

11 коп.

Индекс 70067

НОВОЕ
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

ЗНАНИЕ

12/1975

СЕРИЯ
ТЕХНИКА

Б. М. Базров
АДАПТИВНОЕ
УПРАВЛЕНИЕ
СТАНКАМИ



Базров Б. М.

Б17 Адаптивное управление станками. М.,
«Знание», 1975.64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Техника»,
12. Издается ежемесячно с 1961 г.).

В брошюре рассматриваются основные аспекты нового метода управления обработкой деталей на металлорежущих станках — адаптивного. Подробно описаны предпосылки появления первых автоматических систем управления (АСУ) металлорежущими станками, принципы их построения, класс задач, решаемых с их помощью. Даны примеры практического использования АСУ.

Брошюра рассчитана на инженеров, техников, студентов технических вузов.

31104

6П4

Точность, производительность, адаптивное управление

Почему детали получаются с погрешностями. Современная техника работает в весьма жестких условиях. Агрессивные среды, сверхнизкие и сверхвысокие температуры, сверхнизкие и сверхвысокие давления, переменные нагрузки, гигантские мощности, высочайшие энергии ядерного и термоядерного синтеза... Как никогда остро поэтому стоит вопрос о качестве машин, изделий, деталей. Один из важнейших показателей качества детали — ее точность. Под геометрической точностью принято понимать степень соответствия реальной детали геометрическому прототипу, заданному чертежом. Точность во многом предопределяет то, как деталь будет выполнять служебные функции.

На современном этапе развития машиностроения, когда создаются машины, работающие на повышенных скоростях, при высоких рабочих нагрузках, температурах и т. п., вопросы точности приобретают первостепенное значение. Во многих случаях увеличить скорости и удельные нагрузки можно, только повысив точность машины и ее механизмов. Если мы уменьшим величины допусков на параметры, характеризующие точность машины, то можем быть уверены, что повысили ее качество и увеличили экономичность работы.

Точность деталей существенно влияет на характер динамических процессов в машине и ее механизмах, особенно если движущиеся части имеют большие массы. От точности деталей во многом зависит правильное движения звеньев машины.

После обработки на станке деталь никогда не получается точно такой, какой она задана на чертеже. В

этом легко убедиться, если взять две детали, изготовленные с очень высокой точностью, измерить и сравнить их по любой характеристике — размерам, форме, массе, химическому составу и др. Сопоставление покажет, что детали, кажущиеся, если смотреть на них невооруженным глазом, одинаковыми, на самом деле отличаются друг от друга. Различие может быть большим или малым, но оно всегда будет иметь место.

Чем же объяснить различие между деталями, обработанными, казалось бы, в одинаковых условиях? Все дело в том, что не существует в реальной действительности одинаковых условий, как не бывает в природе ничего одинакового. Чтобы убедиться, рассмотрим процесс обработки детали. Технологическая система — это станок, приспособление для закрепления детали, режущий инструмент и сама обрабатываемая деталь. Сокращенно принято такую технологическую систему называть системой СПИД (по начальным буквам названий перечисленных элементов).

Итак, процесс обработки. Сначала заготовку устанавливают определенным образом в патрон и в этом положении закрепляют. Затем к ней подводят режущий инструмент на такое расстояние, которое требуется, чтобы деталь получилась нужного размера. Далее, включают двигатель и начинается относительное движение заготовки и режущего инструмента. Инструмент (например, резец), приблизившись к заготовке, вступает с ней в контакт. Идет непосредственный процесс резания, в результате которого с заготовки снимается лишний слой материала — припуск. По окончании резания инструмент отводится в исходное положение, полученная деталь раскрепляется и снимается со станка. На этом процесс обработки заканчивается.

Чтобы деталь получилась с заданными размерами и формами, движение режущих кромок инструмента относительно заготовки должно осуществляться строго по заданной траектории. Любое отклонение фактической траектории от заданной приводит к появлению на детали погрешности.

При съеме слоя материала с заготовки возникает сила резания. Она давит на обрабатываемую деталь и режущий инструмент. Последние передают ее действие на другие элементы системы СПИД. В итоге многочисленные детали технологической системы оказываются

под воздействием (в разной степени) силы резания и ее момента, вследствие чего стремятся изменить свое положение. Однако система СПИД обладает определенной жесткостью, т. е. способностью сопротивляться упругим перемещениям.

Если бы у технологической системы была бесконечно большая жесткость, то никаких перемещений ее деталей под действием любой силы не происходило бы. Но таких систем нет, жесткость конечна. Это приводит к тому, что под действием силы резания происходит относительные упругие перемещения ее элементов. Относительное упругое перемещение обрабатываемой детали и режущего инструмента, например, нарушает заданную траекторию их относительного движения. В итоге мы имеем погрешность обработки. Если бы указанное упругое перемещение было постоянно на протяжении всей обработки, то с такой погрешностью не было бы бороться. К сожалению, значения силы резания и жесткости системы СПИД непрерывно меняются, а это, в свою очередь, изменяет величины упругого перемещения.

Действительно, величина силы резания зависит от глубины резания, твердости материала заготовки, состояния режущего инструмента и других причин. Заготовки, поступающие на обработку, как правило, не точны как по размеру, так и по геометрической форме. Кроме того, у них неравномерная твердость материала в разных точках. В результате во время обработки непрерывно меняется и глубина резания и твердость материала в сечении среза. А это приводит к непрерывному изменению величины силы резания. Сила резания изменяется также и от затупления режущего инструмента. В начале обработки инструмент остро заточен и съем материала с заготовки требует незначительного усилий. По мере затупления инструмента его значение возрастает, и, как показывают исследования, оно может увеличиться в 2—3 раза.

Кроме силы резания, в системе СПИД действуют и другие силы: зажима заготовки на станке, инерции. Первые деформируют обрабатываемую деталь, что приводит к погрешности обработки; вторые тоже изменяют относительное положение обрабатываемой детали и инструмента. Влияние сил, действующих в технологической системе, на точность обработки во многом за-

висит от направления и точки приложения их действия.

Жесткость системы СПИД тоже переменна по величине. Она зависит от материала детали, количества стыков, погрешностей формы сопряженных поверхностей, вязкости смазки, температуры, конструктивных особенностей станка, его состояния. Изменение этих факторов приводит к изменению общей жесткости. Например, при разогреве станка его жесткость может увеличиться в 1,5 раза.

Кроме того, в процессе обработки выделяется тепло. Источники тепла в системе СПИД — механическая работа, затрачиваемая на резание, гидравлические и электрические системы станка, работа по преодолению сил трения в стыках движущихся деталей и др. В результате элементы системы СПИД нагреваются, появляются температурные деформации, и это влияет на относительное движение и положение обрабатываемой детали и инструмента.

Даже из анализа небольшого числа факторов, действующих во время обработки, видно, что условия процесса непрерывно меняются. Это приводит к отклонениям относительного движения и положения обрабатываемой детали и режущего инструмента: на детали образуется погрешность. Вот почему не удается получить две детали одинаковыми или деталь, точно совпадающую с геометрическим прототипом на чертеже.

Производительность и точность обработки. Производительность зависит от времени, затраченного на обработку детали на станке. Это время принято называть штучно-калькуляционным. Оно включает долю подготовительно-заключительного времени, приходящуюся на одну деталь из партии, основное технологическое, вспомогательное и время на техническое обслуживание и отдых.

Подготовительно-заключительное время затрачивается на такую работу, которую рабочий проделывает 1 раз на всю партию заготовок: ознакомление с чертежом, заданием, подготовка рабочего места, настройка станка на нужную точность, приведение его в порядок по окончании работы и т. п. Основное технологическое время уходит на изменение размеров, формы заготовки, каких-либо физико-механических свойств материала. Если указанные изменения производятся машиной без участия человека, то основное технологическое время

называют машинным, если же только человеком, то ручным; при совместной работе — машинно-ручным.

Вспомогательное время отведено на работу, необходимую для реализации процесса изменения заготовки: установка, закрепление, раскрепление, снятие заготовки, отвод-подвод режущего инструмента или детали, измерение детали, включение и выключение станка и др.

В чем же и как проявляется связь между производительностью и точностью обработки? Давно установлено, что если нужно получить деталь высокой точности, то время обработки резко возрастает. И наоборот, сокращение времени обработки при прочих равных условиях снижает точность. Объясняется это следующим образом.

Время непосредственного съема материала с заготовки зависит от режимов резания; скорости подачи инструмента, глубины и скорости резания. Чем выше скорость подачи и резания, тем меньше время резания и выше производительность обработки. Однако с увеличением темпа растут силы резания, больше выделяется тепла. Следовательно, растут упругие и температурные деформации, быстрее изнашивается инструмент, в итоге повышается погрешность обработки.

Из изложенного следует, что точность и производительность можно рассматривать как противоположные стороны одного явления — процесса обработки, между которыми существует противоречие. Сущность его в том, что повышение производительности приводит к потере точности, а если мы хотим получить более высокую точность, нужно снижать производительность.

Разрешение указанного противоречия — одна из важнейших задач машиностроения.

Итак, система СПИД находится под воздействием многочисленных факторов, стремящихся отклонить ход технологического процесса от заданного. Однако у системы имеется ряд свойств — прочность, жесткость, износостойкость, виброустойчивость, способность к сопротивлению температурным деформациям, которые помогают ей сопротивляться вредному воздействию этих факторов, уменьшить их влияние на выходные показатели процесса обработки.

Решить проблему повышения точности и производительности обработки можно, улучшив свойства системы СПИД, уменьшив влияние вредных факторов, управляя

ходом технологического процесса. На первых порах основное внимание уделяли улучшению свойств системы. Станки стремились сделать более жесткими, прочными и износостойкими, повышали их точность. Такой путь казался весьма эффективным: удалось значительно повысить и точность и производительность обработки. Но одновременно с улучшением свойств системы СПИД росла ее металлоемкость и стоимость. Наконец наступил момент, когда стоимость резко возросла, а рост точности и производительности обработки перестал удовлетворять требованиям практики.

Анализ создавшегося положения показал, что увеличение жесткости станков уменьшает погрешность обработки главным образом благодаря сокращению упругих перемещений. При этом надо иметь в виду, что повышение жесткости станка только тогда эффективно, когда остальные элементы системы имеют жесткость того же уровня или выше. Если же жесткость, например, обрабатываемой детали значительно меньше жесткости станка, то эффект будет незначительным. Дело в том, что упругое перемещение детали сохраняется, а будет ли при этом суммарное упругое перемещение в станке 10% или 20% от общей величины — влияние его на точность обработки останется незаметным. Но стоимость станка из-за увеличения жесткости значительно возрастет!

Аналогичная картина и с повышением геометрической точности станка. Кроме того, повысив точность станка, приспособления, режущего инструмента, мы уменьшим лишь погрешность установки детали и настройки системы СПИД.

Стало быть, повышение жесткости и точности станка лишь частично решает поставленную задачу. Этот путь имеет ограниченную область применения и требует больших материальных затрат. Как показывает практика, ресурсы точности и жесткости в системе СПИД используются далеко не полностью. Это в первую очередь касается универсальных станков. Действительно, обрабатываемые на них детали резко отличаются друг от друга требованиями к точности изготовления. Если проследить, с какими требованиями к точности обрабатывались детали на одном станке, например, в течение года, то можно заметить, что детали высоких показателей составляют незначительный процент. Следовательно,

но, при обработке остальных ресурсы станка по точности и жесткости используются не полностью.

Теперь о режущем инструменте. По мере износа он меняет размеры и форму, что непосредственно отражается на точности обработки. Более того, снижается его режущая способность, он тупится. В результате увеличиваются сила резания и силы трения между поверхностями режущей части инструмента и материалом. А это, в свою очередь, способствует дополнительному образованию тепла. Нагреваясь, инструмент теряет способность сопротивляться разрушению, в итоге сокращается срок его службы.

Одновременное увеличение сил резания и выделение большого количества тепла обуславливают возрастание упругих и тепловых деформаций элементов системы СПИД: погрешность обработки становится больше. Низкая стойкость инструмента вынуждает вести обработку в несколько проходов и с невысокими режимами резания.

Другой элемент, наиболее подверженный износу, — направляющие станка. Их износ нарушает заданную траекторию относительного движения таких ответственных узлов, как суппорты и шпиндельные бабки. Вот почему решить проблему повышения точности и производительности можно, увеличив износостойкость ответственных поверхностей узлов станка и режущего инструмента.

Итак, параметры системы СПИД улучшились. Но это лишь частично решало проблему повышения точности и производительности обработки. Наступил момент, когда этот путь перестал быть эффективным. Тогда решили уменьшить влияние факторов, порождающих погрешности деталей и снижающих производительность обработки. Использовали, в частности, метод, основанный на «снижении» режимов резания: съем припуска за несколько проходов и уменьшение других составляющих режимов и в первую очередь скорости подачи. При обработке на «низких» режимах уменьшаются силы резания, меньше выделяется тепла. В результате меньше становятся упругие и температурные деформации. Однако такая работа опять-таки резко понижает производительность. И чем выше требуется точность, тем больше приходится снижать режимы резания, на

большее число проходов увеличивать обработку, тем процесс становится малопродуктивным.

В то же время нельзя безгранично уменьшать режимы резания. Например, при токарной обработке если уменьшать и уменьшать глубину резания или скорость подачи резца, то наступит момент, когда резец будет не резать, а давить материал заготовки: резко ухудшатся условия обработки, значительно возрастет количество выделяемого тепла, интенсивно начнут разрушаться режущие кромки инструмента.

