**Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.»**

УСТРОЙСТВА АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ

Методические указания
к выполнению практических занятий по дисциплине
"Автоматизация производственных процессов в
машиностроении" для студентов направления

(15.03.05) «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

очной и заочной форм обучения

Энгельс 2024

1. УСТРОЙСТВА АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ

1.1. Классификация устройств активного контроля размеров деталей и требования, предъявляемые к ним

К устройствам активного контроля относятся те устройства, которые выполняют всю совокупность операций, необходимую для выяснения действительных размеров деталей, и по результатам измерения управляют процессом обработки.

Устройства активного контроля по методу измерения разделяются на прямой и косвенный методы активного контроля.

Приборы активного контроля (ПАК), основанные на прямом методе измерения, непосредственно фиксируют размер контролируемой детали.

ПАК, основанные на косвенном методе измерения, служат для измерения или ограничения движения исполнительного органа (например суппорта) или режущего инструмента.

ПАК, основанные на прямом методе измерения, подразделяются:

1) на устройства для контроля размеров деталей до их обработки;
2) в процессе обработки;
3) после их обработки.

ПАК для контроля деталей до их обработки применяются:

- для защиты станка от попадания заготовок с параметрами, не соответствующими их допустимому значению;
- для задания режимов обработки в зависимости от размеров заготовки.

Вышеперечисленные приборы первого типа используются в качестве защитных и блокирующих устройств и применяются на полностью автоматических станках. Заготовки с завышенным и заниженным припусками, поступающие на измерительную позицию, удаляются с помощью сортировочного устройства или вызывают остановку станка.

Приборы второго типа учитывают размеры каждой заготовки, износ режущего инструмента и обеспечивают высокую точность и производительность обработки. Принцип такого метода контроля показан на рис. 1.

Если деталь 1 с большим припуском поступает на станок, то у верхнего измерительного сопла 2 образуется большой зазор S_1. Бабка шлифовального круга 3 подводится к детали с ускоренной подачей до тех пор, пока зазор S_2 между бабкой 3 и нижним измерительным соплом 4 не срав-

няется с зазором S_1. В этот момент срабатывает пневмоэлектроконтактный датчик, и ускоренная подача автоматически переключается на подачу, соответствующую черновой обработке. После периодической правки шлифовального круга измерительное сопло 4 автоматически перемещается вперед и устанавливается в новое положение.

ПАК для контроля деталей в процессе обработки обеспечивают более высокую точность по сравнению со всеми другими методами активного контроля.

В зависимости **от степени автоматизации** различают приборы активного контроля:

а) с визуальным отсчетом и управлением станком вручную;

б) с автоматическим управлением станком.

Первые обычно выполняются в виде простых трехконтактных измерительных скоб, которые снабжаются датчиками, связанными с отсчетом или светофорными устройствами, по которым визуально следят за ходом технологического процесса и вручную управляют им.

ПАК с автоматическим управлением станком снабжаются подводящими устройствами, обеспечивающими подвод прибора к детали в начале ее обработки и отвод прибора от детали по окончании обработки.

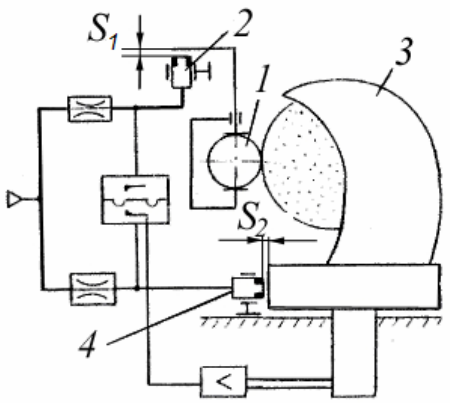

Рис. 1. Схема устройства для задания режимов обработки в зависимости от размеров заготовок.

В свою очередь по виду **сигнала** в системе автоматического регулирования (САР) они подразделяются на ПАК непрерывного и дискретного действия. Приборы непрерывного регулирования обеспечивают получение деталей более высокой точности.

Несмотря на большие преимущества ПАК деталей в процессе обработки, есть много случаев, когда их не удается применить или их применение нецелесообразно, например при бесцентровом шлифовании невозможно измерять в зоне обработки, или когда случайная погрешность существенно меньше систематической. В этом случае находят применение приборы, измеряющие размеры деталей после их обработки.

