

Адаптивный и перенастраиваемый инструмент

В.М.ПЕСТУНОВ, проф.; А.В.ЛЫСЕНКО.

Кировоградский государственный технический университет

Адаптивными принято называть системы автоматического регулирования, которые независимо от внешних воздействий за конечное время достигают поставленной цели – повышения точности путем стабилизации усилий резания и упругой деформации технологической системы станка, включающей в себя приспособление, инструмент и заготовку. Известные системы адаптивного управления базируются на традиционной структуре привода станков. Повышая точность и производительность, эти системы не могут устранить недостатков, заложенных в структуре привода; осуществляя стабилизацию нагрузки привода, они не могут снизить нагрузку до оптимальной при заданных условиях обработки.

Новые возможности в создании адаптивных систем открывает структура привода на основе систем управления его мощностью и нагрузкой.

Структурная схема привода с адаптивным управлением (рис.1) охватывает практически все возможные системы адаптивного управления: с динамическим и со статическим регулированием; замкнутые и разомкнутые.

В процессе работы движение от электродвигателя M через звено настройки i передается в механизм распределения мощности (нагрузки) МП, который имеет на выходе количество степеней свободы, равное количеству элементарных составляющих скорости движения формообразования. Теоретически количество таких составляющих может достигать двенадцати. Выходные звенья механизма распределения могут соединяться не только с исполнительными органами привода составляющих скорости движения формообразования. В распределении подводимой мощности могут принимать участие механизмы, обеспечивающие процесс обработки и эксплуатацию привода станка. Это увеличивает возмож-

ное количество кинематических связей механизма распределения нагрузки с исполнительными органами станка $1, 2, \dots, n$.

В процессе обработки исполнительные органы находятся под силовым воздействием кинематических связей механизма МП в поступательном движении ($P_{x_1}, P_{x_2}, \dots, P_{x_n}$), во вращательном ($M_{x_1}, M_{x_2}, \dots, M_{x_n}$) и управляющем воздействии ($Y_1, Y_2, \dots, Y_n$). В свою очередь, управляющее воздействие на механизм МП может изменять подводимую мощность к исполнительным органам, что открывает широкие возможности в создании систем адаптивного управления. Управляющее воздействие на исполнительные органы может осуществляться с помощью механических, гидравлических и других механизмов, что расширяет технологические возможности привода.

Структурная схема привода станков с адаптивным управлением в системе ЧПУ (рис.2) является более частным воплощением рассмотренной структурной схемы.

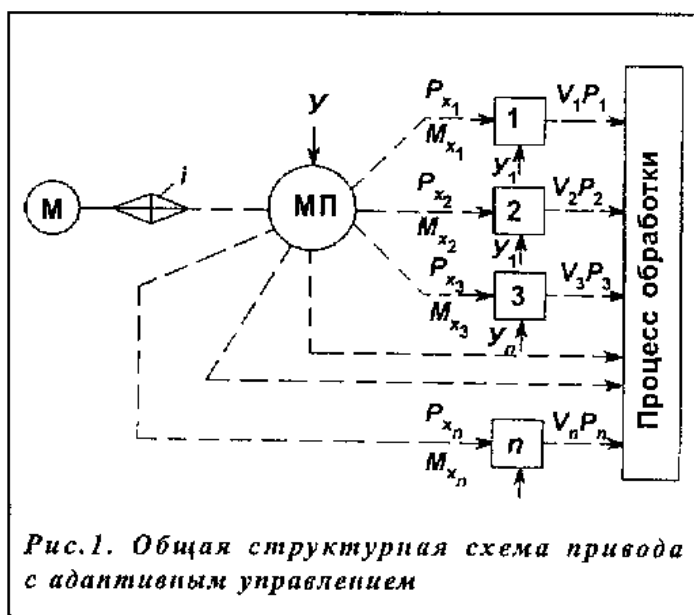


Рис.1. Общая структурная схема привода с адаптивным управлением

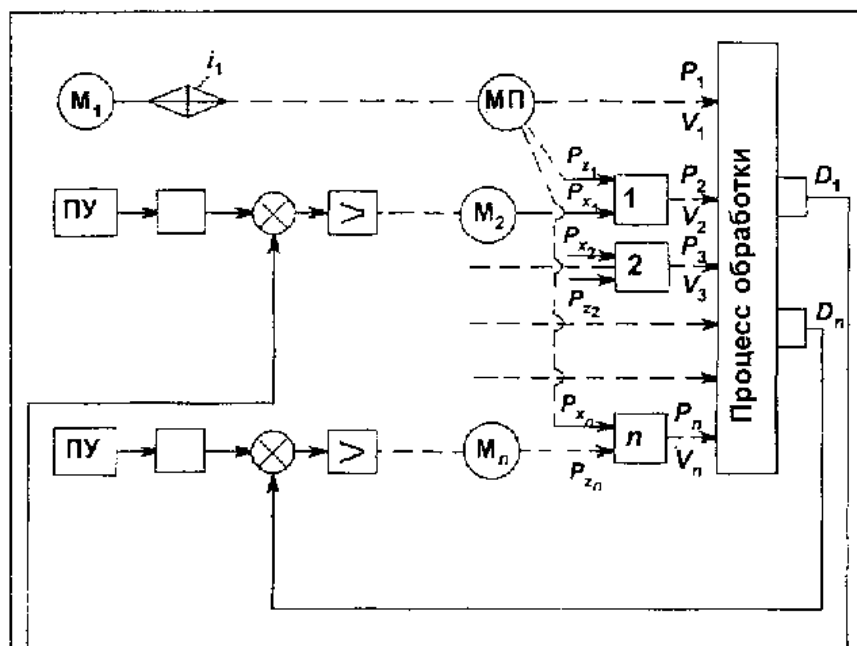


Рис.2. Структурная схема привода станков с адаптивным управлением в системе ЧПУ

Исполнительные органы $1, 2, \dots, n$ привода находятся под силовым воздействием $P_{x1}, P_{x2}, \dots, P_{xn}$ механизма распределения нагрузки и мощности МП и управляющим воздействием $P_{z1}, P_{z2}, \dots, P_{zn}$ со стороны системы ЧПУ, представленного на схеме программируемым устройством ПУ. Датчики упругой деформации (точности) $D_1, D_2, \dots, D_n$ включены в автоматическую систему управления точностью по координатным перемещениям исполнительных органов станка.

В процессе обработки датчик измеряет упругую деформацию по направлению одного из координатных перемещений исполнительного органа станка. Эти сигналы суммируются с программными перемещениями по соответствующей координате. Таким образом обеспечивается автоматическое (адаптивное) управление по соответствующей координате в функции деформации или нагрузки.