Чтобы бороться с колебаниями припуска и твердости материала заготовки, начали предварительно сортировать заготовки по группам. В пределах каждой группы эти колебания стали незначительными, в результате увеличивалась точность обработки. А для поддержания температуры воздуха окружающей среды с точностью до одного градуса строили термоконстантные помещения. Снизить колебания температуры в разных точках системы СПИД позволило дополнительное охлаждение или подогрев отдельных ее частей. Например, у прецизионных резьбонарезных станков охлаждают шпиндель и каретку, пропуская через специальные каналы жидкость нужной температуры. На вертикальном плоскошлифовальном станке подводят теплый воздух от шпиндельной бабки к задней стенке станины, это позволяет «выровнять» ее температуру с температурой передней стенки, тем самым уменьшить температурные деформации станины.

Другой способ — предварительный разогрев станков до температуры, при которой создается устойчивое тепловое равновесие. Разогрев производят или на холостом ходу, или на форсированных режимах, или искусственным нагревом.

Казалось бы, как много всего? Какое разнообразие методов, способов, средств! Но результаты не радовали. Нужен был принципиально новый путь. В итоге инженеры заговорили об управлении ходом технологического процесса. Были разработаны способы управления обработкой, которые позволили уменьшить вредное влияние систематических факторов, практически постоянных по величине, созданы различного рода коррекционные устройства. В качестве примера можно привести устройство для изменения частоты вращения шпинделя токарного станка при подрезке торцов.

По мере перемещения резца от периферии торца к центру вращения детали, при постоянной частоте вращения скорость резания уменьшается. Чтобы обрабатывать торец, по возможности, на протяжении всей обработки с оптимальной скоростью резания, необходимо по мере его приближения к центру повышать частоту вращения. Поскольку изменение величины скорости резания от периферии к центру зависит от текущего значения радиуса, то было разработано устройство, автоматически увеличивающее частоту вращения по мере уменьшения радиуса обрабатываемой детали. Такое решение позволило существенно повысить производительность обработки и стойкость режущего инструмента.

Другой пример. При нарезке резьбы на токарно-винторезном или на резьбошлифовальном станке погрешность ее шага во многом зависит от точности ходового винта и гайки станка. Как бы точно ни была изготовлена пара винт — гайка, она всегда будет иметь погрешность. Чтобы компенсировать ее, на станке устанавливается линейка, профиль которой учитывает погрешность в шаге ходового винта. По мере перемещения обрабатываемой детали относительно режущего инструмента с помощью соответствующего механизма в движение вносится поправка.

Следующий шаг в управлении ходом технологического процесса — разработка способа, известного под названием активного контроля. Функции активного контроля сводились к компенсации действия систематических факторов, изменяющихся во времени. С его помощью в первую очередь решалась задача: уменьшить влияние размерного износа на точность обработки. Суть активного контроля в том, что деталь после обработки измеряли и по результатам измерений подстраивали систему СПИД. Если размеры ее оказывались меньше заданных, то режущий инструмент отодвигали от заготовки на соответствующую величину; если больше — придвигали.

При обработке длинных деталей размерный износ инструмента может оказаться настолько большим, что размер детали выйдет за пределы допустимой величины. Чтобы это предотвратить, потребовалось проводить измерения в процессе обработки. В конце концов были разработаны соответствующие измерительные устройства. Их конструировали и устанавливали таким обра-

зом, чтобы измеритель располагался вслед за режущим инструментом и измерял только что обработанный участок поверхности. Это позволило свести до минимума влияние размерного износа на точность обработки.

Хуже обстояло дело с компенсацией температурных деформаций, хуже потому, что в процессе обработки нагревается сама деталь. А степень ее нагрева — величина переменная, она зависит от многих факторов. Кроме того, когда прибор замеряет только что обработанный участок поверхности, то отклонения можно считать результатом суммарного действия многочисленных факторов, в том числе и нагрева детали. Выделить погрешность от нагрева из суммарной погрешности очень сложно, так как надо точно знать, на сколько градусов нагрелась деталь и каков коэффициент линейного расширения ее материала.

Чаще всего активный контроль применяют при работе на шлифовальных станках. Дело здесь в том, что износ шлифовального круга — доминирующий фактор, среди других (отрицательных). А кроме того, благоприятны условия измерений (нет стружки, которая может повредить прибор).

Создание станков повышенной точности и жесткости, инструмента высокой стойкости, развитие таких способов управления, как активный контроль, привели к тому, что на роль доминирующих, порождающих погрешность обработки выдвинулись случайные факторы, в первую очередь колебания припуска и твердости материала заготовки. Попытки уменьшить их вредное влияние с помощью активного контроля не дали положительных результатов. Объясняется это следующими причинами.

Представим себе, что на станок поступила заготовка с минимальной величиной припуска. Измерения после обработки показали, что размер ее отклонился в меньшую сторону от заданной величины. Система активного контроля перед обработкой следующей заготовки компенсирует отклонение и соответственно переместит режущий инструмент. Значит, размер следующей детали должен больше соответствовать истинному. Это было бы справедливо при условии, что у последующей заготовки припуск и твердость материала те же, что и у предыдущей. Но в реальных условиях они будут разниться по этим параметрам. Если первая, например,

имела минимальный припуск, то вторая может прийти с большим. Причем величина припуска может оказаться такой, что размер детали получится больше заданного, и чтобы компенсировать отклонение, следовало бы поднастроить систему СПИД в сторону уменьшения размера. Но система-то активного контроля по результатам измерения ранее обработанной детали увеличила размер статической настройки! В результате вместо того чтобы повысить точность обработки, система активного контроля только увеличила погрешность на детали.

Чтобы в какой-то степени уменьшить влияние случайных факторов, системы активного контроля стали оснащать различного рода вычислительными приставками. В их задачу входило определение (с помощью вероятностных методов расчета) величины подналадочного импульса, учитывающего действие случайных факторов. Практика показала сложность эксплуатации систем с такими вычислительными приставками, их низкую надежность, высокую стоимость и незначительную эффективность.

Все сказанное послужило объективными предпосылками появления принципиально нового способа управления ходом технологического процесса. В 1949 г. проф. Б. С. Балакшиным была выдвинута идея адаптивного управления ходом технологического процесса изготовления деталей на металлорежущих станках...

Сущность адаптивного управления

Прежде чем изложить принципы адаптивного управления, посмотрим, как обрабатывают детали на обычном станке.

Рабочий, установив очередную заготовку, знает о ее размерах, твердости материала лишь приблизительно. Приблизительны его знания и о состоянии режущего инструмента, о степени его затупления. В тех случаях, когда обрабатывается одна заготовка, он определяет ее размер, как правило, в одном-двух сечениях. Этим информация о характеристиках заготовки, состоянии системы СПИД и условиях обработки исчерпывается. Далее, рабочий, пользуясь соответствующими рекомендациями и собственным опытом, устанавливает режимы резания и начинает обработку. При этом режимы резания он устанавливает таким образом, чтобы не поломать станок или инструмент и получить годную деталь. Не зная точно величины снимаемого припуска, фактической твердости материала заготовки, состояния режущего инструмента и др., он пользуется такими режимами, при которых, даже при наличии у одной заготовки максимального припуска, наибольшей твердости материала и при затупленном инструменте деталь своими размерами не выйдет за пределы допуска, а в системе СПИД не произойдет поломок.

Возьмем, к примеру, торцевое фрезерование детали сложной конфигурации. Ширина фрезерования по мере перемещения фрезы относительно детали непрерывно изменяется. А значит, сила резания непостоянна. Кроме того, меняется ширина фрезерования при входе и выходе фрезы из детали, что тоже влияет на силу резания. Таким образом, кроме колебаний припуска, твердости материала заготовки, затупления инструмента,

следует учитывать еще и переменность ширины фрезерования.

Практика показывает, что совпадение максимальных значений вышеперечисленных величин — явление чрезвычайно редкое. Так, если с заготовки снимается максимальный припуск, то твердость материала обычно не наибольшая и т. д. Но и такая заготовка обрабатывается с теми же режимами, в то время как их можно было бы повысить. Если рабочий достаточно опытный, то он в некоторой степени учитывает эти обстоятельства, регулируя режимы. Однако здесь он сталкивается со следующими трудностями.

Во-первых, станок не имеет почти никаких измерительных устройств, по показаниям которых можно было бы судить о процессе обработки. В этом отношении, несмотря на то что со времени появления первого станка и до наших дней прошло несколько столетий, положение мало в чем изменилось. Другое обстоятельство — несовершенство механизмов, с помощью которых устанавливают режимы резания, отсутствие на многих станках бесступенчатых приводов их регулирования.

Итак, на практике режимы резания выше тех, которые соответствуют неблагоприятному сочетанию всех факторов. Но чем больше повышают режимы, тем больше вероятность поломки слабого звена системы СПИД. В условиях массового и крупносерийного производства по мере накопления статистического материала о процессе постепенно находят значения режимов, которые гарантируют максимальную производительность при допустимом числе поломок. В мелкосерийном и индивидуальном производствах, особенно при автоматизированном процессе, потери производительности из-за занижения режимов резания значительнее, так как указанная статистика отсутствует.

В последнее время много говорят о станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Обработка деталей на таких станках идет без участия рабочего. Траекторию режущего инструмента задает программа. В ней можно учесть систематическое изменение припуска по контуру обработки, обусловленное типом заготовки и формой детали: задается соответствующее изменение режимов резания на тех участках, где меняется припуск. Но в программе нельзя учесть случайного изменения припуска и твердости материала заготовки, за-

тупления режущего инструмента. В то же время колебание величины припуска на заготовках, обрабатываемых на станках с программным управлением, обычно больше, чем на заготовках, обрабатываемых на специальных станках в условиях крупносерийного производства. Дело в том, что станки с ЧПУ используют главным образом в мелкосерийном производстве, где менее совершенны методы получения заготовок.

Из изложенного следует, что обработка на станке с ЧПУ осуществляется в менее благоприятных условиях; при действии тех же факторов нет рабочего, который бы соответствующим образом корректировал технологический процесс. Поэтому чтобы получить детали высокой точности, заготовку или предварительно обрабатывают на других станках, или же увеличивают число проходов. Таким образом, отстранение человека от непосредственного участия в обработке остро ставит вопрос о необходимости адаптивного управления технологическим процессом.

Что же такое адаптивное управление технологическим процессом?

Системы СПИД оснащают различного рода чувствительными элементами и преобразующими устройствами, с помощью которых контролируют параметры, характеризующие ход технологического процесса. Измеряются силы резания, крутящий момент, мощность, температура в зоне резания и других точках системы, упругие перемещения, температурные деформации, уровень вибраций и др. Полученные величины сравниваются с заданными значениями. В случае их различия определяется величина поправки, которую нужно внести в ход технологического процесса с тем, чтобы указанное различие уменьшилось до допустимой величины. Поправки вносят с помощью исполнительных механизмов в станке или специально встроенных в систему СПИД. Исполнительные механизмы изменяют те параметры процесса, которые находятся в связи с контролируемой величиной. Например, если измеряют силу резания, то в случае отклонения от заданного значения воздействовать на нее можно, изменяя величину продольной подачи, глубину резания, геометрию режущего инструмента.

Рассмотрим в качестве примера работу системы адаптивного управления обработкой деталей на токар-

ном станке. Ее задача — стабилизация вертикальной составляющей P_z силы резания. На рис. 1 показаны токарный станок и блок-схема системы адаптивного управления. Для получения информации о фактической величине вертикальной составляющей в резцедержку станка устанавливают так называемый динамометриче-

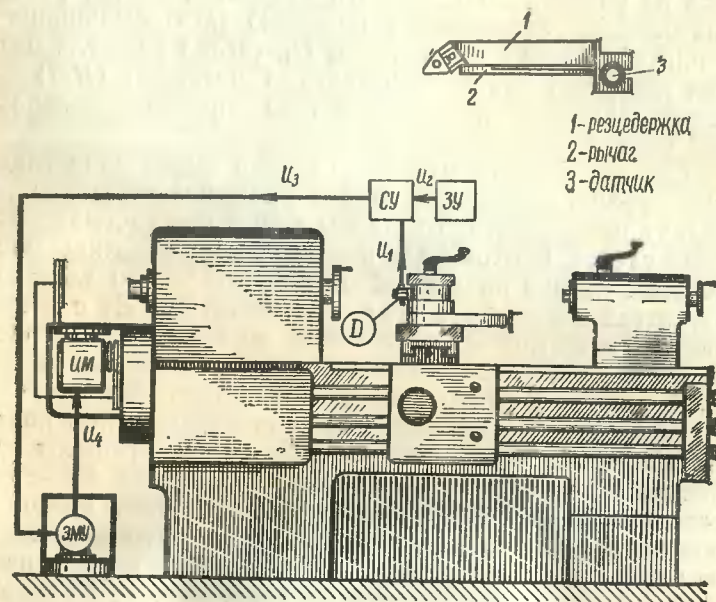


Рис. 1.

ский узел (Д) из резца 1, рычага 2, приваренного одним концом к головке резца и индуктивного датчика 3. Во время обработки под действием силы P_z головка резца за счет упругих деформаций поворачивается вместе с рычагом. Угол поворота измеряет индуктивный датчик, контролирующий перемещение свободного конца рычага. Он преобразовывает его в электрический сигнал U_1 , который поступает на усилитель.

Для определения фактической величины P_z предварительно строится тарифовочный график зависимости «нагрузка в направлении оси $z-z$ — перемещение свободного конца рычага». Зная зависимость и величину усиленного сигнала, можно вынести суждение о факти-

ческой величине P_z . Сигнал U_1 поступает с усилителя на сравнивающее устройство (СУ), туда же с задающего устройства (ЗУ) подается сигнал U_2 , пропорциональный заданному значению силы P_z . Если оказывается, что сигналы U_1 и U_2 не равны, то на выходе сравнивающего устройства появляется сигнал U_3 , равный их разности, или, как его называют, сигнал рассогласования. Усиленный с помощью электромашинного усилителя (ЭМУ) до величины U_4 , сигнал рассогласования поступает на исполнительный механизм (ИМ) — электродвигатель постоянного тока привода продольной подачи.