Они используются: 1) для автоматической подналадки станка на основе измерения размеров обработанных деталей; 2) для повторного контроля обрабатываемых деталей и автоматической поднастройки ПАК; 3) для автоматической сортировки обработанных деталей на ряд размерных групп.

Приборы первого типа успешно применяются на бесцентрово-шлифовальных станках (рис. 2). Деталь со станка попадает на измерительную позицию, датчик которой связан с механизмом подналадки. По мере износа шлифовального и ведущего кругов размеры деталей, сходящих со станка, постепенно увеличиваются. Как только они достигнут верхней контрольной границы, датчик подает команду механизму подналадки, который перемещает один из кругов на расстояние, равное суммарному износу обоих кругов.

Приборы второго типа применяются при малых допусках, если не удается устранить влияние помех, возникающих в процессе обработки (рис. 3).

Обработанные детали поступают на три параллельно включенные измерительные позиции, снабженные пневматическими датчиками. Если все три детали, последовательно сходящие со станка, имеют завышенные размеры, то в правой части пневмокамеры давление воздуха повышается, что приводит к изменению настройки прибора в сторону уменьшения зазора S_i, благодаря чему со станка начинают сходить детали меньшего размера. Если завышены размеры у одной или двух деталей, что может быть вызвано случайными причинами, то поднастройки датчика не происходит. Данная система позволяет компенсировать износ измерительных наконечников и температурную погрешность измерительной скобы. Приборы активного контроля для измерения деталей после их обработки функционируют в выгодных условиях, когда на контрольное устройство не воздействуют охлаждающая жидкость, вибрации и температурные деформации станка.

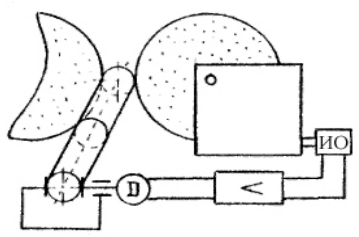

Рис. 2 Схема устройства с автоподналадчиком

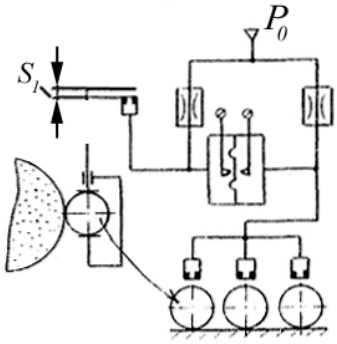

Рис. 3 Схема устройства с поднастройкой ПАК

Устройства, основанные на косвенном методе измерения, предназна-чены для ограничения или измерения положения суппорта либо для кон-троля положения режущего инструмента. Однако на точность работы при этом методе влияет износ инструмента, силовые и тепловые деформации технологической системы. Этот способ активного контроля нашел применение на зубошлифовальных и плоскошлифовальных станках.

Требования, предъявляемые к приборам активного контроля.

1. Наличие визуального устройства для настройки и контроля правильности работы.

2. Герметизация механизмов для обеспечения устойчивости против влаги, абразивной пыли, стружки и др.

3. Виброустойчивость.

4. Отсутствие реакции на наличие охлаждающей жидкости.

5. Прибор не должен занимать зону загрузки деталей.

6. Минимизация габаритных размеров.

2. Одноконтактные приборы активного контроля

Приборы активного контроля различают по числу контактов с обрабатываемой поверхностью детали: одноконтактные, двухконтактные и трехконтактные.

На рис. 4 представлена схема одноконтактного прибора активного контроля. Здесь измеряется расстояние *b* от места закрепления измерительной оснастки до обрабатываемой поверхности вала. При этом измерение диаметра *D* с нужной точностью обеспечивается только в том случае, если расстояние *a* от места закрепления прибора до базы оси центров сохраняется достаточно постоянным в период между подналадками прибора.

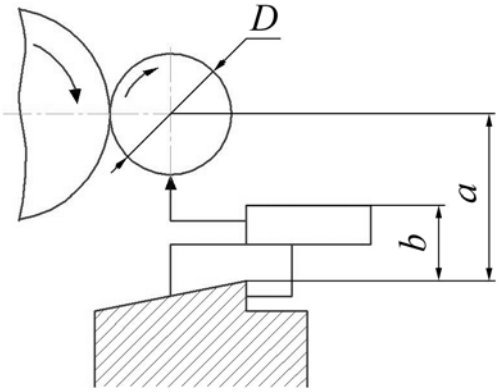

Рис. 4. Схема одноконтактного прибора активного контроля при

Таким образом, одноконтактные ПАК измеряют радиус детали и включают в измерительную размерную цепь элементы датчика, его подвески, станка и зажимного приспособления. Они занимают на станке незначительную площадь, не мешают установке деталей на станок, имеют простую конструкцию и требуют немного времени для настройки на заданный размер. Но следует обратить особое внимание на погрешности, возникающие вследствие температурных и других деформаций системы станок, прибор, инструмент, деталь (СПИД) и расположения измерительного наконечника на поверхности обрабатываемой детали (рис. 5).