Известно, что адаптивные системы станков принято разделять на системы статического и динамического регулирования. Те и другие могут быть замкнутыми и разомкнутыми. Замкнутые системы более сложны по конструкции и обеспечивают сравнительно более высокую точ-

ность. Разомкнутые менее точны, однако более просты и компактны. Именно эти свойства позволяют проектировать их по модульному принципу, локализуя разомкнутые системы статического регулирования в самом режущем инструменте или инструментальном модуле станка. Это расширяет область возможного использования, так как дает возможность при смене технологической операции и инструментального модуля менять и систему адаптивного управления, что весьма важно в многооперационных станках с ЧПУ, в гибких автоматических производствах и т.д. Проблема состоит в том, чтобы в габариты режущего инструмента или инструментального станочного модуля встроить разомкнутую систему статического регулирования. В простейшем случае – придать режущему инструменту

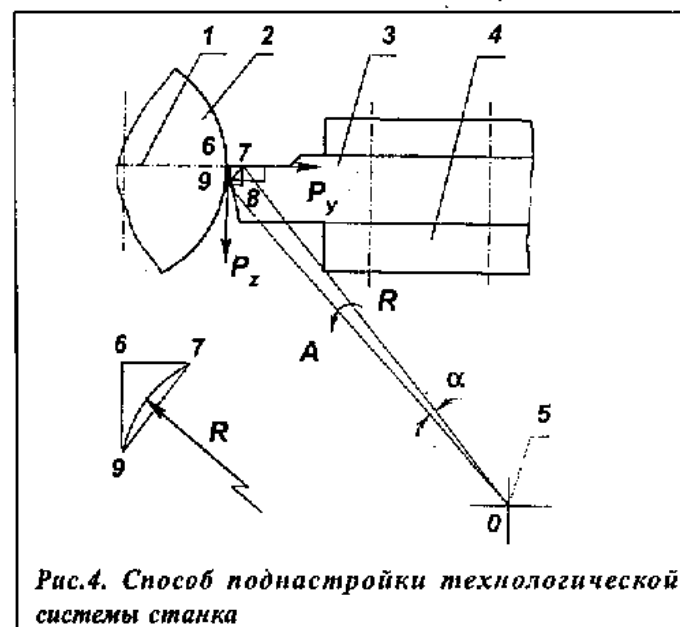
адаптивные свойства, состоящие в том, чтобы под действием силы резания или ее вертикальной составляющей (P_z) режущая кромка смещалась в пространстве в направлении образования размера на величину упругой деформации технологической системы станка под воздействием составляющей P_y силы резания.

На основании изложенных предпосылок разработан алгоритм проектирования модульных адаптивных систем, адаптивного и перенапрягаемого инструмента (рис.3). На его основе разработаны следующие конструкции режущих инструментов.

На рис.4 показан способ поднастройки технологической системы станка на примере токарной обработки резцом. Деталь 2, как обычно, устанавливают в патроне токарного станка, и ей, в соответствии с заданной скоростью резания, сообщается определенная частота вращения вокруг оси 1. Резец 3 закрепляют в резцедержателе 4, расположенном в устройстве (на схеме не показано), с помощью которого резец может проворачиваться вокруг оси 0, проходящей через точку 5, по направлению стрелки А. В процессе обработки резцу, как обычно, сооб-



Рис.3. Алгоритм проектирования модульных адаптивных систем



щается движение подачи в продольном направлении с заданной скоростью. В технологической системе станка возникает сила резания, составляющие P_z и P_y которой деформируют систему. В результате действия силы P_y вершина резца перемещается из точки 6 в точку 7, а сила P_z будет перемещать вершину резца в направлении точки 8. Устройство, в котором установлен резцедержатель 4, будет поворачивать резец по радиусу R в направлении стрелки A на угол α . Дуга поворота вершины резца, пересекая гипотенузу 7-9 треугольника 6-7-9 дважды, фактически сливается с ней и не превышает ее по длине.

Таким образом, в результате упругой деформации технологической системы станка, действия составляющих P_z и P_y и поворота резца вокруг оси 5 вершина его переместится в окрестность точки 9, что мало повлияет на радиальный размер обрабатываемой детали, однако приведет к повышению точности обработки.

Токарный резец, представленный на рис.5, содержит корпус 5, подвижный цилиндрический стержень 7 с жестко закрепленной режущей пластиной 4, пружину 2, винты 1 и 6. Направляющая стержня наклонена к вертикали в сторону обрабатываемой детали 8. Стержень опирается на регулирующую пружину 2, сжатие которой осуществляется винтом 1. Вертикальное перемещение винта ограничено упором 3. Для устранения возможности проворачивания стержня 7 в нем выполнен вертикальный паз, в который входит винт 6.

В процессе обработки составляющие силы резания в поперечном сечении нагружают пластину в вертикальном направлении (в направлении действия составляющей силы P_z) и в горизон-

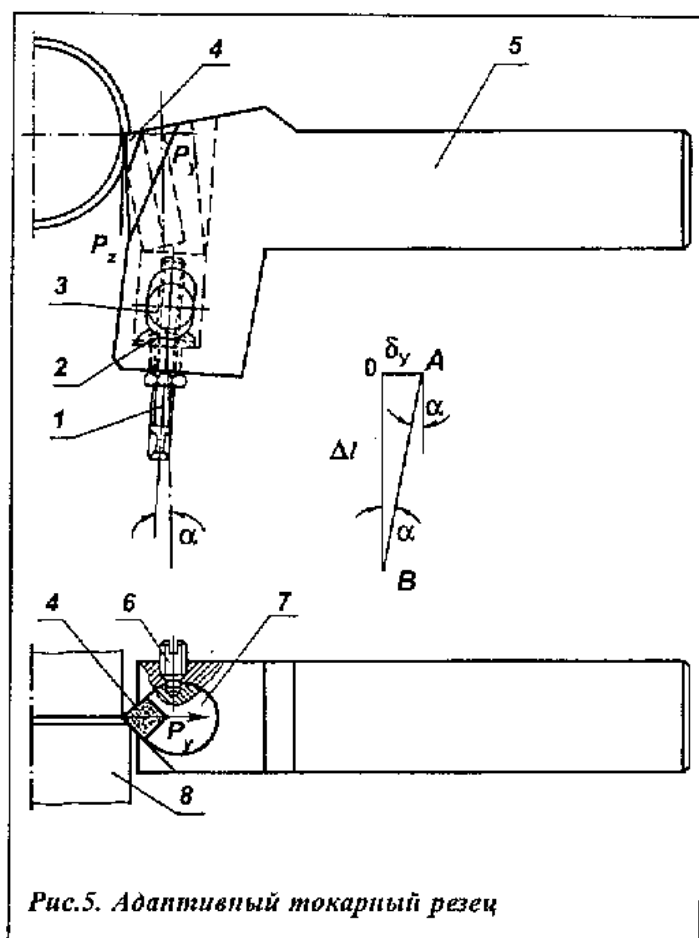


Рис.5. Адаптивный токарный резец

тальном направлении (в направлении действия составляющей силы P_y) к поверхности образования размера обработки. В результате действия составляющей P_y технологическая система станка деформируется на величину Δ_y . Эта величина определяется жесткостью a_y и силой P_y , которая, в свою очередь, является функцией исходных параметров обработки (твердости обрабатываемой детали, величины припуска и т.д.). Изменение приведенных параметров в широких пределах вызывает изменение величины отжатия упругой системы станка в направлении образования размера обрабатываемой детали. Наклон направляющих стержня 7 в сторону обрабатываемой поверхности детали и упругая его установка позволяют в процессе обработки компенсировать частично или полностью упругую деформацию технологической системы станка под действием силы P_y . Сила P_z в процессе резания перемещает вершину резца на величину OB (Δl). Наклон направляющих стержня 7 вызывает пере-

мещение вершины резца в направлении детали на величину OA (δ_y).

