_{\text{дон}} \leq \frac{\Delta P_x}{j_{\min}} = \frac{C_{P_x} (t_1^x - t_{\min}^x) s_{\max}^y}{j_{\min}},$$

отсюда

$$t_1 \leq \sqrt[x]{\frac{\delta y_{\text{дон}} j_{\min}}{C_{P_x} s_{\max}^y} - t_{\min}^x}.$$

Таким образом, максимальное значение P_x , которое лучше всего поддерживать постоянным, определяется для значений t_1 и s_{\max} при условии, если САР будет предусмотрено ограничение, не позволяющее превышать подачу s_{\max} .

С другой стороны, минимальное значение подачи s_{\min} также можно ограничить, не рискуя перейти за границы $\Delta y_{\text{доп}}$. Действительно, существуют, очевидно такое значение глубины резания t_2 при котором при обработке с подачей s_{\min} и с припуском изменяющемся от t_2 до t_{\max} колебание упругого перемещения не превысит допустимое. Ограничение по s_{\min} по мнению автора делать не следует, так как система должна выполнять одновременно роль предохранителя от перегрузок. (Можно предусмотреть сигнализацию о достижении подачи минимальной величины). Значение t_2 можно найти из формул (1) и (2)

$$\delta y_{\text{доп}} = \frac{C_{P_x} (t_{\max}^x - t_{\min}^x) s_{\min}^y}{j_{\min}}, \quad (4)$$

Но так как

$$P_{x\text{const}} = C_{P_x} s_{\min}^y t_2^x, \quad (5)$$

то, подставив значение t_2 из формулы (5) в выражение (4), после преобразования получим

$$s_{\min} \leq \sqrt[3]{\frac{\delta y_{\text{доп}} j_{\min} + P_{y\text{const}}}{C_{P_x} t_{\max}^x}}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тараненко В.А., Митрофанов В.Г., Косов М.Г. Технологические способы и средства повышения точности обработки нежестких деталей // Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. Сер. 6. Прогрессивные технологические процессы в машиностроении. Вып. 2. – М.: ВНИИТЭМР, 1987. – 64 с.
2. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
3. Базров Б.М. Повышение эффективности механической обработки деталей с помощью систем адаптивного управления. Обзор. – М.: Изд-во ЦНИИТЭИлегпишемаш, 1976. – 67 с.

Выводы

Показано, что адаптивные системы стабилизации силы резания позволяют решить в определенных границах задачу сокращения погрешности, вызванную упругими перемещениями технологической системы при непосредственном съеме материала. Основными преимуществами предлагаемой системы автоматического управления являются:

- обработка каждой детали партии и ее отдельных поверхностей осуществляется с наиболее выгодной подачей, т. е. с наибольшей производительностью, допускаемой технологической системой;
- в ряде случаев сокращается количество проходов и тем самым повышается производительность технологической системы;
- обработка деталей партии ведется с постоянной нагрузкой технологической системы, что обеспечивает повышение размерной стойкости режущего инструмента; исключает поломки режущего инструмента и поэтому уменьшает расходы на инструмент;
- сокращает количество настроек и смен инструмента, следовательно, увеличивается штучная производительность.

4. Балакшин Б.С. Адаптивное управление станками. – М.: Машиностроение, 1973. – 688 с.
5. Морозевич А.Н., Николаев А.В., Пашкевич А.П., Петровский А.А. Применение управляемых вычислительных машин. – Минск: Высшая школа, 1988. – 238 с.

Поступила 24.04.2009 г.