На рис. 5, *а* показано одноконтактное устройство, наконечник которого контактирует с обрабатываемой деталью в наивысшей или наинизшей точке, а на рис. 5, *б* - устройство, наконечник которого контактирует

в точке, противоположной точке касания шлифовального круга. При таком расположении наконечника на этих двух схемах прибор автоматического контроля реагирует на деформацию изгиба детали и на отжим центров станка, происходящие под действием усилия резания при шлифовании.

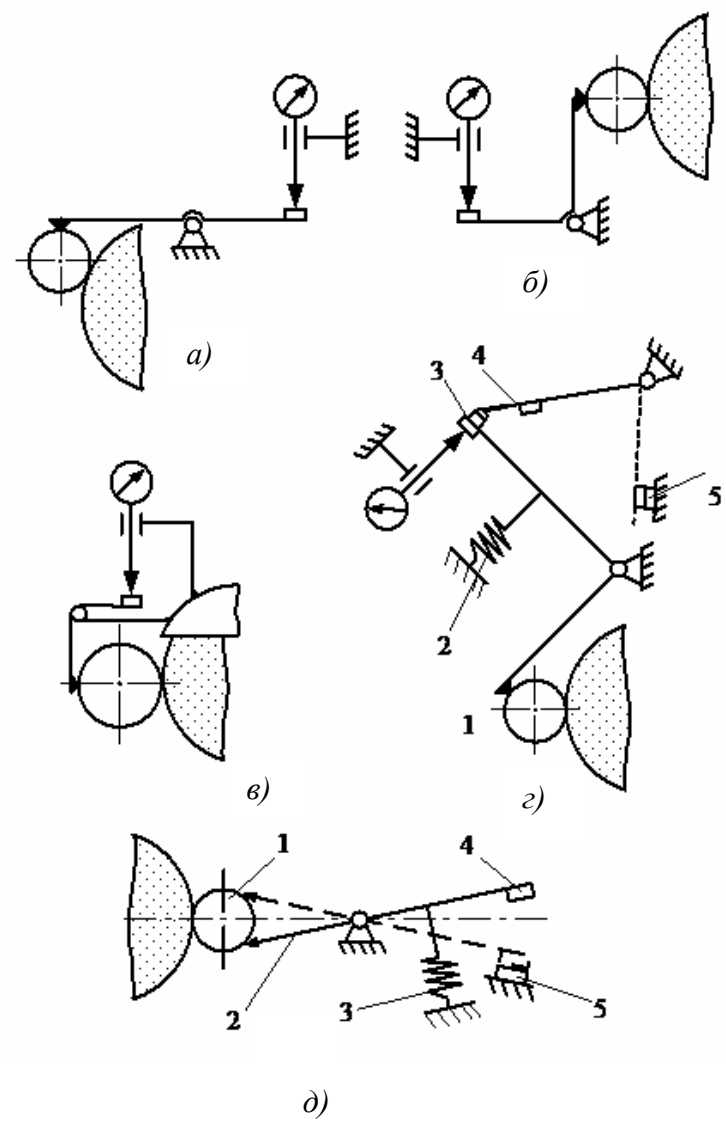

Рис. 5. Схемы одноконтактных ПАК круга и наконечником изменяется.

Иначе работает устройство, изображенное на рис. 5, *в*. Закрепление ПАК на кожухе круга позволяет контролировать деталь по всей длине. ПАК не реагирует на деформацию изгиба детали и на отжим центров станка, так как стрела прогиба детали равна перемещению всего устройства, передвигающегося с кожухом круга. Однако это устройство реагирует на износ круга, вследствие чего расстояние между поверхностью

На рис. 5, *г* показана схема одноконтактного устройства, основанного на принципе падающего контакта. По мере сошлифования припуска диаметр детали уменьшается и наконечник 1 измерительного рычага под действием пружины 2 перемещается по стрелке. При достижении деталью заданного размера рычаг 3 отходит настолько, что падающий контакт 4 соскакивает с призмы рычага 3 и замыкает контакт 5, это вызывает срабатывание электромагнитного реле, отключающего отход шлифовального круга от детали. Один из недостатков этого устройства - наличие одного электрического контакта, позволяющего работать только на одной подаче.