Следует указать, что часто станки имеют один главный привод, обеспечивающий и вращение заготовки и подачу инструмента. То же мы видим и в рассматриваемом случае. Поэтому для регулирования величины продольной подачи на данный станок установили электродвигатель постоянного тока мощностью 245 Вт с номинальной частотой вращения 3600 об/мин. Сигнал рассогласования, поступающий на исполнительный механизм, изменяет частоту вращения ротора двигателя, в результате чего изменяется величина продольной подачи. Например, если фактическая сила P_z превысит заданное значение, то сигнал рассогласования U_4 через исполнительный механизм уменьшит величину продольной подачи до тех пор, пока величина рассогласования не снизится до допустимого значения. Если же фактическое значение силы P_z меньше заданного, то на выходе суммирующего устройства появится сигнал рассогласования противоположного знака и исполнительный механизм соответственно увеличит подачу.

Итак, в процессе управления обработкой нам надо решить две задачи: своевременно получить (с требуемой точностью) информацию об отклонениях хода технологического процесса; внести соответствующую поправку.

Необходимость в точной информации очевидна, это не требует пояснений. Что касается своевременности, то о ней следует сказать несколько слов; запаздывание может привести к большим неприятностям и свести на нет все преимущества адаптивного управления. Например, при перегрузке системы СПИД запаздывание информации о том, что сила резания превысила допустимое значение, не позволит вовремя внести соответствующую

поправки, и тогда мы станем свидетелями поломки слабого звена, например инструмента.

Информацию о процессе (точнее, и саму информацию и способы ее получения) можно подразделить на три группы. Первая группа — факторы, вызывающие отклонения параметров процесса обработки (например, состояние системы СПИД, колебание припуска и твердости материала заготовки и др.). Следует отметить, что здесь мы имеем возможность получить информацию до того, как тот или иной параметр, например сила резания или упругое перемещение, опасно изменился. Но для этого нужно глубоко изучить механизм образования отклонений выходных показателей технологического процесса. На сегодня наши знания в этой области недостаточны. Поэтому способы получения информации первой группы применяют главным образом при измерении некоторых систематических доминирующих факторов.

Вторая группа — отклонения параметров непосредственно технологического процесса (упругие перемещения, температурные деформации, сила резания, относительное положение обрабатываемой детали и режущего инструмента). Нам представляется возможность получить информацию об изменениях хода технологического процесса в момент их возникновения.

Наконец, к третьей группе относятся данные о деталях после их полной или частичной обработки. На этом этапе мы получаем наиболее точные сведения об отклонениях. Высокая точность информации объясняется тем, что величины, которые характеризуют качество детали, измеряются непосредственно, а также благодаря измерениям на приборах вне станка. Но в преимуществе кроется и недостаток: беда в том, что информация наша устарела, она отражает уже свершившийся факт, она запоздала и поздно что-либо поправлять.

Выбор параметров, характеризующих ход технологического процесса и подлежащих измерению, определяется той задачей, которую должна решать адаптивная система управления (АСУ). В зависимости от нее в качестве источников информации могут выступать различного рода физические величины. Как показывает теория и практика адаптивного управления процессом обработки, наиболее высокие требования к качеству

информации предъявляются, когда АСУ решает задачу повышения точности обработки. Здесь ошибки в измерении погрешности обработки могут привести к серьезным последствиям, таким, как получение бракованной детали или повторение операции. Остановимся подробнее на типовых задачах измерения.

Измерение погрешности обработки детали. Первое, что приходит на ум при решении вопроса: как получить надежную, точную и своевременную информацию о погрешности обработки детали в момент ее возникновения — непосредственно измерять расстояние между режущими кромками инструмента и технологическими базами детали. Но реализовать это предложение в настоящее время технически невозможно из-за отсутствия надежных способов и средств, позволяющих проникнуть в зону резания. Поэтому все известные способы измерения погрешности детали в момент обработки основаны на косвенном ее измерении. Наиболее трудноустраняемая составляющая погрешности — динамическая. В связи с этим одна из первых задач по повышению точности обработки с помощью АСУ — уменьшить ее. Сначала рассмотрим вопрос об уменьшении погрешности, обусловленной упругими перемещениями. Если бы она не изменялась по величине, то ее без труда можно было бы компенсировать соответствующим изменением настройки системы СПИД. Но вся сложность именно в том, что величина динамической погрешности непрерывно колеблется. Причем колебания в значительной степени случайны.

В качестве информации о величине отклонения динамической погрешности A_d используются измерения упругих перемещений звеньев системы СПИД, силы резания или ее составляющих, крутящего момента, давления в цилиндре, мощности, тока и других физических величин, характеризующих обработку. Основное условие получения точной информации — наличие надежной и устойчивой зависимости между динамической погрешностью и некоей физической величиной μ , выбранной как источник информации. Опыт показывает, что наилучшие результаты получаются тогда, когда за источник информации принимают упругие перемещения звеньев системы СПИД.

Проф. Б. С. Балакшиным предложен способ получения сведений о динамической погрешности через из-

мерение упругих перемещений, сущность которого в следующем. Во время обработки детали измеряют относительное перемещение двух элементов технологической системы, или деформацию специальной детали определенной жесткости, встроенной в СПИД. На качество информации о величине A_d влияет расположение измерительного устройства в системе. При выборе места егостройки следует стремиться к выполнению следующих требований.

1. По возможности встраивать измерительное устройство максимально близко к зоне резания. Чем ближе измерительное устройство расположено к зоне резания, тем быстрее будет получена информация об отклонении A_d .

2. Местостройки должно быть таким, чтобы подавляющее большинство факторов, порождающих относительное упругое перемещение детали и инструмента, оказывали пропорциональное воздействие и на чувствительный элемент измерительного устройства.

3. Местостройки должно обеспечивать удобство обслуживания измерительного устройства.

Наиболее часто в качестве источников информации используют упругие перемещения резца, резцедержателя, передней бабки, задней бабки станка и др.

Нашли достаточно широкое применение устройства для определения A_d через измерение силы резания или ее составляющих. Они получили название динамометрического узла и состоят из чувствительного элемента, усилительного механизма и датчика. Их стремятся установить в местах крепления режущего инструмента или обрабатываемой детали, т. е. так же, как можно ближе к зоне резания.

Более просто решается задача измерения одной из составляющих силы резания (один из вариантов решения ее мы уже рассмотрели). Но при этом, как правило, не учитывают влияния на погрешность обработки других составляющих. Для того чтобы решить, какую из составляющих силы резания надо измерять, проводят специальное исследование. В ряде случаев приходится измерить все три — P_z , P_y , P_x . Например, было замечено, что при обработке на токарных станках резцами с главным углом в плане $\varphi = 90^\circ$, по мере увеличения глубины резания диаметральный размер детали сначала увеличивается, а затем начинает уменьшаться.

Исследование показало, что вначале под действием силы P_y расстояние между деталью и резцом становится больше, а при дальнейшем увеличении припуска возрастает сила P_x , и под действием ее момента суппорт станка начинает поворачиваться. А поворачивается он таким образом, что резец врезается в деталь. В результате диаметральный размер детали начинает уменьшаться, в то время как сила резания увеличивается. Аналогичная картина и при обработке деталей на других типах станков, в частности на фрезерных.

Стало быть, информации только об одной составляющей силы резания не всегда достаточно для правильного управления процессом. Приходится разрабатывать динамометрические узлы для измерения всех составляющих. Так, к токарному гидрокопировальному полуавтомату модели 1722 разработали динамометрический резцедержатель, измеряющий влияние всех составляющих силы резания на величину относительного упругого перемещения детали и резца.

Практика внедрения систем адаптивного управления и проведенные исследования показали, что выбор в качестве источников информации таких величин, как крутящий момент, мощность, ток в обмотках электродвигателя, давление в гидроцилиндре, приводит к значительным потерям в точности информации о контролируемой величине.

По мере решения вопроса повышения точности обработки деталей управлением упругими перемещениями системы СПИД на роль доминирующих факторов стали выдвигаться температурные деформации, геометрическая неточность станка, износ звеньев системы СПИД. Ранее различными средствами подавлялось и уменьшалось их систематическое влияние. Например, при износе направляющих станины станка определялась систематическая составляющая погрешности обработки от действия этого фактора. На основании измерений рассчитывалась программа; ее вводили в систему точностной поднастройки системы СПИД. Но при этом не учитывали случайной составляющей погрешности, не учитывали и такие погрешности, как нестабильность вращения шпинделя и др.

Аналогичную картину можно наблюдать и в уменьшении влияния температурных деформаций, износа звеньев системы СПИД (не только режущего инстру-

мента). Если ранее случайные составляющие этих факторов, как правило, существенно не влияли на точность обработки, то в условиях совместного действия систем активного контроля и управления упругими перемещениями они — одна из главных причин погрешности обработки.

Исследование механизма образования погрешности показало, что подавляющее большинство факторов, действующих во время обработки детали, обуславливает температурные деформации, геометрическую неточность станка, от них зависит и износ звеньев системы СПИД. А они, в свою очередь, через погрешности установки детали и настройки системы нарушают заданное относительное движение технологических баз детали и режущих кромок инструмента. Следовательно, управляя отклонениями параметров относительного движения технологических баз детали и режущих кромок инструмента, можно компенсировать одновременно влияние упругих перемещений, температурных деформаций, геометрической неточности станка и износа звеньев системы СПИД.

Отсюда решение задачи свелось к непосредственному измерению относительного положения обрабатываемой детали и режущего инструмента и соответствующей реакции на эти измерения. Оно было апробировано на вертикально-фрезерном, токарном и горизонтально-расточном станках. На вертикально-фрезерном с помощью 3 датчиков измеряли относительное положение торцевой фрезы и стола станка, на котором установлена деталь. На токарном и горизонтально-расточном станках определяли положение режущего инструмента и обрабатываемой детали относительно независимой системы координат, а затем вычисляли их относительное положение. К сожалению, метод в настоящее время находится еще в стадии исследований и пока не вышел за пределы лабораторий.

Измерение силовых параметров. В зависимости от задачи, решаемой с помощью АСУ, в качестве источников информации выбирают силу резания или ее составляющие, мощность на валу электродвигателя, ток в его обмотках, крутящий момент на шпинделе или промежуточном валу, давление в гидроцилиндре и др. В большинстве случаев контроль силовых параметров динамометрическими устройствами основан на измерении ве-

личины перемещения или деформации чувствительного элемента под действием нагрузки. Чувствительные элементы, как правило, упруги — консольные балки, балки на двух опорах, тарельчатые пружины и т. п. В качестве датчиков используют индуктивные преобразователи, преобразователи на тензорезисторах, магнитоупругие преобразователи.

Магнитоупругие преобразователи меняют магнитную проницаемость под действием нагрузки. Это свойство позволяет использовать их не только как преобразователь, но и как чувствительные элементы. Если еще учесть, что их жесткость того же порядка, что и жесткость детали, то перспективность их применения не вызывает сомнений.

Конструктивное оформление динамометрических узлов отличается большим разнообразием. Дело в том, что необходимо учитывать требования к точности и диапазону измерения, месту встройки, контролируемым силовым параметрам и др. Они выполняются в виде динамометрических резцов, резцедержателей, оправок, столов, гаек, шпиндельных опор.

Динамометрические узлы используют не только для измерения силы, но и момента.

Колебания мощности, расходуемой на резание материала детали можно определять, контролируя мощность электродвигателя привода или другие электрические параметры — ток, коэффициент мощности электродвигателя — $\cos\phi$ (эти параметры взаимозависимы). Измерять активную мощность лучше. Датчик активной мощности представляет собой измерительный трансформатор с двумя обмотками: токовой и напряжения. Мгновенные значения тока и напряжения перемножаются, и на выходе мы получаем сигнал, пропорциональный величине активной мощности.

Следует помнить, что полученное таким образом значение мощности отражает ее затраты не только на процесс резания, но и на передачу движения от двигателя к детали и инструменту. Эту ее часть называют мощностью холостого хода. Как показали исследования, величина мощности холостого хода соизмерима с мощностью резания. Поэтому чтобы выявить долю мощности, расходуемой только на обработку детали, необходимо знать и учитывать мощность холостого хода. Ее определяют экспериментально или расчетно.

Широко применяют устройства измерения момента, в первую очередь при обработке деталей вращающимся инструментом (сверлами, фрезами). Принципиально конструкция моментометров не отличается от динамометрических узлов. Момент измеряют на вращающихся валах; если требуется измерить момент от силы вертикальной составляющей, то измерительное устройство лучше располагать на шпинделе или инструменте. Измерение его на промежуточных валах коробок скоростей уменьшает точность данных, так как приходится измерять и момент, затраченный на преодоление сил трения в промежуточных элементах.

Для передачи измеренной величины с вращающегося вала используют токосъемные устройства контактного и бесконтактного типа. Первые просты по конструкции, но вносят погрешность в информацию. Вторые высокоточны, зато сложнее. Бесконтактные токосъемники основаны на принципе трансформаторной передачи сигнала, или принципе радиосвязи с амплитудной или частотной модуляцией. Последний подробно рассмотрен ниже в описании АСУ к горизонтально-расточному станку.

Измерение износа режущего инструмента. Износ режущего инструмента влияет и на точность и на производительность обработки. Затупление его увеличивает упругие перемещения, повышает шероховатость поверхности, усиливает вибрации. Ясно, насколько необходимо иметь информацию о фактическом износе.