Упругая деформация технологической системы станка под действием силы P_y полностью компенсируется при условии

$$\Delta_y = \delta_y. \quad (1)$$

Однако повышение точности обработки достигается и в том случае, если компенсация упругой деформации будет неполной, т.е.

$$\Delta_y < \delta_y. \quad (2)$$

Из треугольника AOB следует, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \delta_y / \Delta l. \quad (3)$$

Исходя из условия (1), можно записать

$$\operatorname{tg} \alpha = \Delta_y / \Delta l. \quad (4)$$

Исследованиями Б.М.Базрова установлено, что деформация технологической системы станка Δ_y под действием составляющей силы резания ($P_y = 500 \dots 2000 \text{ Н}$) при условии обработки заготовки в центрах на станке 1А62 составляет $0,07 \dots 0,2 \text{ мм}$.

Жесткость технологической системы станка в направлении действия составляющей силы резания P_z при использовании рассматриваемого резца будет определяться, главным образом, жесткостью упругого элемента резца – регулируемой тарельчатой пружины 2. Ее упругие перемещения Δl под действием составляющей силы резания $P_z = 1000 \dots 5000 \text{ Н}$ будут равны $0,62 \dots 1,04 \text{ мм}$. На основании уравнения (4) можно записать

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \Delta_y / \Delta l = (0,07 \dots 0,2) / (0,62 \dots 1,04); \\ \operatorname{tg} \alpha &= 0,0673 \dots 0,323. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким образом, принятое соотношение (5) определяет весь диапазон возможного повышения точности обработки.

Пружины 2 предварительно регулируются винтом 1 таким образом, что не деформируются минимально возможной для данной настройки силой P_z . При увеличении силы P_z пружина 2 начинает дополнительно сжиматься, что позволяет стержню 7 с пластиной 4 смещаться в вертикальном направлении на величину Δl . Увеличение силы резания вызывает одновременное увеличение составляющей силы P_y и деформацию технологической системы станка в направлении образования размера детали 8. Перемещаясь одновременно по наклонным направляющим,

стержень с режущей пластиной смещается в сторону детали на величину дополнительной деформации системы силой P_y . Технологическая система станка становится не чувствительной к пропорциональному увеличению составляющих силы резания. При снятии дополнительной нагрузки пружина 2 возвращает стержень 7 с режущей пластиной в исходное положение.

Таким образом, применение рассматриваемого резца эффективно только при $\Delta_y < \delta_y$. Резец позволяет повысить точность обработки и создает условия для повышения производительности станков.

Более простая конструкция **токарного резца** показана на рис. 6.

В корпусе 9 выполнен открытый поперечный паз 7, заполненный эластичным наполнителем 6 (резиной). Регулировочный винт 4 расположен в продольном отверстии, выполненном в теле резца, опирается на тарельчатую пружину 5, соединяет головку резца 2 с корпусом 9, разделенные пазом 7, и обеспечивает силу предварительного натяжения пружины. Резец содержит жесткий упор 3.

При обработке детали 8 возникают силы резания P_z и P_y , деформирующие технологическую систему станка. Величина этой деформации зависит от упругой податливости технологической системы станка и значения сил резания. В свою очередь, силы резания зависят от исходных пара-

метров обработки, твердости обрабатываемой детали, величины припуска. Изменение этих параметров приводит к изменению величины отжатия в радиальном направлении технологической системы станка, что снижает точность обработки. В процессе обработки составляющая P_z силы резания отжимает головку, содержащую режущую кромку. В результате вершина резца перемещается из точки 1' в точку 2'. Одновременно с этим составляющая P_y силы резания деформирует технологическую систему станка в радиальном направлении и перемещает вершину резца из точки 2' в точку 3'. Наличие открытого поперечного паза 7 позволяет в процессе обработки компенсировать упругую деформацию технологической системы станка под действием радиальной составляющей силы резания P_y .

Рассматривая условие равновесия вершины резца, можно записать

$$P_z \cdot a = P_y \cdot b, \quad (6)$$

где: P_z и P_y — соответственно радиальная и тангенциальная составляющие силы резания; a и b — расстояния от вершины резца соответственно до вертикальной оси цилиндрической проточки паза и до дна паза.

Из соотношения (6) получаем

$$a = P_y b / P_z. \quad (7)$$

Исследованиями В.А.Тимирязева установлено, что отношение составляющих силы резания P_y/P_z зависит от условий обработки. Так, при изменении глубины резания t от 0 до 1 мм радиальная составляющая P_y резко возрастает, превышая по абсолютной величине составляющие P_x и P_z . При $t = 0,25$ мм и $s = 0,6$ мм/об соотношение $P_y/P_z = 1,13$, а при $t = 0,75$ мм оно составляет 0,75. Однако при дальнейшем увеличении припуска интенсивность роста составляющей P_y значительно уменьшается. При $t = 4,75$ мм и $s = 0,4$ мм/об соотношение $P_y/P_z = 0,28$. Следовательно, можно принять, что значения отношения P_y/P_z будут находиться в следующем диапазоне

$$P_y/P_z = 0,28 \dots 1,13; \quad (8)$$

на основании уравнения (7) можно записать

$$a = (0,28 \dots 1,13)b. \quad (9)$$

Таким образом, это соотношение охватывает весь диапазон возможного повышения точности обработки.

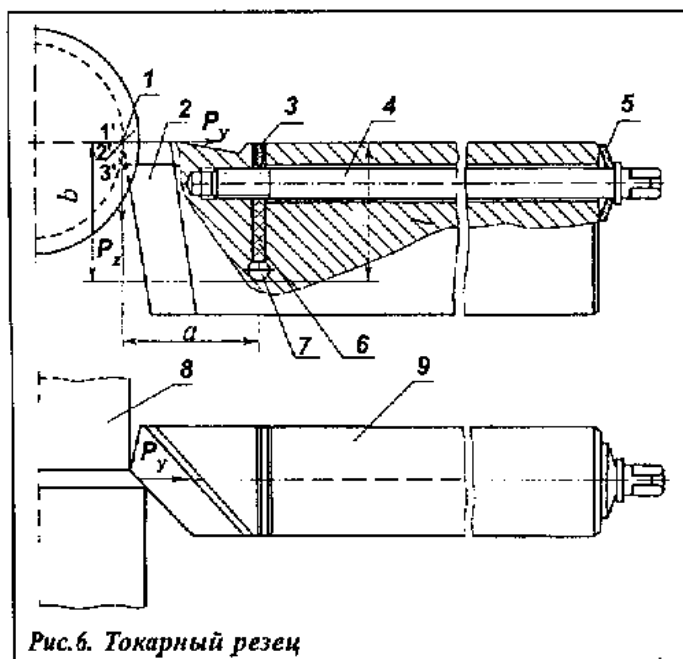


Рис. 6. Токарный резец

Глубина поперечного паза l должна составлять $(0,6 \dots 0,8)h$, (10)

где h — высота корпуса резца.

Расположение поперечного паза, принимаемое исходя из условия равновесия вершины резца, характеризуется соотношением (9).

Жесткость резца предварительно регулируется винтом 4 таким образом, что резец не деформируется минимально возможной для данной настройки силой P_z . Инструмент работает, как обычный с жестким креплением режущей пластины.