О величине износа судят по разным критериям. Когда главным считается его влияние на точность обработки, за критерий принимают размерный износ. Если необходимо иметь информацию об износе, после которого инструмент начинает разрушаться, контролируют фаску на главной задней грани резца, лунку на передней или фаску на вспомогательной задней и др.; чаще измеряют износ задней грани, это проще.

Один из путей определения величины износа — непосредственное измерение геометрических параметров режущей части инструмента. Однако это возможно только после или до обработки детали. Кроме того, такой способ резко затрудняет автоматизацию процесса измерения. Им пользуются только тогда, когда речь идет о размерном износе или когда время обработки де-

тали невелико, а износ за это время ничтожно мал. В других случаях применяют косвенные методы.

Например, измеряют смещение режущей грани резца относительно обрабатываемой детали. На резцедержателе устанавливают датчик, в шток которого упирается конец рычага. Другой его конец — в постоянном контакте с обработанной поверхностью, расположенной следом за резцом. При износе резца по задней грани увеличивается диаметральный размер обработанной поверхности. В результате рычаг поворачивается и нажимает на шток датчика. Появляется сигнал об износе по задней грани. Для определения величины размерного износа производят соответствующий расчет. На точности измерения сказываются тепловое расширение резца, упругие деформации системы СПИД, шероховатость обработанной поверхности, износ рычага в точке контакта с поверхностью детали и др.

Известны попытки измерить износ с помощью датчика, работающего по принципу «сопло—заслонка». Сопло пневматической системы располагают в твердосплавной пластине резца таким образом, чтобы срезанная поверхность детали была отражающей. С увеличением износа инструмента размер детали растет (например, при точении), вследствие чего расстояние между соплом и отражающей поверхностью сокращается. Это, в свою очередь, вызывает повышение давления в пневматической измерительной системе, по которому и судят об износе.

Но, как уже было сказано, при использовании таких измерителей возникают трудности, связанные с размещением датчиков вблизи зоны резания, защитой их от сходящей стружки и др. Это и невысокая точность измерений не стимулируют, конечно, и внедрение. Больше распространены косвенные методы измерения износа инструмента. Они основаны на зависимости его от различных физических величин.

Исследованиями была установлена зависимость между износом и температурой резания. Тепловой эффект — результат пластической деформации обрабатываемого материала и трения режущей части инструмента о поверхность детали. Кроме того, отмечено, что изменение температуры «следует» за изменением режимов резания с очень малым запаздыванием. Это немаловажно с точки зрения качества управления, так как

позволяет своевременно получать информацию. Следует помнить, однако, что косвенное определение износа инструмента через измерение температуры не информирует нас о его выкрашивании.

Температура режущей части инструмента впервые была определена русским ученым Я. Г. Усачевым с помощью искусственной и полусинтетической термопар. В первом случае в отверстие резца вставляют термопару, например «медь—константан». Под влиянием тепла, выделяющегося в зоне резания, разогревается рабочий спай термопары; в электрической цепи возникает ЭДС, регистрируемая соответствующими приборами. Недостатки метода — относительная сложность устройства термопары, отсутствие возможности измерения действительной температуры резания из-за удаленности от зоны резания, сравнительно большая постоянная времени термопары, ее недолговечность из-за износа резца и т. д.

Полусинтетическая термопара образуется при соединении проволоки, например, из константана с телом резца. Как видим, полусинтетическая термопара — по существу усовершенствованный вариант искусственной и методу присущи те же недостатки.

Естественная термопара — это деталь и режущий инструмент. Ее использование благодаря более высокой точности измерения, практической безынерционности, высокой чувствительности и надежности позволило получить довольно достоверные сведения об износе инструмента. Резец изолируют от резцедержателя прокладками, к детали и режущему инструменту подводят ток.

Но определить погрешность — половина дела. Надо еще внести поправки в ход технологического процесса. Для этого разработаны многочисленные способы, использующие разные физические величины, изменением которых осуществляют коррекцию. Рассмотрим некоторые из них.

Поправка изменением режимов резания. Изменять можно любой элемент режима: глубину, продольную подачу, скорость резания. Выбор того или иного элемента для внесения поправки зависит от решаемой задачи. К примеру, если надо стабилизировать силу резания, может быть выбран любой из элементов, так как все они входят в уравнение силы резания. Однако сте-

пень их влияния и сопутствующий побочный эффект могут быть различными.

Очень часто для введения поправки используют изменение величины продольной подачи S . Именно так справляются с относительным упругим перемещением детали и режущего инструмента, стабилизируют нагрузку, предотвращают поломки системы СПИД и т. п. Если речь идет об управлении упругими перемещениями, этот способ имеет ряд преимуществ.

Во-первых, изменяя величину продольной подачи, мы воздействуем на упругие перемещения всех звеньев системы СПИД, разброс размеров которых сказывается на точности обработки. Дело в том, что, изменяя величину S , одновременно меняем и силу резания. А ее воздействие, как известно, передается всем звеньям технологической системы. Чтобы изучить это явление, провели эксперимент. Одновременно фиксировали упругие перемещения обрабатываемой детали и инструмента во время обычной обработки и во время обработки с управлением упругими перемещениями регулированием величины подачи. Опыт осуществили на токарно-винторезном станке с системой автоматического управления упругими перемещениями. Было доказано, что при регулировании продольной подачи меняются величины упругих перемещений всех звеньев.

Следует отметить еще одно важное обстоятельство, связанное с выбором продольной подачи в качестве параметра управления. Она входит в формулу расчета величины основного технологического времени. Поэтому ее использование для управления упругими перемещениями не только увеличивает точность обработки, но и сказывается на производительности.

Выбор средств регулирования величины продольной подачи определяется в первую очередь требованиями к точности и быстрдействию регулирования. При модернизировании действующих станков к этим ограничениям надо добавить также привод подачи, имеющийся на станках. Использование его в качестве исполнительного механизма значительно упрощает и удешевляет изготовление систем автоматического управления.

При создании АСУ к гидрофицированным металло-режущим станкам для бесступенчатого регулирования величины продольной подачи можно использовать имеющийся дроссель, применив серводвигатель, кото-

рый работает в режиме слежения. Серводвигатель, получив управляющий электрический сигнал, поворачивает дроссель на соответствующий угол, изменяя тем самым величину S ; преимущества такого способа — простота и отсутствие каких-либо конструктивных изменений в гидросистеме. В то же время есть и существенные недостатки: большая зона нечувствительности, низкая точность и плавность регулирования, малая скорость отработки входного сигнала.

Когда указанные недостатки не позволяют применить бесступенчатое регулирование подачи, можно рекомендовать использование гидрозолотников с электроуправлением. Например, установили следящий золотник на гидрокопировальный станок 1722 на выходе гидросмесителя — непосредственно за первым дросселем продольной подачи параллельно второму дросселю продольной подачи. Это не нарушило работу копировального суппорта станка, позволило добиться высокого быстрогодействия в отработке рассогласования и плавного изменения подачи в пределах всего технологического диапазона рабочих подач. Электрогидравлический привод подач для управления упругими перемещениями отлично зарекомендовал себя в АСУ внутришлифовального, плоскошлифовального, шлищшлифовального, заточного, токарного гидрокопировального и других станков.

При оснащении АСУ станков с механическим приводом подачи — от асинхронного электродвигателя — использование его для бесступенчатого регулирования не дает удовлетворительных результатов. Как показали исследования и практика создания АСУ, приемлемым решением, не требующим существенных конструктивных изменений в станке, может быть замена асинхронного двигателя двигателем постоянного тока с независимой обмоткой возбуждения. Таким образом мы добьемся плавного изменения величины продольной подачи в широком диапазоне.

Нередко встречаются станки, у которых один электродвигатель служит источником движения одновременно для основного вращения и для подачи (например, у токарных универсальных станков мотор главного привода движения с помощью кинематических цепей вращает шпиндель станка и перемещает суппорт). В таких случаях рекомендуется кинематическую цепь, связывающую шпиндель с суппортом, разрывать и ставить для

привода продольной подачи индивидуальный электродвигатель постоянного тока.

В качестве усилителя в первых образцах АСУ использовался электромашиный усилитель (ЭМУ). Но лучшие результаты, с точки зрения быстродействия, качества переходного процесса и устойчивости работы АСУ, дает применение реверсивного тиристорного преобразователя.

Очень часто при управлении точностью обработки поправку вносят, изменяя глубину резания. Дело в том, что не всегда можно управлять упругими перемещениями с помощью подачи. Например, жесткие требования к шероховатости поверхности не позволяют регулировать S в нужном диапазоне. А иногда с помощью подачи решается вообще другая задача. Тут мы и обращаемся к глубине резания, воздействуем на которую статической настройкой. Реализуется такой способ управления следующим образом. С начала обработки непрерывно, косвенным методом измеряется относительное упругое перемещение детали и инструмента. Измеренная величина, преобразованная в управляющий сигнал, поступает на исполнительный механизм, который изменяет размер статической настройки на величину, несколько большую упругого перемещения и с обратным знаком. В результате отклонение относительного положения детали и инструмента из-за упругих перемещений оказывается скомпенсированным соответствующим изменением статической настройки.

Сложность такого способа управления точностью в незначительности перемещений при внесении поправок в статическую настройку. Скачок рабочего органа (в результате изменения коэффициента трения при переходе от покоя к движению) в ряде случаев может быть соизмерим с требуемой величиной поднастройки. Для реализации данного метода необходимо разработать надежные реверсивные механизмы малых перемещений узлов станка. Существующие подобные устройства используют упругие элементы, ударное действие и др.

Поправка изменением скорости резания нашла применение в первую очередь при управлении жесткостью режущего инструмента. Конечно, можно с помощью регулирования скорости резания управлять и силой резания. Но следует учесть: диапазон изменения скорости будет велик. А это отрицательно влияет на

стойкость инструмента, поэтому управлять силовой нагрузкой, регулируя скорость резания, нецелесообразно.

В качестве исполнительного механизма, обеспечивающего изменение скорости резания в требуемом диапазоне, применяется двигатель постоянного тока, работающий от ЭМУ тиристорного привода. В этом случае скорость резания изменяется регулированием частоты вращения шпинделя станка.

Поправка изменением геометрии резания. Геометрия режущей части инструмента отличается от фактической геометрии резания во время обработки. Дело в том, что под действием различных факторов меняется относительное положение инструмента и детали. Поэтому мы различаем геометрию резания и геометрию режущего инструмента. Исследования показали, что изменение геометрии резания может существенно влиять на величину упругого перемещения, так как одновременно меняются величина и направление вектора силы резания. Средства для этого — регулирование во время обработки переднего угла, угла резания, главного угла в плане и других параметров геометрии резца. Таким образом, меняя геометрию резания, можно управлять и силовой нагрузкой и упругими перемещениями.

Исследования показали, что наибольшее влияние на вектор силы резания оказывает изменение угла резания и главного угла в плане. Из всех составляющих силы резания наиболее чувствительны к изменению геометрии радиальная составляющая P_y и осевая P_x . Для токарного станка был разработан исполнительный механизм, который мог вращать резец вокруг продольной оси, проходящей через его вершину и перпендикулярной к обрабатываемой поверхности. При повороте резца вокруг этой оси изменяются передний угол γ , задний угол α , угол резания δ , угол наклона режущей кромки λ , главный угол в плане ϕ , вспомогательный угол в плане ϕ_1 , радиус при вершине. Преимущество рассматриваемого способа внесения поправки в незначительном изменении шероховатости обработанной поверхности.

Поправка изменением жесткости технологической системы. Жесткость системы СПИД в известной степени обуславливает упругое перемещение. Воздействовать на жесткость всей системы можно, регулируя жесткость какого-либо ее элемента, упругое перемещение которого

сказывается на точности обработки. Такой способ внесения поправки в величину относительного упругого перемещения детали и инструмента принципиально отличается от способов, использующих силу резания: компенсация отклонения упругого перемещения детали и инструмента происходит благодаря изменению величины упругого перемещения только лишь той детали, жесткость которой регулируется.

Способ имеет и преимущества и недостатки. К преимуществам следует отнести отсутствие колебаний шероховатости и высокую точность поправки динамической настройки, так как деформацию регулируемого звена можно сравнительно просто и точно измерить. Недостаток — сохранение неравномерного силового режима работы.

Практически способ реализуется следующим образом. К токарному станку разработали исполнительный механизм в виде специального суппорта с небольшим электродвигателем. Резец, закрепленный в нем, упирается в упругий элемент — балку, свободно лежащую на двух опорах. Опоры выполнены в виде гаек, из которых одна с правой резьбой, а другая — с левой. С помощью винта, имеющего и правую и левую резьбу, и электродвигателя можно сдвигать или раздвигать опоры балки, тем самым изменяя ее жесткость.

Поправка наложением на режущий инструмент высокочастотных колебаний. Если сообщить режущему инструменту высокочастотные колебания, это изменит вектор силы резания, а следовательно, и упругое перемещение. Варьируя амплитуду и частоту колебаний, можно нужным образом воздействовать и на вектор силы резания. Основное преимущество способа — возможность регулировать динамическую настройку с высокими быстрым действием, порядка 10^{-2} — 10^{-4} с. Это открывает путь к решению задачи повышения точности геометрической формы в поперечном сечении при обработке деталей с высокой скоростью резания.

Исполнительный механизм к токарному станку — магнитострикционный преобразователь электрических колебаний в механические и источник переменного тока.

Система СПИД, оснащенная соответствующей АСУ, способна управлять: относительным положением обрабатываемой детали и инструмента; силовой нагрузкой; температурой в зоне резания; уровнем вибраций и др.,

что резко повышает эффективность обработки деталей.

Способность системы СПИД управлять относительным положением обрабатываемой детали и режущего инструмента — одно из достоинств применения АСУ. Соблюдая заданный закон относительного движения детали и инструмента (управлением упругими перемещениями), удастся в значительной степени уменьшить разброс размера, относительных поворотов и геометрической формы поверхностей как в партии деталей, так и для каждой отдельной единицы.