При увеличении силы P_z резец упруго деформируется, т.е. его головка начинает дополнительно отжиматься в сторону обрабатываемой детали. В результате вершина резца перемещается из точки 1' в точку 2', а значит, смещается в радиальном направлении в тело обрабатываемой детали. При отжатии головки регулировочный винт 4 перемещается в направлении смещения головки резца и деформирует своим упором тарельчатую пружину 5, придавая ей дополнительное усилие сжатия.

Увеличение силы резания вызывает одновременное увеличение ее составляющей P_y и деформацию технологической системы станка в радиальном направлении. На величину этой деформации (из точки 2' в точку 3') смещается вершина резца при отжатии головки 2. Технологическая система станка, содержащая резец предлагаемой конструкции, устраняет последствия пропорционального увеличения составляющих сил резания. При уменьшении нагрузки пружина вернет головку резца в исходное положение. Наличие эластичного наполнителя 6 в открытом поперечном пазу 7 предотвращает возникновение вибраций в технологической системе станка.

Таким образом, резец позволяет повысить точность обработки и создает условия для повышения производительности станков.

Примером адаптивного инструмента является **торцовая фреза**, представленная на рис.7. В пазах ее корпуса 6 установлены режущие зубья 5, 7... 17, поджимаемые к опорным поверхностям пазов крепежными элементами 4. Режущие зубья разделены на группы, каждая из которых имеет свой осевой вылет, регулируемый с помощью клиновых элементов 3 и винтов 1. Причем

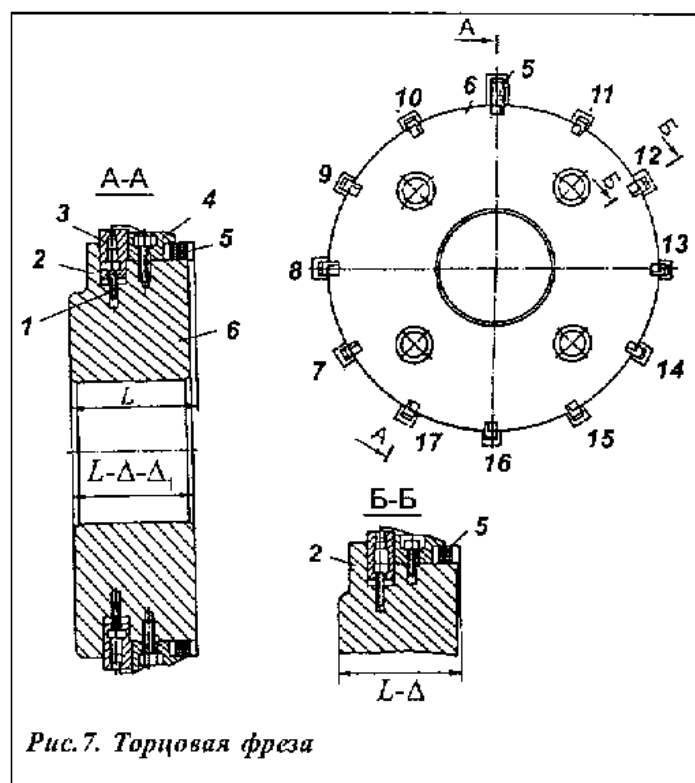


Рис.7. Торцовая фреза

число зубьев в каждой группе принято из соотношения

$$n_1 > n_2 > \dots > n_n, \quad (11)$$

где: n_1 — число зубьев групп с минимальным вылетом; n_2 — число зубьев в последующей группе; n_n — число зубьев в группе с максимальным вылетом. Осевой опорой резцовых узлов служат лепестки 2 корпуса, которые в силу своей разной толщины имеют различную жесткость. Первую группу составляют зубья 11, 13, 15, 17, 8, 10. Эта группа имеет минимальный размер осевой установки ($L-\Delta-\Delta_1$) и максимальную жесткость соответствующих лепестков корпуса. Вторую группу составляют зубья 12, 14, 7, 9; она имеет промежуточный размер осевой установки ($L-\Delta$) и промежуточную жесткость соответствующих лепестков корпуса фрезы. Третью группу составляют зубья 5 и 16 с максимальным вылетом и минимальной жесткостью лепестков корпуса фрезы.

При первом проходе обработки, когда снимается максимальный припуск, участвуют все зубья фрезы, поскольку зубья первой и второй групп отжаты. При втором проходе усилия резания уменьшаются — отжимаются только зубья третьей группы, зубья первой группы в работе

не участвуют. При третьем проходе обработку осуществляют зубья третьей группы.

На рис.8 представлена *схема поднастройки* технологической системы станка. Обрабатываемую деталь 1 устанавливают в центрах станка и сообщают ей вращение в соответствии с заданной скоростью резания. Резец 2 расположен в резцедержателе 3, установленном на каретке 4, которая размещена на суппорте 5.

В процессе обработки детали 1 составляющая P_z силы резания вызывает упругие перемещения системы в направлении ее действия на величину ΔU_2 . Одновременно эта составляющая силы резания поворачивает каретку 4 вокруг точки 0 против часовой стрелки. В результате вершина резца перемещается в направлении заготовки на величину ΔU_1 . Кроме того, составляющая P_y силы резания, деформируя систему, перемещает вершину резца от заготовки на величину ΔU_2 .

Параметры системы приняты таким образом, чтобы

$$\Delta U_2 \geq -\Delta U_1, \quad (12)$$

где: ΔU_2 – упругие перемещения элементов технологической системы станка в направлении образования размера обработки, вызванные состав-

ляющей силы резания, совпадающей с направлением образования размера обработки, и направленные на увеличение размера обрабатываемой детали; ΔU_1 – упругие перемещения элементов технологической системы станка в направлении образования размера обработки, вызванные составляющей силы резания, не совпадающей с направлением размера обработки.

Следовательно, составляющая P_z способствует повышению точности; она не совпадает с направлением образования размера (ось 0,У) и компенсирует обратное перемещение (ΔU_2), вызванное составляющей P_y , совпадающей с направлением образования размера. В результате частично или полностью компенсируется упругая деформация технологической системы станка и повышается точность обработки детали.