Если нужно ограничить колебания размера, относительных поворотов и геометрической формы поверхностей деталей в партии, то АСУ вменяется в обязанность стабилизировать упругие перемещения в системе СПИД или компенсировать их отклонения. При обычной обработке, когда из-за непостоянства припуска и твердости материала заготовки, затупления режущего инструмента эти упругие перемещения непрерывны, наблюдается большой разброс величин погрешностей обработки по каждому показателю точности. Это вынуждает снижать режимы резания, вести обработку в несколько проходов, в значительной степени затрудняет настройку технологической системы. Разработаны два принципиально разных способа уменьшения влияния упругих перемещений на точность обработки.

Первый способ — управление размером статической настройки, т. е. регулирование расстояния между режущей кромкой инструмента и базой станка (определяющей положение обрабатываемой детали), для компенсации колебаний динамической настройки. В зависимости от характера отклонений следует различать: управление размером статической настройки по отклонению; программное изменение размера статической настройки; программное управление размером статической настройки.

Рассмотрим процесс управления статической настройкой. С начала обработки относительное упругое перемещение детали и инструмента измеряется одним из рассмотренных способов. Как только получена первая информация о величине упругого перемещения, тут же изменяется статическая составляющая A_0 на величину ΔA_0 , равную упругому перемещению и направленную в противоположную сторону. Таким образом, влияние упругого перемещения на точность обработки ока-

зывается компенсированным соответствующим изменением размера статической настройки.

Здесь имеется тонкость, на которой следует остановиться. Вследствие изменения размера статической настройки на такую же величину изменится и глубина резания. Например, при обработке детали с глубиной резания 4 мм в результате упругих перемещений в системе СПИД пришлось уменьшить размер на 0,2 мм. Значит глубина резания увеличилась на 0,2 мм. Это, в свою очередь, увеличило силу резания, следовательно, должно увеличиться и упругое перемещение. Чтобы скомпенсировать упругое перемещение, возникшее в результате изменения размера A_c , надо его тоже дополнительно изменить. Иными словами, такие циклы поднастройки должны повторяться до тех пор, пока оставшаяся некомпенсированной величина упругого перемещения окажется в пределах допуска на точность обработки. Результаты работы станков, в частности токарных, оснащенных такого рода АСУ, показали, что разброс диаметральных размеров и отклонений в форме в партии деталей сокращается в 2—3 раза.

Применение АСУ эффективнее при обработке партии деталей с большими колебаниями припуска и твердости. Но при таком способе управления на детали остаются погрешности относительных поворотов и геометрической формы. Объясняется это действием систематических факторов и тем, что приборы контролируют лишь отклонение упругого перемещения, а не абсолютную его величину. В результате получается, что АСУ стабилизирует в каждой точке обрабатываемой поверхности детали упругое перемещение, отличающееся по номиналу от упругих перемещений в других точках. Различие упругих перемещений по номиналу — результат различной жесткости системы СПИД.

Кроме того, погрешности поворота и формы поверхностей деталей зависят и от износа направляющих, от геометрической неточности станка и др.

Управление статической настройкой позволяет повысить как точность диаметральных размеров, так и точность формы детали в продольном направлении. Для этого используют программное изменение или программное управление. При программном изменении размера статической настройки регулируют размер по определенному закону $\Delta A_c = f(x)$ в функции от заданного па-

раметра. В зависимости от решаемой задачи таким параметром могут быть время t , координата перемещения режущего инструмента относительно детали в продольном направлении и др. Таким образом обеспечивается повышение точности обработки из-за уменьшения влияния систематически действующих факторов — переменной жесткости системы СПИД, смещения заднего центра, погрешности направляющих станка и др.

Программное управление размером статической настройки предусматривает программное изменение A_c по определенному закону $\Delta A_c = f(x)$ и одновременно регулирование A_c в соответствии с отклонениями ΔA_d , обусловленными совокупным действием случайных факторов. Точность размеров и формы в продольном сечении повышается в связи с уменьшением влияния совокупного действия как случайных, так и систематических факторов. Система программного управления размером статической настройки при токарной обработке длинных валов позволила повысить точность формы детали в продольном сечении в 2—6 раз. Так, например, если при обточке ходового винта погрешность формы на участке в 1190 мм составляет 0,83 мм, то при использовании АСУ она уменьшается до 0,16 мм. Это позволяет значительно повысить производительность обработки на последующих операциях.

Таким образом, обработка с управлением процессом регулирования статической настройки имеет следующие преимущества (по сравнению с обычным способом).

1. Сокращается общее поле рассеяния и повышается точность размеров, относительных поворотов и геометрической формы деталей в 2—6 раз.

2. Шероховатость поверхности деталей остается такой же, как и при обычной обработке.

3. Управление размером A_c позволяет существенно упростить настройку станка на точность, что повышает производительность обработки.

4. Повышение точности обрабатываемых деталей дает возможность на последующих операциях добиться требуемой точности с меньшим числом проходов, или на более высоких режимах, что также положительно сказывается на производительности.

Сложность реализации рассматриваемого способа управления точностью в том, что вносить поправки в статическую настройку можно только малыми переме-

щениями. Скачок из-за изменения коэффициента трения при переходе от покоя к движению в ряде случаев может быть соизмерим с требуемой величиной поднастройки. Поэтому были разработаны надежные реверсивные механизмы малых перемещений узлов станка.

От статической настройки перейдем к динамической (A_d). Ее можно регулировать, изменяя силы, действующие в системе СПИД, в первую очередь резания, жесткости (по отдельности или одновременно). Изменение силы резания осуществляется, как уже рассматривалось выше, изменением любого из аргументов функции силы.

Управлением динамической настройкой решают те же задачи повышения точности обработки, что и управлением A_c : уменьшить разброс размеров, погрешностей поворота, геометрической формы в партии деталей. В отличие от первого способа в этом случае, как только появится отклонение ΔA_d , изменяют тот же размер A_d на ту же величину в противоположном направлении, т. е. A_d поддерживают, по возможности, постоянной.

На случайную составляющую погрешности геометрической формы воздействуют стабилизацией упругого перемещения. После обработки партии деталей при стабилизированной динамической настройке на них остается главным образом систематическая составляющая погрешностей относительных поворотов и геометрической формы.

Это позволяет использовать более эффективно известные способы уменьшения систематической погрешности. Например, при токарной обработке, когда имеет место значительная разница в жесткости передней и задней бабок, на детали образуется погрешность в виде конусности. Этого можно не допустить, смещая заднюю бабку в сторону уменьшения радиуса детали на величину, равную половине разности диаметральных размеров, измеренных по краям обработанной поверхности.

При обычной обработке, чтобы определить величину смещения детали, нужно обработать несколько деталей, так как конусность в партии колеблется из-за случайных факторов, в первую очередь припуска и твердости материала заготовок. Внести же поправку по результатам обработки первой детали не представляется возможным. А при наличии АСУ упругими перемещениями

это вполне реально. Исследования показали, что таким путем удастся сократить конусность детали примерно в 10 раз.

Если погрешности поворота или формы не могут быть эффективно уменьшены известными способами, целесообразно применять программное изменение или программное управление динамической настройкой. Программное изменение заключается в изменении размера A_d по заранее заданной программе без обратной связи. Такой способ управления эффективен, когда влияние случайных факторов на точность обработки пренебрежимо мало.

Программное управление динамической настройкой — это изменение размера A_d по заданной программе с обратной связью. Оно необходимо, когда влияние случайных и систематических факторов на точность деталей соизмеримо. Правда, имеется трудность — в выделении систематической составляющей погрешности, на основании которой составляется программа. Рассмотрим в качестве примера управление динамической настройкой с помощью программного управления радиальной составляющей силы резания при токарной обработке валов.

Сила резания в процессе обработки измеряется и сравнивается с заданным значением. При рассогласовании величина продольной подачи автоматически изменяется до тех пор, пока рассогласование не уменьшится до допустимой величины. Таким образом, влияние затупления резца, колебаний припуска и твердости материала заготовки на погрешность формы резко уменьшится. Поскольку при токарной обработке это влияние достаточно велико, управление упругими перемещениями рекомендуется осуществлять с обратной связью по силе P_y . В качестве исходных данных для расчета программы изменения силы P_y принимается погрешность формы детали в продольном сечении, обусловленная совокупным действием систематических факторов. Ее выражают в виде функциональной зависимости между отклонением диаметрального размера от заданного и положением резца по продольной координате его перемещения x .

Погрешность формы вала в продольном сечении из-за действия систематических факторов определяется следующим образом. Обработывают одну заготовку из

партии на станке с системой программного управления с обратной связью по P_y с $P_y = \text{const}$. Влияние затупления резца, колебаний припуска и твердости материала заготовки на погрешность формы резко уменьшается, а несоответствие детали заданной чертежом объясняется действием систематических факторов: изменение жесткости системы СПИД по мере перемещения резца вдоль детали, непараллельность линии центров направляющим станины, непрямолинейность направляющих и др.

Для того чтобы добиться наименьшего основного технологического времени при обработке с программным управлением, исходные данные следует определять, ведя обработку с максимальным значением P_y , т. е. $P_{y_{\text{макс}}}$. Максимальное значение силы P_y подсчитывается с учетом прочности системы СПИД, мощности привода станка и требуемого класса чистоты обработанной поверхности.

Поскольку обработка первой детали происходит при $P_y = P_{y_{\text{макс}}} = \text{const}$, компенсировать погрешность формы в продольном сечении описываемым способом можно, только уменьшив упругие перемещения. Дело в том, что при однозначности зависимости $y = f(P_y)$ компенсировать погрешности формы увеличением упругих перемещений можно, если сила P_y больше $P_{y_{\text{макс}}}$. Но такое увеличение P_y недопустимо. Зная систематическую погрешность формы и жесткость системы СПИД по длине прохода, можно рассчитать изменение величины силы P_y в функции перемещения резца.

Таким образом, управление динамической настройкой дает те же результаты в плане повышения точности обработки, что и управление статической настройкой. Но производительность в данном случае выше (если управление осуществляется изменением продольной подачи). Кроме того, не требуется создавать устройства для малых перемещений, так как используется механизм образования упругих перемещений, отличающийся высокой чувствительностью.

Способность системы СПИД управлять силовой нагрузкой позволяет значительно повысить эффективность обработки. Бесконтрольность силовой нагрузки при обычной обработке приводит к поломке режущего инструмента и других элементов станка, к их повышенному износу, снижению долговечности, снижению режимов

резания из-за боязни поломок и т. д. Особенно остро эта проблема стоит при работе с инструментами малой прочности, например сверлами диаметром 2—3 мм и менее, концевыми фрезами 5—6 мм и менее, узкими дисковыми фрезами и т. п. Значительный расход инструмента связан прежде всего с перегрузкой. Здесь, как нигде, остро проявляется необходимость в автоматическом управлении ходом технологического процесса и прежде всего поддержании силового режима в пределах допустимого.

Возьмем, к примеру, глубокое сверление отверстий малого диаметра. На станке с системой адаптивного управления, стабилизирующей суммарный момент, процесс идет с регулируемой подачей. Если измерительный прибор показывает, что момент начинает отклоняться от заданного значения, автоматически изменяется и величина подачи. По мере углубления сверла в деталь суммарный момент главным образом из-за увеличения момента трения становится больше. Поэтому чем дальше углубляется сверло, тем меньше величина подачи, гарантирующая постоянство суммарного момента. Наконец, подача уменьшается до такого предела, после которого дальнейшая обработка становится невыгодной. Тогда система адаптивного управления выводит сверло из детали, оно очищается от стружки (которая препятствует сверлению) и опять вводится в деталь. Таким образом, ввод—вывод сверла не программируется, а осуществляется по мере надобности. В итоге эффективность обработки сверлами малого диаметра с адаптивным управлением существенно повышается, во-первых, благодаря тому, что исключена возможность поломки инструмента, и, во-вторых, в связи с увеличением производительности обработки.

Следует отметить, что стабилизации силового режима сопутствует в определенной степени стабилизация температурных условий, что благоприятно сказывается на качестве поверхностного слоя детали.

Качество поверхностного слоя характеризуется степенью наклепа, микротвердостью поверхности, микротрещинами, величиной и знаком остаточных напряжений. Установлено, что все многообразие факторов, имеющих место при механической обработке, с точки зрения их влияния на количественные значения характеристик поверхностного слоя проявляется через силу

и температуру резания. В процессе формообразования поверхностей обрабатываемых деталей сила и температура резания не остаются постоянными. Они изменяются вследствие колебаний припуска, твердости заготовок, затупления режущего инструмента, изменения геометрии резания и т. д. Варьирование скоростью и подачи также изменяет силовой и температурный режим обработки.

Так, при увеличении усилий резания и степени пластических деформаций повышается степень наклепа. Изменение продолжительности воздействия сил резания на поверхностный слой металла приводит к изменению глубины распределения наклепа. Например, при токарной обработке наклеп поверхностного слоя растет с увеличением глубины резания, твердости исходного материала заготовки, подачи, радиуса при вершине резца и т. д.

Установление зависимостей между силовыми, температурными факторами, режимами резания и характеристиками качества поверхностного слоя позволило разработать АСУ, обеспечивающие повышение качества поверхностного слоя деталей. Они измеряют параметры силового и температурного режимов или одного из них и в зависимости от их значений регулируют режимы резания. При использовании таких систем надежно стабилизируется глубина и степень наклепа. Например, точность стабилизации глубины наклепа не превышает 10%, в то время как при обычной обработке она колеблется от нескольких десятков до сотен процентов — в зависимости от колебания припуска. Особенно эффективно применение АСУ при шлифовании.