Самовращающийся резец 1 (рис.9), обрабатывающий деталь 4, смонтирован на оси 2, которая размещена на радиальных подшипниках 5 и 7 и установлена на державке 6. На задней поверхности резца выполнены наклонные канавки 3. При обработке материал заготовки, попадающий в наклонные канавки 3, приводит во вращение резец. При этом скорость враще-

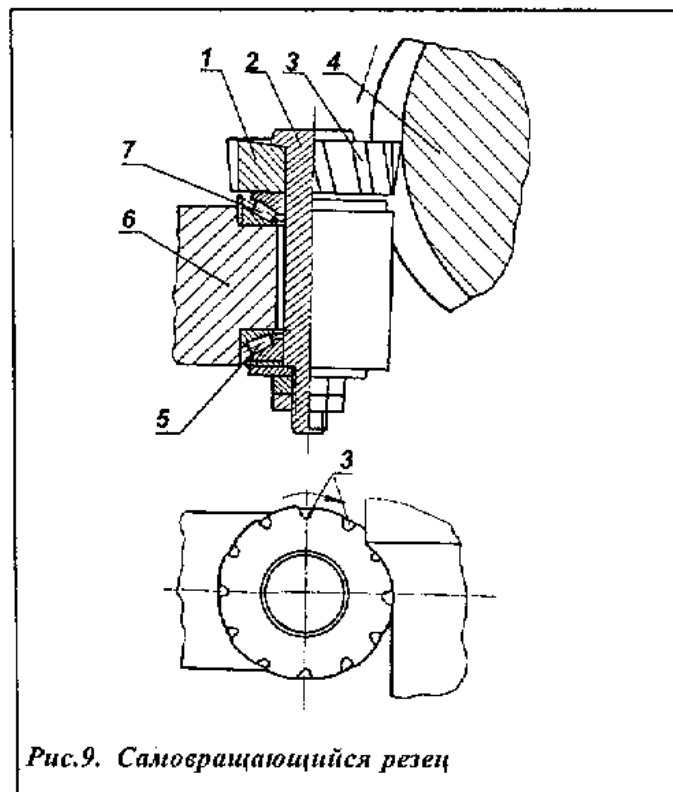
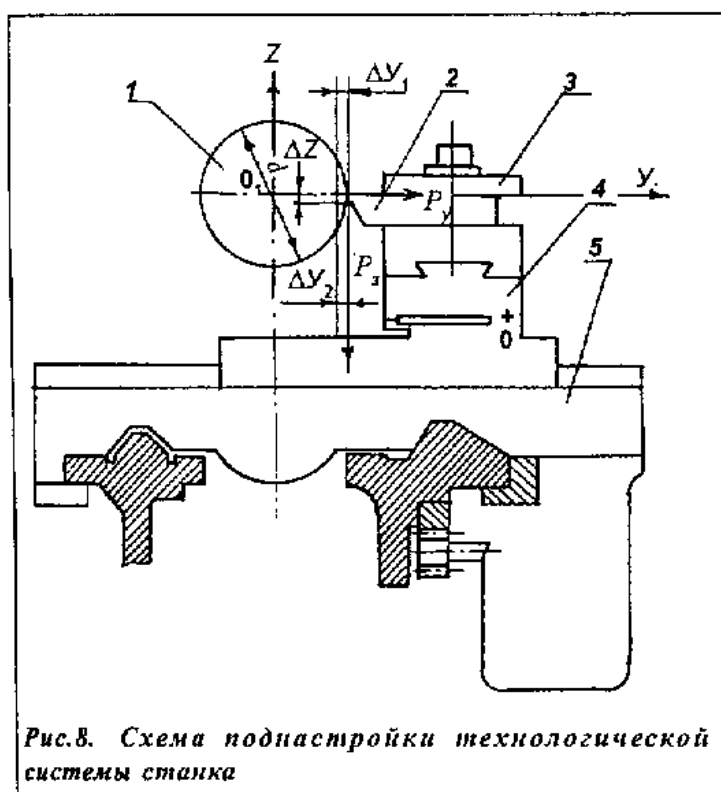


Рис.9. Самовращающийся резец

ния инструмента и скорость резания связаны между собой зависимостью

$$n_p = v_{рез} \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot 1000 / \pi d, \quad (13)$$

где: n_p — скорость вращения резца, мин⁻¹; $v_{рез}$ — скорость резания, м/мин; α — суммарный угол наклона канавок в зоне резания; d — диаметр резца, мм. Нужная скорость вращения обеспечивается наклоном его оси в плоскости, параллельной оси заготовки, на угол, определяемый из равенства

$$\beta = \arctg(\pi d \cdot n_p / v_{рез} \cdot 1000) - \alpha_1, \quad (14)$$

где α_1 — угол наклона канавок к оси резца. Суммарный угол наклона канавок в зоне резания складывается из алгебраической суммы угла β наклона оси резца и угла α_1 , т.е.

$$\alpha = \beta + \alpha_1. \quad (15)$$

Расстояние t между смежными канавками $З$ выбирают таким, чтобы при заданных подаче и глубине резания в зоне резания находилась хотя бы одна канавка. Остаточные на обрабатываемой поверхности утолщения от канавок дорезаются на следующем обороте заготовки. Для этого необходимо, чтобы след предыдущей канавки не совпадал со следом последующей. Это возможно при условии

$$a \approx \arctg[(k(n+0,5)) / \pi D], \quad n > 0, \quad (16)$$

где: D — диаметр обрабатываемой поверхности, мм; t — расстояние между смежными канавками, мм; n — любое натуральное число. Поскольку глубина канавок больше толщины образующейся стружки, то они дробят стружку на отдельные отрезки небольшой длины, удобные для транспортировки. Таким образом, данный самовращающийся резец в процессе резания измельчает образующуюся стружку, что повышает производительность при обработке заготовок из вязких материалов.

На рис.10 представлена схема **адаптивного управления** на примере врезного шлифования. Деталь 1 устанавливают в центрах шлифовального станка и сообщают ей движение круговой подачи. Шлифовальную бабку 2, установленную на направляющих станины 5 (например с помощью гидравлического привода), с заданной скоростью радиального врезания подводят к жесткому упору 7, который фиксирует ее в крайнем положении. Когда сила резания уменьшается,

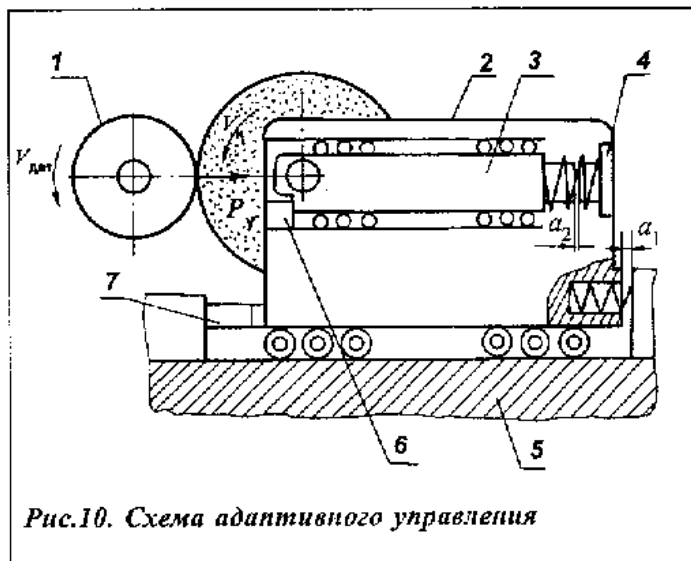


Рис.10. Схема адаптивного управления

упругая система установки каретки 3 на шлифовальной бабке под действием составляющей P_y силы резания переводит каретку в переднее положение, определяемое жестким упором 6. В результате каретка перемещается в горизонтальном направлении на величину a_2 . Шлифовальный круг врезается в заготовку на глубину чистового прохода, которая меньше глубины чернового прохода. После выдержки каретки на упоре 6 процесс обработки заканчивается, и шлифовальная бабка 2 отводится в исходное положение. Глубина чернового и чистового проходов устанавливается упорами 4 и 7. Жесткость каретки в радиальном направлении изменяют ступенчато с таким расчетом, чтобы силы упругости установки каретки на шлифовальной бабке превышали составляющую P_y силы резания чистового прохода и не превышали P_y при черновом проходе. Это упрощает управление процессом шлифования.

В корпусе 7 **резцедержателя**, показанного на рис.11, на поперечных направляющих 6 качения установлена державка 5. В ней на поперечных направляющих 4 качения размещен резец 3, в выточке которого расположен упор 14, втулка 15, винт 16, пружина 17. От осевого смещения в направлении обрабатываемой детали 1 державка и резец 3 удерживаются упором 2, к которому они прижимаются пружинами 9 и 17. Пружина 17 регулируется винтом 11 и гайкой 10. На винте 12 выполнен упор 13, осевое положение

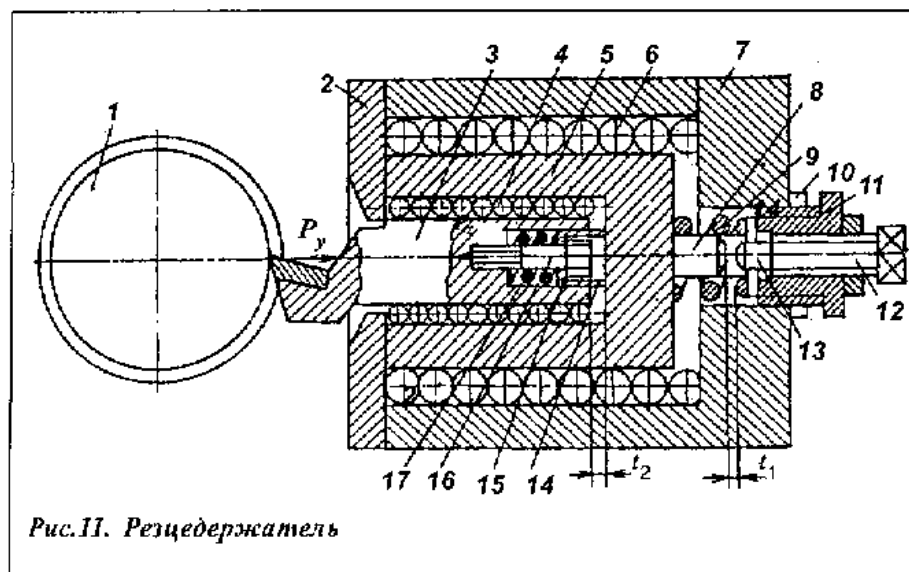


Рис.11. Резцедержатель

которого определяет возможность осевого перемещения державки 5 и ее упора 8.

В исходном положении резец 3 и державка поджаты пружинами 9 и 17 к упору 2. При первом черновом переходе, когда радиальная составляющая P_y силы резания превышает усилие пружин 9 и 17, резец 3 с державкой 5, сжимая пружины, смещаются в крайнее положение. Упоры 8 и 13, встречаясь, образуют жесткую опору державке 5 в поперечном направлении. Одновременно сжимается пружина, и резец 3 жестко опирается на державку.

После первого чернового прохода пружина 9 смещает державку 5 в направлении детали на предварительно установленную величину t_1 , определяющую глубину обработки второго прохода. Сила пружины P_1 превышает радиальную составляющую силы резания P_{y2} , которая, в свою очередь, больше силы предварительного сжатия пружины 17. Поэтому при втором проходе державка 5 прижата к упору 2, а резец 3, прижатый к державке 5, снимает слой металла на глубину t_1 .

После окончания второго прохода пружина 17 смещает резец на величину t_2 до упора 2. Усилие пружины 17 превышает радиальную составляющую силы резания P_{y1} , и резец 3 обрабатывает деталь на глубину t_1 .

На рис.12 представлена конструктивная схема адаптивного устройства повышения точности путем компенсации упругой деформации механизма. При обработке детали 5 составля-

ющие P_z и P_y силы резания воздействуют на резец 7 в указанном направлении. Резцедержатель 8 удерживается от осевого смещения в направлении действия составляющей P_y плунжером 11, к которому он поджимается пружиной 6, упирающейся в крышку 4. В направлении действия составляющей P_z создается давление в системе сообщающихся цилиндров, заполненных гидропластом 12. В результате плунжер нажимает на резцедержатель с силой P , направленной навстречу составляющей P_y . Равенство и неизменное со-

отношение P_z и P_y делают систему не чувствительной к воздействию составляющей P_y , определяющей размер обработки.

Равенства силы P и составляющей P_y добиваются подбором диаметров плунжеров так, чтобы соотношение площадей их сечений было равно соотношению сил P_z и P_y . Для настройки системы при изменении геометрии инструмента, параметров обрабатываемой детали и т.п. (в случаях, когда изменяется соотношение составляющих P_z и P_y) установлены переходные втулки 3 и 10 с винтами 2 и 9. Последние могут

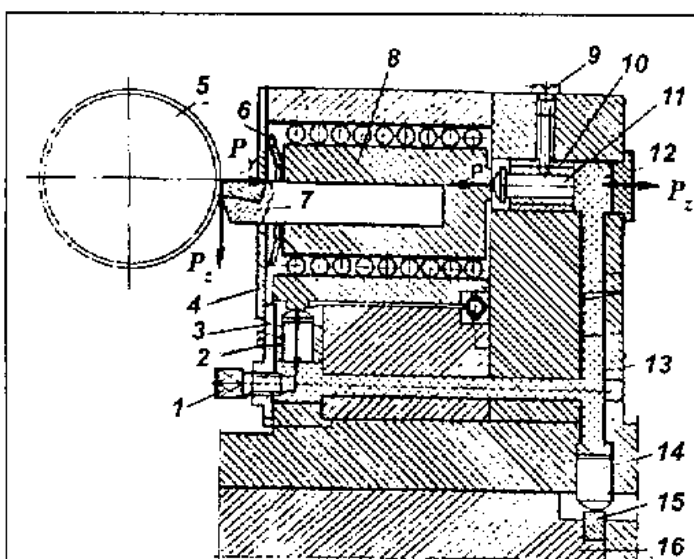


Рис.12. Конструктивная схема адаптивного устройства повышения точности

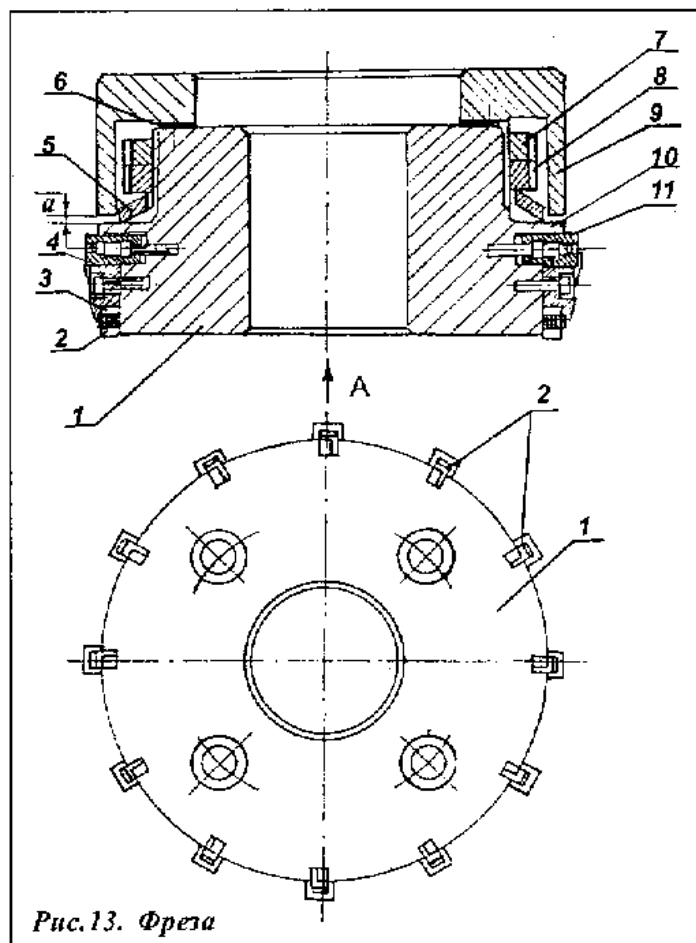


Рис.13. Фреза

закрепляться на корпусе или упираться в буртик плунжеров при изменившихся условиях обработки.