При шлифовании, вследствие интенсивного выделения тепла, на поверхности детали появляется слой с измененной структурой, так называемый прижог. Для него типичны растягивающие внутренние напряжения и пониженная твердость, что отрицательно сказывается на эксплуатационных характеристиках шлифованных деталей. Прижоги при зубошлифовании уменьшают усталостную, контактную и изгибную прочность зубьев. Они уменьшают износостойкость, несущую способность и долговечность деталей.

Снизить интенсивность тепловыделения при шлифовании и ограничить глубину прижогов можно, тщательно подбирая характеристики абразивного круга и режи-

мов обработки. Поскольку условия протекания процесса непрерывно меняются, главным образом вследствие неизбежного изменения припуска и режущих свойств абразивного круга, режимы резания приходится устанавливать исходя из наиболее неблагоприятных условий обработки. С точки зрения интенсивности тепловыделения это наибольший припуск и наименьшая режущая способность круга. Во всех остальных случаях такие режимы гарантируют максимальную производительность.

Но входные характеристики заготовки остаются неоднозначными, круг тупится. А это значит, что при шлифовании с постоянными режимами в партии деталей все равно будет разброс параметров качества поверхностного слоя. Так, например, после заточки партии инструмента его стойкость будет различна. Стало быть, надо оснащать шлифовальные станки системами адаптивного управления, стабилизирующими силовую нагрузку. Исследования показали, что у метчиков, заточенных с АСУ, износ по задней грани оказался меньше на 18% по сравнению с износом метчиков, заточенных обычным способом, а производительность заточки возросла на 25%.

Способность системы СПИД предотвращать перегрузку весьма эффективно используется и для повышения надежности работы станков и, что особенно важно, надежности автоматов и автоматических линий. Обрабатывают детали на таких линиях большим количеством инструмента. Причем применяют и одноинструментальные и многоинструментальные наладки. Выход из строя одного инструмента влечет за собой остановку минимум одного станка, а в некоторых случаях участка или всей линии. Поэтому проблема сохранения инструмента, обеспечения требуемой длительности его работы весьма актуальна, так как она тесно связана с производительностью автоматической линии.

Способность системы СПИД управлять износом режущего инструмента дает возможность повысить его стойкость. Общеизвестно, что каждый резец (или любой другой инструмент) отличается качеством и, в частности, таким его показателем, как размерная стойкость. Среди различных факторов, действующих в процессе обработки, скорость резания обычно наиболее влияет на размерную стойкость. Поэтому при выборе

режимов скорости резания устанавливают, ориентируясь на размерную стойкость наименее стойкого инструмента и наиболее экономичный период стойкости. В результате значительную часть режущих инструментов меняют до того, как использован ресурс размерной стойкости. Это увеличивает расходы на инструмент в себестоимости единицы продукции и снижает производительность (из-за частой смены инструмента).

Исследования показали, что на размерную стойкость инструмента влияет большое количество факторов, особенно температура в зоне резания. Температура функционально связана со скоростью резания и через нее с размерной стойкостью. Следовательно, выбрав наиболее экономичный период стойкости режущего инструмента и стабилизировав соответствующую этому периоду температуру в зоне резания или управляя ею по заданной программе, можно полнее использовать режущие способности каждого экземпляра. Причем обработку можно вести при оптимальных скоростях, что положительно скажется на производительности и расходах на инструмент.

Измерение термоэлектродвижущей силы в зоне контакта дает надежную информацию для создания АСУ размерной стойкостью инструмента изменением скорости резания или подачи, или того и другого одновременно. АСУ увеличивает скорость резания, если вновь установленный инструмент обладает более высокой размерной стойкостью, снижает ее, если стойкость инструмента ниже. Скорость размерного износа стабилизируется во времени, благодаря чему каждый инструмент за установленный наиболее экономичный период изнашивается на одинаковую величину, а следовательно, наилучшим образом используются его режущие свойства.

Системы адаптивного управления к металлорежущим станкам

В комплекс адаптивного управления, помимо собственно системы СПИД — объекта управления, — входит и ряд других устройств. В зависимости от решаемой задачи — это датчики, усилительно-преобразующие устройства, элементы сравнения, логические и поисковые устройства, исполнительные механизмы, задатчики величины регулируемого параметра и др. Совместно с объектом управления они образуют замкнутый контур, в котором циркулирует информация: от системы СПИД она поступает к регулятору, а от него в виде команд для управления процессом обработки — вновь к системе СПИД.

Системы адаптивного управления бывают одномерными и многомерными. В многомерных измеряют несколько параметров и поддерживают их в соответствии с заданной программой. Например, определяются упругое перемещение и температура в зоне резания; если упругое перемещение отклонилось от заданного значения, то изменяют подачу, а если отклонилась температура — скорость резания.

Кроме того, АСУ могут быть одноконтурными и многоконтурными. В последних управление осуществляется раздельными исполнительными устройствами. Допустим, управляют упругими перемещениями изменением продольной подачи. Если при резке уменьшения упругого перемещения потребуются увеличить подачу выше допустимого значения, в системе должен быть другой механизм, с помощью которого поправку вносят изменением, например, статической настройки. Эта система двухконтурная.

При разработке адаптивного управления система СПИД может быть представлена как комплекс типовых динамических звеньев, соединенных по той или иной схеме. Такое представление облегчает расчет АСУ, синтез системы, оценку качества управления. Принцип действия той или иной АСУ легко прослеживается с помощью функциональной блок-схемы.

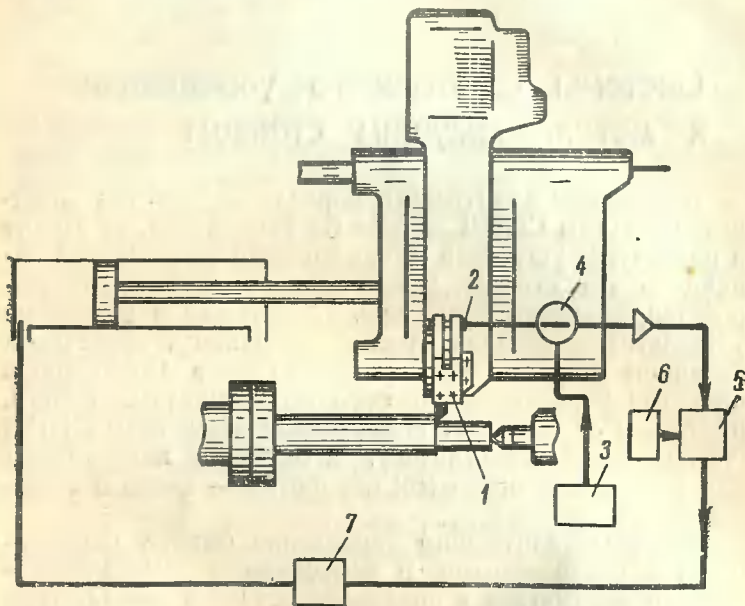


Рис. 2.

Системы адаптивного управления к токарному гидрокопировальному полуавтомату модели 1722. Этот станок широко распространен. Он работает и как отдельный станок, его можно встроить и в автоматические линии по обработке деталей, типа ступенчатых валов. В связи с использованием его в условиях серийного и массового производств к нему разработаны различные системы адаптивного управления. Начнем с адаптивного управления упругими перемещениями регулирования продольной подачи.

На рис. 2 показана блок-схема АСУ к гидрокопировальному токарному полуавтомату. Сила резания, как вектор, измеряется динамометрическим резцедержате-

лем 1, на котором размещен индуктивный датчик 2, преобразующий упругие деформации в электрический импульс, пропорциональный размеру динамической настройки A_d . Программное устройство 3 служит для задания дискретных или изменяющихся по выбранному закону величин размера динамической настройки A_d . Электрические импульсы от динамометрического и программного устройства рассматриваются в сравнивающем устройстве 4, где определяются величина и знак рассогласования. Электрический сигнал, пройдя через усилитель и ограничитель наибольшей подачи 5, задаваемой задатчиком 6, поступает на электромеханический преобразователь гидрозолотника 7. Он установлен на выходе гидросистемы, регулируя расход жидкости, тем самым изменяя величину рабочей продольной пода-

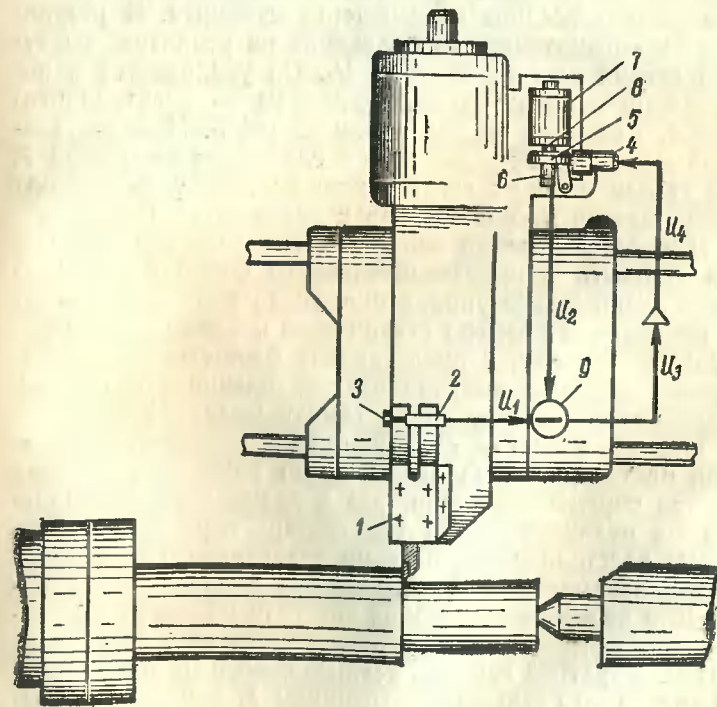


Рис. 3.

чи суппорта до тех пор, пока не будет устранено рассогласование фактической величины с заданной.

Другая АСУ была создана для повышения точности обработки в случае, когда нельзя в широких пределах изменять величину продольной подачи (из-за высоких требований к шероховатости обработанной поверхности). На рис. 3 изображена блок-схема системы автоматического управления размером статической настройки. С помощью динамометрического узла из упругого резцедержателя 1 и индуктивного датчика 2, упирающегося в регулировочный винт 3, непрерывно измеряется относительное упругое перемещение резца и обрабатываемой детали. Электрический сигнал U_1 от индуктивного датчика 2 подается на схему сравнения 9. Туда же поступает сигнал U_2 от датчика обратной связи 6, измеряющего приращение размера статической настройки, т. е. поднастроечное перемещение суппорта. В результате их автоматического сравнения на усилитель поступает сигнал рассогласования U_3 . Он усиливается и подается на исполнительный механизм — электродвигатель 4, механизм малых перемещений 5. Исполнительный механизм смещает щуп 8 следящего золотника 7, тем самым изменяя статическую настройку — суппорт перемещается в соответствии с величиной сигнала.

Для более полного использования резервов повышения точности и производительности обработки эффективно комплексное управление, когда поправка вносится изменением размера статической и динамической настройки. На рис. 4 представлена блок-схема двухконтурной системы адаптивного управления к токарному гидрокопировальному полуавтомату модели 1722.

Первый контур — следящая АСУ размером статической настройки. Она обеспечивает изменение размера A_c при перемещении суппорта в радиальном направлении на величину $\Delta A_c = A_d$. Суппорт перемещается на малые расстояния при помощи реверсивного механизма малых перемещений 5, встроенного в рычаг упора щупа. Для достижения высокой точности малых перемещений в систему введена отрицательная обратная связь. Датчик обратной связи 6, установленный на рычаге упора соосно со следящим золотником 7, измеряет поднастроечное перемещение суппорта по смещению щупа 8.

Второй контур представляет собой автоматическую систему управления размером динамической настройки

с задатчиком предельной величины упругого перемещения 9 и задатчиком наибольшего значения подачи 10 (для сохранения оптимальной продольной подачи в процессе резания). Бесступенчатое регулирование подачи осуществляется следящим золотником 11 с электроуправлением, встроенным на выходе гидросистемы станка.

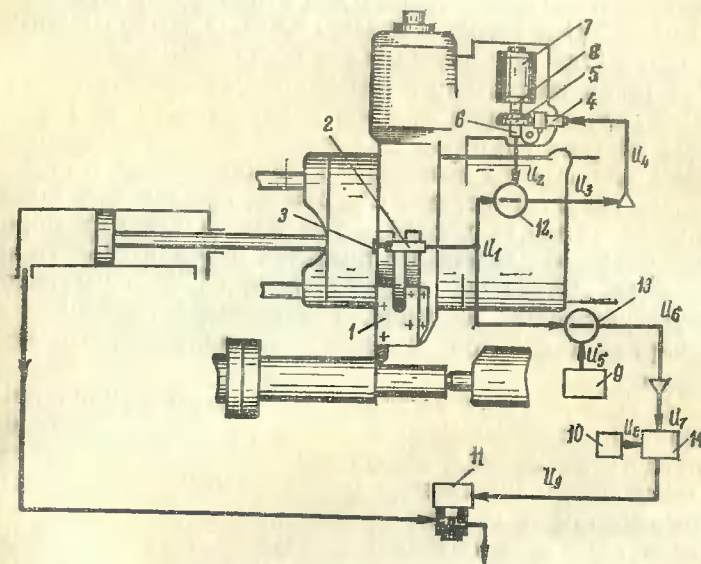


Рис. 4.