Для создания предварительного давления в системе и ее регулирования в функции меняющихся параметров (износ резца и т.п.) служит винт 1. Ответвление 13 гидросистемы заканчивается плунжером 14, опирающимся на сменный кулачок 15, который неподвижно закреплен на станине 16.

При перемещении суппорта по направляющим станины плунжер скользит по неподвижному кулачку, профиль которого выполнен таким, чтобы в процессе обработки смещать плунжер пропорционально изменению упругого отжатия детали или жесткости технологической системы станка по длине обработки. Такое смещение плунжера вызывает смещение резца в направлении действия силы P_y и тем самым исключает влияние переменной жесткости технологической системы станка на точность обработки.

Аналогично кулачок профилируется для исключения влияния износа направляющих на точность обработки. Эта компенсация может осуществляться одновременно по нескольким параметрам.

В корпусе 1 фрезы, представленной на рис. 13, с помощью зажимов 3 равномерно по окружности расположены зубья 2, выполненные в виде многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин. Зажимы опираются на регулируемые клинья 4, установленные на упругой опоре 10, которую поджимает пружина 5, опирающаяся на гайки 7 и 8. Жесткий упор через сменное кольцо 6 закреплен на корпусе фрезы.

Все зубья фрезы устанавливают на один осевой размер с помощью микрорегулировочных клиньев 4. Винты 11 имеют две нарезки – на стержне и головке – с разным шагом, что позволяет точно регулировать клин 4 и осевой размер установки зубьев 2.

В процессе первого чернового прохода, когда сумма осевых составляющих сил резания всех зубьев превышает силы упругости опоры 10 и пружины 5, опора 10 деформируется и соединяется с жестким упором 9. При втором проходе, когда сумма осевых составляющих сил резания не превышает упругости дисковой опоры 10 и пружины 5, между упором 9 и опорой 10 образуется осевой зазор, равный устанавливаемому с помощью сменных колец 6 размеру a . Этот размер соответствует глубине второго (силового) прохода. Сила упругого сопротивления осевого перемещения зубьев 2 регулируется пружиной 5, поджимаемой гайками 7 и 8.

Таким образом, фреза позволяет осуществить автоматическое врезание в заготовку при втором проходе, что повышает производительность при двухпроходной обработке, так как отпадает необходимость установки фрезы по высоте. С другой стороны, фреза позволяет изменить глубину фрезерования чистового прохода, что расширяет ее технологические возможности.

На рис. 14 представлена фреза, в радиальных пазах 8 которой установлена державка 6 с многогранными режущими пластинами 7, закрепляемыми кольцом 10 и подпружиненным винтом 2.

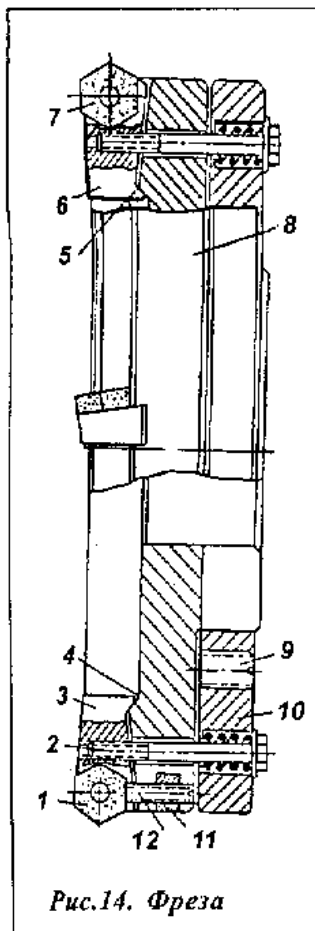


Рис.14. Фреза

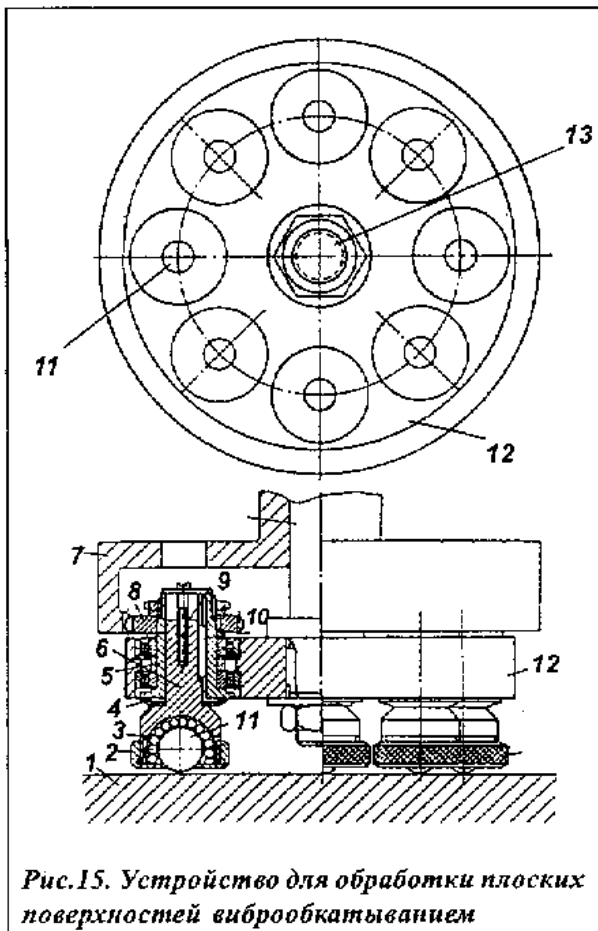


Рис.15. Устройство для обработки плоских поверхностей виброобкатыванием

На корпусе выполнена круговая коническая поверхность 4, по которой уступами 5 скользят державки, обеспечивая притяжение пластин к базирующим поверхностям корпуса. В одном из пазов помещена державка 3 с зачистной пластинкой 1, регулируемой в осевом направлении винтом 12 и гайкой 11. Для одновременного закрепления многогранных пластинок в кольце служат три винта 9, перемещающие его в осевом направлении.