Порядок работы АСУ следующий. С индуктивного датчика 2 динамометрического резцедержателя 1 на схему сравнения 12 и 13 непрерывно поступает информация U_1 о величине A_d . На позицию 12 поступает также сигнал U_2 от датчика обратной связи 6. Сигнал рассогласования U_3 усиливается и подается на электродвигатель 4 исполнительного механизма 5, регулирующего статическую настройку. На позицию 13 поступает и сигнал U_5 от задатчика 9, соответствующий величине $A_{d\max}$. Сигнал рассогласования U_6 усиливается до U_7 и подается через ограничитель подачи 14 на электромеханический преобразователь следящего золотника 11. Непрерывное формирование сигнала U_9 , соответствующего критерию оптимального значения продольной подачи,

происходит в результате наличия двух задатчиков 9 и 10 (сигнал U_8) и ограничителя 14.

Сравнительно часто станки модели 1722 используют на черновых операциях, когда величина снимаемого припуска 8—15 мм. В этих условиях нередки перегрузки, а это ведет к поломке резца, а то и к повреждению центров и патрона. Кроме того, величина припуска резко изменяется за один проход. Отсюда потери производительности при обработке с постоянными режимами. При таком положении в первую очередь следует решать задачу стабилизации силовой нагрузки. Для чего и создана система адаптивного управления по току электродвигателя или по давлению в гидросистеме. Наиболее проста гидравлическая АСУ, она не нуждается в специальных датчиках усилий, так как использует обратную связь по давлению в полостях исполнительного механизма. Основным элементом такой АСУ — регулятор, двухступенчатый золотник, управляемый давлением в напорной и сливной полостях исполнительного механизма.

В АСУ по току электродвигателя ток измеряется с помощью трансформатора в фазе электродвигателя главного движения. Полученный сигнал усиливается электрогидравлическим двухкаскадным усилителем. Первый каскад состоит из электромеханического преобразователя, типа подвижной катушки, и гидравлического усилителя — сопло—заслонка. Второй — двухступенчатый золотник, поджатый пружиной. Изменение перепада давления в полостях исполнительного механизма заставляет золотник второго каскада перемещаться до тех пор, пока не наступит новое положение равновесия.

Применение на Горьковском автомобильном заводе гидрокопировальных полуавтоматов модели 1722, оснащенных АСУ, позволило увеличить среднесменную производительность с 207 до 280 деталей, повысить период стойкости резцов в 1,8—5 раз. Изменился характер простоев из-за отказов инструмента. Например, отношение потерь на аварийную смену инструмента к потерям на текущую смену снизилось с 7,5 до 0,4. Простои из-за отказов оборудования на автоматических линиях, где работали станки, уменьшились на 30%.

Система адаптивного управления к горизонтально-расточному станку. Горизонтально-расточные станки применяют в основном в мелкосерийном производстве.

Причем обрабатываемые детали — корпусные, полученные литьем. В них обработка литых отверстий отличается высокой трудоемкостью из-за необходимости съема большого неравномерного припуска. У верхней части припуска значительная твердость, неравномерная к тому же по длине прохода.

С другой стороны, повышенную трудоемкость объясняет применение режущего инструмента на консольных оправках, у которых низкая жесткость. В то же время растачивание консольной оправкой отверстий широко распространено, так как по сравнению с растачиванием борштангой имеет ряд преимуществ: простота установки и выверки инструмента, доступность контролю, более низкая стоимость. Поэтому консольное растачивание применяют не только на горизонтально-расточных, но и на координатно-расточных, вертикально-расточных, агрегатных, на многооперационных и других станках.

Точности отверстий при консольном растачивании на горизонтально-расточных станках добиваются за несколько проходов или операций: их разделяют на черновые, получистовые и чистовые. Такое разделение, однако, значительно снижает производительность процесса, так как многопроходность связана с большими затратами времени на обработку.

Горизонтально-расточный станок модели 2Л614 оснастили системой адаптивного управления; на рис. 5 показана ее блок-схема. В системе адаптивного управления оригинально решен динамометрический узел. Это консольная оправка, которая одновременно выполняет функции резцедержателя и измерителя величины упругой деформации оправки.

Оправка составная, из стакана и стержня. Стержень крепится внутри стакана, за линией его заделки в шпильке. Такая схема крепления способствует тому, что под воздействием силы резания стакан прогибается относительно стержня. На этом и основано измерение прогиба оправки. Для измерения его использовали бесконтактный индуктивный датчик. Катушка датчика крепится к стержню, а якорь расположен на стакане. При их установке между ними оставляют зазор. Во время обработки под действием силы резания стакан прогибается, вследствие чего изменяется зазор между якорем и торцом катушки. Это сказывается на электрическом сигнале на выводах катушки.

Поскольку оправка вращается, то довольно сложно оказалось снять сигнал с датчика. Контактный способ имеет ряд известных недостатков — трущиеся части вносят погрешность в информацию, возникающие разряды тоже влияют на точность измерения, затруднена эксплуатация. В связи с этим в динамометрическом

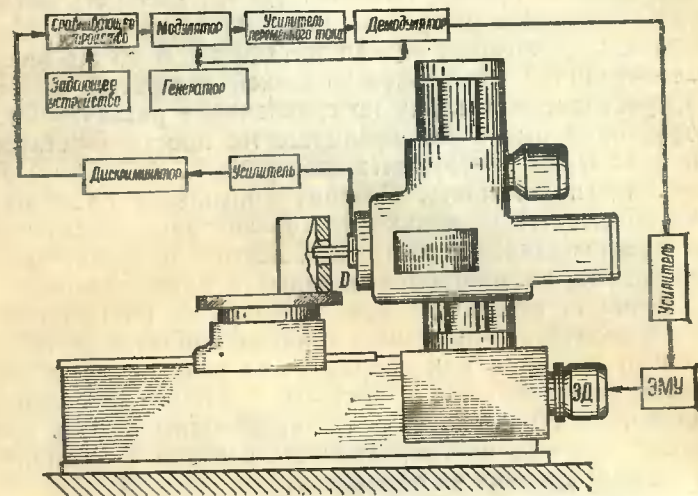


Рис. 5.

узле применили бесконтактный способ съема сигнала с помощью радиоканала связи, для чего разработали специальную электрическую схему и встроили ее в крышку стакана. Это генератор высокой частоты (в спектре радиочастот); частота колебаний зависит от величины воздушного зазора. При изменении прогиба стакана относительно стержня меняется величина зазора и, следовательно, коэффициента самоиндукции катушки датчика, которая входит в колебательный контур генератора. Таким образом, с помощью генератора измеренное упругое перемещение оправки преобразовывается в радиосигнал.

Работает система адаптивного управления следующим образом. Как только резец вошел в контакт с заготовкой и начался съем припуска, под действием силы резания начинаются упругие перемещения звеньев системы СПИД, в том числе и расточной оправки. Изме-

ренное динамометрическим узлом упругое перемещение оправки, преобразованное в радиосигнал, поступает на приемную антенну. Сигнал усиливается и преобразовывается в напряжение, пропорциональное величине упругого перемещения оправки. Далее он попадает на сум-

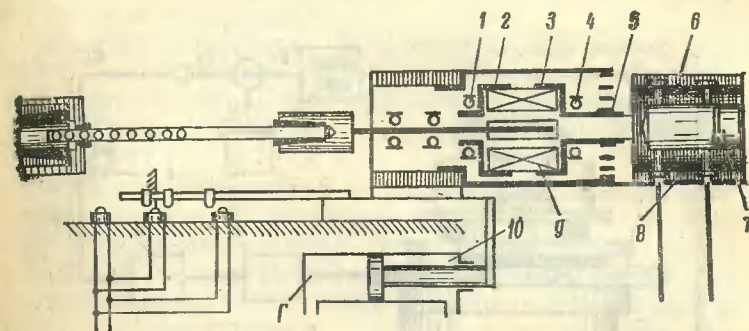


Рис. 6.

мирующее устройство, где сравнивается с сигналом от датчика, пропорциональным заданному значению упругого перемещения. Рассогласование между заданным и измеренным значениями упругого перемещения усиливается усилителем и сигнал направляется в имеющийся на станке блок управления подачей (сумматор, задающее устройство подачи, электромашинный усилитель тахогенератора, двигатель подачи). Задающее устройство используется как датчик максимально допустимой подачи.

Если сигнал рассогласования равен нулю, то обработку ведут на постоянной подаче. При увеличении упругого перемещения выше заданного величина продольной подачи падает. И наоборот, при его уменьшении продольная подача увеличивается.

Точность обработки отверстия на первом проходе на горизонтально-расточном станке с АСУ повысилась в 2,5 раза, производительность — на 20% и на 1% сократилось число проходов при обработке детали 2-го класса точности.

Системы адаптивного управления некоторых металлорежущих станков. Блок-схема одношпиндельного агрегатного станка с АСУ для глубокого сверления отверстий малого диаметра показана на рис. 6. Процесс идет

при встречном вращении сверла. Для измерения момента, действующего на сверло, использован балансированный динамометрический привод. Статор 9 электродвигателя установлен на подшипниках качения 1 и 4 с помощью фланцев 2 и 3.

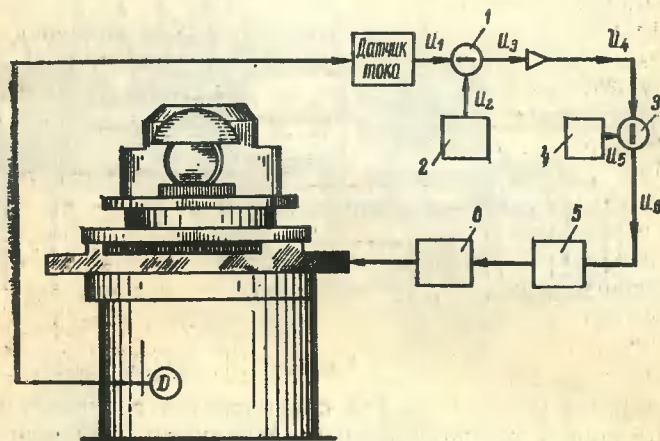


Рис. 7.

Известно, что при нагружении вала работающего электродвигателя тормозным моментом возникает реактивный момент, воспринимаемый элементами крепления двигателя. В данной конструкции реактивный момент воспринимается спиральной пружиной 5, внутренний конец которой закреплен на цапфе фланца 3, а наружный конец крепится к неподвижному стакану 8. Благодаря этому статор 9 имеет возможность поворачиваться на некоторый угол, величина которого зависит от жесткости спиральной пружины 5 и величины момента, действующего на сверло. При изменении момента, действующего на сверло, статор 9 поворачивает плунжер 7 регулирующего дросселя 6. Поворот плунжера 7 изменяет проходное сечение дроссельных отверстий, регулируя тем самым расход масла, поступающего из полости Г гидроцилиндра 10, а следовательно, и скорость подачи. Изменение скорости подачи изменяет момент на сверле. Подача будет меняться в нужном направлении до тех

пор, пока момент на сверле не станет равным заданному соответствующей затяжкой пружины 5.

Применение АСУ сокращает число заглублений инструмента, увеличивает среднее значение подачи, уменьшает количество поломок сверла, короче, значительно повышает производительность обработки. Одновременно растет и точность ее.

На рис. 7 приведена блок-схема АСУ к универсально-заточному станку. Она обеспечивает требуемое качество поверхностного слоя при заточке режущих инструментов и одновременно повышает производительность обработки.

Возмущающий сигнал — колебания тока фазы электродвигателя привода шлифовального круга, — вызванный изменением припуска или режущей способности шлифовального круга, поступает на первичную обмотку трансформатора включен в разрыв фазы электродвигателя и служит датчиком тока. Напряжение на нем U_1 , пропорциональное току фазы электродвигателя, поступает в сравнивающее устройство 1, где алгебраически складывается с напряжением U_2 от задающего устройства 2, пропорциональным току холостого хода электродвигателя. С выхода сравнивающего устройства снимается напряжение U_3 , характеризующее приращение тока фазы электродвигателя. Напряжение U_3 усиливается усилителем до U_4 и поступает в сравнивающее устройство 3, где алгебраически суммируется с напряжением U_5 от задающего устройства 4. Перед началом обработки в задающем устройстве 4 устанавливается напряжение, пропорциональное требуемой величине приращения тока фазы электродвигателя. Сигнал рассогласования U_6 , пропорциональный разности между измеренным значением приращения тока фазы электродвигателя и его заданным значением, поступает в исполнительный орган — стандартный гидрозолотник 5 с электроуправлением, который изменяет с помощью гидромотора 6 величину продольной подачи стола станка.

Описанную систему автоматического управления можно применять при заточке многолезвийных режущих инструментов из быстрорежущих сталей со сравнительно большой протяженностью режущих лезвий — метчики, развертки, червячные и цилиндрические фрезы.

Заключение

Как показывает практика внедрения систем адаптивного управления в промышленность, наибольшее распространение получили АСУ, стабилизирующие силовую нагрузку. Они наиболее просты и в то же время достаточно эффективны на черновых операциях, когда снижаются большие припуски и имеет место значительное колебание припуска и твердости материала.

Широкое внедрение систем адаптивного управления даст значительный технико-экономический эффект. Расчеты показывают, что вследствие сравнительно невысокой себестоимости изготовления и монтажа АСУ затраты на них окупаются в течение небольшого промежутка времени (от нескольких месяцев до года). Чтобы повысить эффект от внедрения, надо не только оснащать АСУ вновь выпускаемые станки, но и модернизировать действующий парк.

Создание промышленных образцов АСУ, надежно повышающих точность обработки, в ряде случаев сулит значительно большие выгоды по сравнению с эффектом от решения задачи стабилизации силовой нагрузки. Действительно, если точность обработки на станках с АСУ остается той же, что и на станках без АСУ, то не может быть и речи о каком-либо сокращении числа операций и увеличении производительности обработки на последующих операциях за счет уменьшения величины припуска и ее колебаний. Кроме того, традиционные способы накладывают ограничения на режимы обработки и тем самым препятствуют дальнейшему повышению эффективности использования АСУ. Например, при обработке нежесткой детали в результате ее прогиба образуются погрешность геометрической формы в продольном сечении. Чтобы она (погрешность) не вышла за

пределы допуска, режимы резания не должны превышать определенного уровня, за пределами которого величина прогиба превысит допустимое значение. В результате обработку ведут на заниженных режимах.