Устройство, показанное на рис.15, предназначено для обработки плоских поверхностей виброобкатыванием. В корпусе 12, расположенном на оправке 13 в шпинделе, например вертикально-фрезерного станка, на подшипниках установлены втулки 5, в эксцентрических отверстиях которых помещены державки 6. В них выполнены сферические выемки, заполненные шариками малого диаметра, на которые опираются деформирующие шарики 11, удерживаемые от выпадения крышками 2, и которые одновременно с тор-

цовой расточкой в державке образуют круговую полость для циркуляции шариков 3.

На втулках 5 закреплены шестерни 8, находящиеся в зацеплении с внутренним зубчатым венцом шестерни 7, закрепленной неподвижно на корпусе станка. Шарик 11 расположен в державках 6 с эксцентриситетом относительно их осей вращения, равным эксцентриситету втулки 5. Это позволяет путем относительного поворота державки и втулки изменять эксцентриситет установки деформирующих шариков 11 относительно оси вращения втулки 5 в подшипниках. Державки подпружинены в осевом направлении пружинами 4, регулируемые винтами 9.

При вращении корпуса шестерни 8 перекачиваются по неподвижному зубчатому венцу шестерни 7. В результате деформирующие шарики 11 совершают

сложное планетарное движение в плоскости обработки и образуют сложный микрорельеф на обрабатываемой детали 1. Усилие деформации определяется величиной предварительного затягивания пружин 4.

Рисунок микрорельефа обрабатываемой поверхности изменяется с изменением эксцентриситета установки шарика 11. Для этого в отверстиях втулки 5 выполнено несколько шпоночных пазов для шпонок 10.

Устройство для упрочнения плоских поверхностей шариками (рис.16) состоит из кольца 1, щеток 2, колец 3, корпуса 4, катушки 5, кольцевого канала 6 возврата шариков 7, крышки 9, закрывающей центральную полость.

В корпусе 4, выполненном в виде магнитопровода электромагнита, находится кольцо 1, по всей плоскости которого расположены шарики 7. Корпусу сообщается вращательное и поступательное движения. В процессе обработки шарики обкатываются по обрабатываемой поверх-

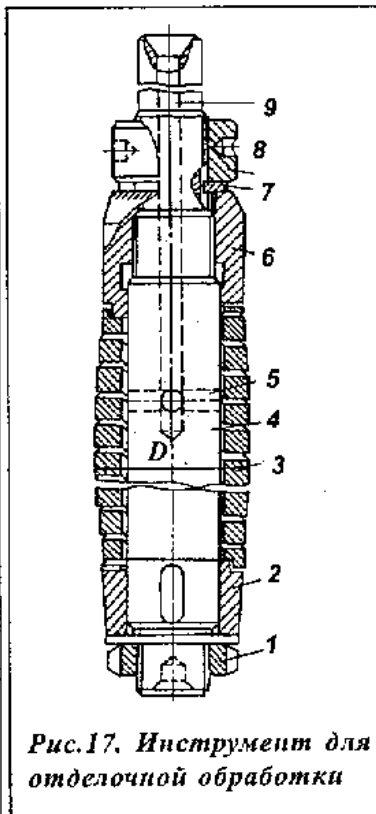
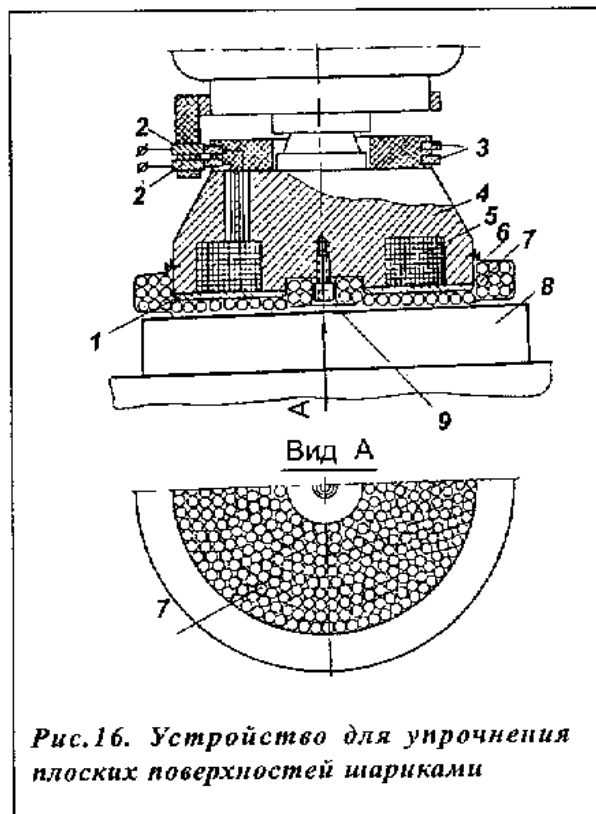


Рис.16. Устройство для упрочнения плоских поверхностей шариками

Рис.17. Инструмент для отделочной обработки

ности детали 8 и перемещаются из канала возврата в центральную полость, закрытую крышкой 9, и обратно. При обкатке прерывистых поверхностей и в конце обработки шарики удерживаются на торце электромагнита.

Инструмент для отделочной обработки цилиндрических поверхностей деталей показан на рис. 17. На корпус 4 надета винтовая цилиндрическая пружина 3 с прямоугольным сечением витка, которая является одновременно рубашкой и разжимным элементом. Один конец пружины зафиксирован от поворота втулкой 2, жестко связанной с корпусом, и самотормозящейся гайкой 1, навинченной на корпус. Другой конец пружины посредством несамотормозящейся гайки 6 соединен с корпусом и с элементами подачи. Корпус и гайка образуют несамотормозящуюся передачу. Направления витков пружины 3 и резьбы гайки 6 совпадают.

Элементы подачи снабжены устройством отсчета величины угловой деформации пружины, включающим в себя несамотормозящуюся передачу (корпус 4 — гайка 6), регулировочную

самотормозящуюся гайку 8, навинченную на корпус, и расположенную между ними шайбу 7, зафиксированную от вращения. Гайки 6 и 8 обеспечивают регулирование диаметра D инструмента при сборке и наладке, а функции устройства отсчета выполняют гайка 6, на наружной поверхности которой нанесена шкала, и шайба 7, несущая нулевую метку отсчета.

Корпус имеет внутреннее осевое 9 и радиальные отверстия 5 для подачи притирочных растворов во время обработки.

В процессе работы инструменту сообщают необходимые движения формооб-

разования. Через отверстие 9 в корпусе подают, по мере надобности, рабочий агент, который через отверстия 5 попадает в зазор между корпусом и пружиной 3, а затем — в зазоры между ним и обрабатываемой поверхностью.

По мере износа инструмента по диаметру D подналадку на нужный размер осуществляют следующим образом. Затягиванием гайки 8 обеспечивают осевое перемещение и поворот гайки 6, соединенной с пружиной 3, а также раскручивание последней, увеличивая тем самым диаметр D до нужного размера. Увеличение диаметра инструмента линейно связано с величиной упругого перемещения гайки 6, что фиксируется устройством отсчета.

Такая конструкция инструмента гарантирует постоянство диаметра по всей его длине, что повышает геометрическую точность обрабатываемых внутренних цилиндрических поверхностей.

Рассмотренные конструкции позволяют повысить точность обработки на традиционном оборудовании более простыми средствами, чем широко известными методами.