Если обратиться к существующим технологическим процессам механической обработки деталей, можно заметить, что для того чтобы получить заданную точность, деталь приходится многократно обрабатывать на одной или нескольких системах СПИД. Значит необходимо оснастить станки АСУ, существенно повышающими точность обработки на первых операциях. Это позволит сократить цикл процесса, так как сокращается время обработки на последующих операциях. Уменьшить число операций — значит высвободить часть оборудования, производственной площади и рабочих.

В подтверждение сказанного можно привести следующий пример. В лаборатории кафедры «Технология машиностроения» Московского станкоинструментального института на автоматической линии по обработке роторов электродвигателя — фрезерно-центровальный станок, четыре токарных гидрокопировальных автомата 1722 и токарный гидрокопировальный станок для прорезки канавок и подрезки торцов — был поставлен следующий эксперимент. На автоматах осуществляли черновую и чистовую токарную обработку роторов с двух сторон поочередно. Оснастив первые два автомата системами адаптивного управления, стали получать требуемую точность за один проход. Это сократило токарную обработку на две операции, а следовательно, высвободило два гидрокопировальных автомата, уменьшило производственную площадь, снизило расходы на эксплуатацию линии. В результате стоимость линии с учетом затрат на системы управления составила 71% от первоначальной.

Ведутся работы и по созданию систем оптимизации процесса обработки. Если первые системы адаптивного управления решали сравнительно простые задачи, то ныне они усложнились. Первые АСУ реализовывали так называемое граничное, или предельное, управление: один из параметров процесса поддерживается на заданном предельном уровне. Системы оптимизации ведут обработку по выбранному критерию.

В качестве критерия оптимизации в зависимости от поставленной задачи могут выступать различные тех-

нико-экономические показатели: максимальная производительность, минимальная себестоимость, приведенные затраты, максимальная скорость съема материала и др. Существует несколько методов поиска экстремума. Метод запоминания его заключается в том, что используется разность между текущим значением эффективности и его зафиксированным экстремальным значением. В этом случае для работы системы достаточно знать знак разности. Тогда логическое устройство определит, происходит ли удаление или приближение к экстремуму.

Метод взятия производной основан на определении знака приращения показателя эффективности или фиксированного знака приращения управляющего воздействия. Знак показывает: слева или справа находится экстремум, что позволяет решить — сохранить или изменить знак управляющего воздействия. Если окажется, что для приближения к экстремуму надо этот знак изменить, то логическое устройство даст соответствующую команду.

Метод последовательных шагов позволяет вести поиск экстремума в системах большой инерционности объекта регулирования и уменьшить амплитуду колебаний вокруг него (экстремума). Положения экстремального значения критерия оптимизации и его фактическое значение определяют по знаку и величине их предыдущей и последующей разности. Существуют и другие методы поиска экстремума.

Системы оптимизации разрабатывают двух типов — поисковые и беспоисковые, или аналитические. Разница в том, что в первом случае рассчитывают фактическое значение критерия оптимизации, осуществляют поиск требуемых изменений параметров процесса, с помощью которых этот экстремум можно реализовать. Основная трудность создания подобных систем — определение существующей скорости износа инструмента, или периода его стойкости. Без таких данных невозможно рассчитать мгновенные значения критерия оптимизации. Сложно также выбрать алгоритм поиска, т. е. стратегию поведения системы управления после получения информации о действительной величине критерия. К недостаткам поисковых систем следует отнести то, что для поиска и обеспечения экстремума необходимо время

(которое часто соизмеримо с продолжительностью обработки).

Для синтеза беспоисковых, или аналитических, систем нужно предварительно разработать модель процесса обработки. Используя такие модели и информацию о возмущающих воздействиях, можно рассчитать величину и знак управляющего импульса. Преимущество их в малом времени достижения экстремума. Однако погрешности из-за несовершенства модели процесса обработки могут быть достаточно велики. В результате фактическая эффективность системы управления может оказаться значительно ниже расчетной.

Созданные системы оптимизации в подавляющем большинстве беспоисковые. Их эффективность — теоретически — ниже, чем у поисковых: если последние — это системы абсолютной оптимизации, то беспоисковые решают задачу оптимизации; постольку, поскольку используемые априорные сведения соответствуют действительным. Но если учесть, что традиционные системы управления станками с фиксированными режимами резания вообще не обеспечивают текущей оптимизации обработки в соответствии с реальными параметрами обработки, то использование беспоисковых адаптивных систем на современном уровне знаний о резании вполне оправдано.

Большое внимание у нас и за рубежом уделяют разработке систем адаптивного управления к станкам с числовым программным управлением. Вначале станки с ЧПУ оснащали простейшими одноконтурными системами, а теперь создают АСУ, способствующие самопрограммированию траектории инструмента на черновых проходах.

В последнее время начали уделять серьезное внимание и адаптивному управлению сборочными процессами. Уже имеются образцы сборочных машин с адаптивным управлением. Кстати, для автоматизации механо-сборки¹ стали все шире применять промышленные роботы.

Следует особо подчеркнуть, что принципы адаптивного управления могут быть с успехом использованы для управления практически любым технологическим процессом, и тому имеются многочисленные примеры.

¹ Подробнее о сборке читатель может узнать из работы А. А. Гусева «Автоматизация сборочных работ». М., «Знание», 1975.

Большие потенциальные возможности повышения эффективности технологических процессов, заложенные в самой идее адаптивного управления, наличие разработанных систем и их результативность — все говорит за то, что настала пора распространить имеющийся положительный опыт по адаптивному управлению в другие области машиностроения. Такого рода системы могут быть эффективно использованы в различных строительных, землеройных машинах, в угольных комбайнах, в бумагоделательных агрегатах, на тракторах, зерноуборочных комбайнах; их место — в легкой и пищевой промышленности, в устройствах для механической обработки кожи, в тестосмесительных аппаратах, машинах для обвалки мяса, для обработки стекла, в оборудовании, которое должно приспосабливать режим работы не только к механическим показателям изделия, но и к физико-химическим, например к степени влажности, жирности и т. д.

Литература

Самоподнастраивающиеся станки. Под ред. Б. С. Балакшина. Изд. 2. М., «Машиностроение», 1967, 390 с.

Самоподнастраивающиеся станки. Под ред. Б. С. Балакшина. Изд. 3. М., «Машиностроение», 1970, 416 с.

Балакшин Б. С., Базров Б. М., Тимирязев В. А. Разработка и использование САУ для повышения точности и производительности обработки на токарных станках. Сб. НИИМАШ. М., 1969.

Базров Б. М. Причины образования погрешности обработки детали. — В кн.: Адаптивное управление станками. Под ред. Б. С. Балакшина. М., «Машиностроение», 1973.

Базров Б. М. Станки, оснащенные системами автоматического управления упругими перемещениями. — В кн.: Адаптивное управление станками. Под ред. Б. С. Балакшина. М., «Машиностроение», 1973.

Схиртладзе А. Г., Ковальчук Е. Р. Автоматическое управление упругими перемещениями на горизонтально-расточных станках. — «Станки и инструмент», 1974, № 8.

Рыбкин И. М., Митрофанов В. Г., Селезнев Ю. Н., Борода С. Е. Выбор режима обработки на станках, оснащенных адаптивными системами управления. — «Станки и инструмент», 1974, № 8.

Адаптивное управление станками. Под ред. Б. С. Балакшина. М., «Машиностроение», 1973.

СОДЕРЖАНИЕ

Точность, производительность, адаптивное управление	3
Сущность адаптивного управления	14
Системы адаптивного управления к металлорежущим станкам	43
Заключение	54
Литература	59

Борис Мухтарбекович БАЗРОВ

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТАНКАМИ

Редактор *Г. И. Флиорент*
Худож. редактор *Т. И. Добровольнова*
Техн. редактор *Т. В. Пичугина*
Корректор *В. В. Каночкина*

А 02757. Индекс заказа 55012. Сдано в набор 30.IX 1975 г. Подписано к печати 10/IX 1975 г. Формат бумаги 84×108¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Бум. л. 1. Печ. л. 2. Усл. л. 3,36. Уч.-изд. л. 3,10. Тираж 66 880 экз. Издательство «Знание». 101835, Москва, центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 1914. Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, центр, Новая пл., д. 3/4.
Цена 11 коп.

В 1975 году в серии «Техника» были изданы и разосланы подписчикам:

1. М. Н. Шрайбер. Создание новой техники и металлоемкость.
2. Е. С. Калининков. Черная металлургия: реальность и тенденции.
3. Н. Н. Долгополов, В. И. Фридман. Плазменная техника.
4. В. Ф. Зотов. О прокате.
5. Г. Юргис. Соединение материалов.
6. А. А. Вертман. Точное литье.
7. В. М. Котиков. Технический прогресс в машиностроении.
8. А. В. Алферов, А. Н. Белоцветов. Техника административно-управленческой связи.
9. Ф. Г. Патрунов. Использование криогенных температур.
10. И. Н. Нигматулин. Теплоэнергетика будущего.
11. А. А. Гусев. Автоматизация сборочных работ.
12. Б. М. Базров. Адаптивное управление станками.

С января 1976 г. издательство «Знание» начинает выпуск новой подписной серии брошюр «Эстетика», рассчитанной на преподавателей, студентов, лекторов и широкий круг читателей, интересующихся вопросами эстетики.

Задача новой серии — познакомить читателей с актуальными проблемами марксистско-ленинской эстетики.

Значительное место в брошюрах будет уделено характеристике предмета и метода эстетики, ее основных категорий. Большое внимание уделяется вопросам эстетического воспитания трудящихся в период развитого социализма. Читатели познакомятся также с достижениями технической эстетики. В брошюрах важное место найдет глубокий критический анализ современной буржуазной эстетики.

Авторами брошюр выступят известные советские журналисты, ученые, писатели.

В плане выпуска серии на 1976 г. предусмотрены следующие издания:

Волкова Е. В., кандидат философских наук.

Проблема содержания и формы в искусстве.

В брошюре с марксистско-ленинских позиций решается проблема диалектического взаимодействия содержания и формы в произведениях искусства. Автор рассказывает о соответствии содержания и формы в различных видах искусства и на различных этапах его развития, на конкретном материале показывает, что в законченном художественном произведении как целостной системе ведущим является гармоническое единство содержания и формы. В брошюре дается также критика буржуазных концепций по этому вопросу.

Долгов К. М., кандидат философских наук

Искусство и политика.

В брошюре раскрывается взаимосвязь искусства с политикой, их взаимоотношение на разных этапах общественного развития. Автор особо останавливается на массовости и партийности искусства как политических принципах, на конкретных примерах показывает, что политика КПСС является жизненной основой советско-

го искусства. В заключение дается критика буржуазных концепций элитарного искусства.

Куликова И. С., доктор философских наук.

Критика эстетических концепций современного буржуазного искусства.

В брошюре анализируются новейшие явления художественной жизни капиталистических стран. Автор вскрывает эстетические концепции, составляющие философско-теоретическую основу произведений буржуазного искусства, с марксистских позиций разоблачает сущность буржуазной «массовой культуры». В брошюре также показаны достижения прогрессивного искусства.

Лармин О. В., доктор философских наук.

Эстетическое воспитание в период развитого социализма.

В брошюре показана роль эстетического воспитания в деле формирования нового человека. Дается определение эстетического воспитания, раскрываются его сущность и задачи. На конкретных примерах автор подчеркивает, что чем эстетически воспитаннее человек, тем глубже он проникает в мир прекрасного, тем естественнее его потребность посвятить свою жизнь борьбе за идеалы коммунизма.

Лукин Ю. А., доктор философских наук.

Ленинское эстетическое наследие и современность.

В брошюре раскрывается колоссальное значение эстетического наследия В. И. Ленина для построения культуры коммунизма. Автор приводит основные положения эстетического учения Ленина, подчеркивает, что составной частью ленинского учения о партии является разработка принципов партийного руководства всеми сферами жизни социалистического общества, в том числе развитием художественной культуры. Особо подчеркивается актуальность партийного руководства художественной культурой в настоящее время.

Мунипов В. М., кандидат психологических наук.

Техническая эстетика: состояние и перспективы.

Автор освещает некоторые проблемы современного состояния и перспективы развития технической эстетики. В брошюре выясняется взаимоотношение эстетических и утилитарных ценностей, характеризуется новый вид деятельности по проектированию предметного ми-

ра — художественное конструирование, или дизайн. Автор раскрывает положение о том, что гармоническое развитие человека в развитом социалистическом обществе находится в определенной зависимости от гармонического развития предметной среды.

Новикова Л. И., кандидат философских наук.

Научно-техническая революция и искусство.

В брошюре дается философское обоснование взаимоотношения НТР и искусства и в связи с этим — критика буржуазных концепций техницизма. Центральное место в брошюре занимает содержательный анализ воздействия НТР на искусство в условиях развитого социализма.

Овсянников М. Ф., доктор философских наук.

Что изучает марксистско-ленинская эстетика.

В брошюре рассматриваются предмет, метод и задачи эстетики на современном этапе ее развития. Автор раскрывает классовый, партийный характер марксистско-ленинской эстетики, определяет ее задачи в коммунистическом воспитании трудящихся, в борьбе против буржуазной идеологии. Центральное место занимает характеристика метода социалистического реализма.

Подписная цена на год — 1 руб. 32 коп.

Индекс серии в каталоге «Союзпечати» — 70108.