Представляют интерес устройства, работающие по принципу проскакивания (рис. 5, *д)*. Под деталь 1 подводится измерительный рычаг 2,

который по мере сошлифования припуска поднимается вверх. При достижении заданного размера детали рычаг 2 под действием пружины 3 проскакивает вверх и замыкает контакты 4 и 5, что вызывает срабатывание электромагнита, выключение подачи и остановку станка.

Влияние расположения измерительного наконечника на обрабатываемой детали показано на рис. 6.

В процессе шлифования на обрабатываемую деталь воздействуют сила резания P_z и сила P_y от поперечной подачи. Под действием равнодействующей силы R обрабатываемая деталь перемещается по горизонтали на расстояние v. Датчик, установленный в положение I, имеет погрешность f, равную $F=v\cdot\cos\beta$. Датчик, установленный в положение II (под углом β), находится перпендикулярно направлению деформации, вызываемой силой R, благодаря чему она на него почти не действует.

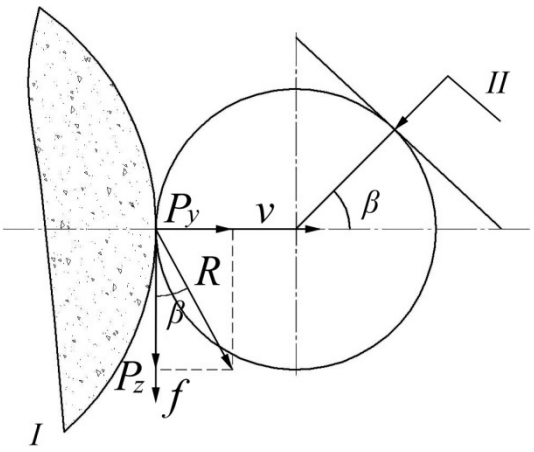

Рис. 6. Влияние прогиба детали на погрешности одноконтактных приборов: I - измерение снизу; II - оптимальное расположение измерительного наконечника

Для загрузки деталей на станок такое расположение неудобно, поэтому такая установка прибора несмотря на преимущества применяется редко.

Одноконтактные приборы активного контроля следует применять только при обработке жестких коротких валов, имеющих сравнительно большие допуски (0,02 - 0,05мм). Поэтому они нашли распространение на шарикоподшипниковых заводах при шлифовании беговых дорожек внутренних колец подшипников качения. Для измерения диаметров длинных валов, которые нужно шлифовать в центрах, такие устройства нельзя рекомендовать.

3. Двухконтактные приборы активного контроля

Основные достоинства их по сравнению с одноконтактными - более высокая точность измерения, так как в измерительную цепь не входят элементы станка и других устройств и замыкание размерной цепи идет через корпус прибора, а также возможность механизации подвода и отвода ПАК от обрабатываемой детали.

Схема двухконтактного прибора активного контроля с одним подвижным измерительным контактом показана на рис. 7. Наконечник 2

опирается на обрабатываемую деталь под действием веса корпуса 1. Нижний измерительный наконечник закрепляется на рычаге 3, который установлен на шарнире 4 в корпусе 1. Изменение диаметра d в процессе шлифования воспринимается с помощью датчика 5 и преобразуется в управляющий сигнал. Настройка на заданный размер осуществляется перемещением наконечника 2 относительно корпуса 1 и перемещением корпуса 1 относительно вертикальной планки 6.

Схема прибора активного контроля с двумя подвижными измерительными наконечниками представлена на рис. 8.

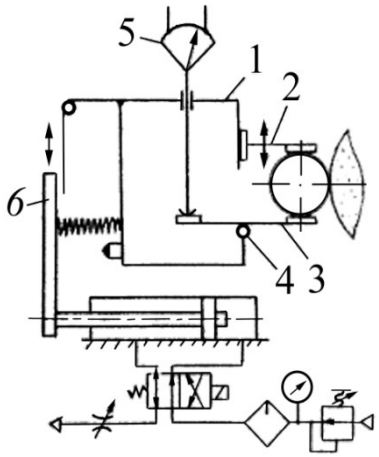

Рис. 7 Двухконтактный ПАК с одним подвижным измерительным рычагом

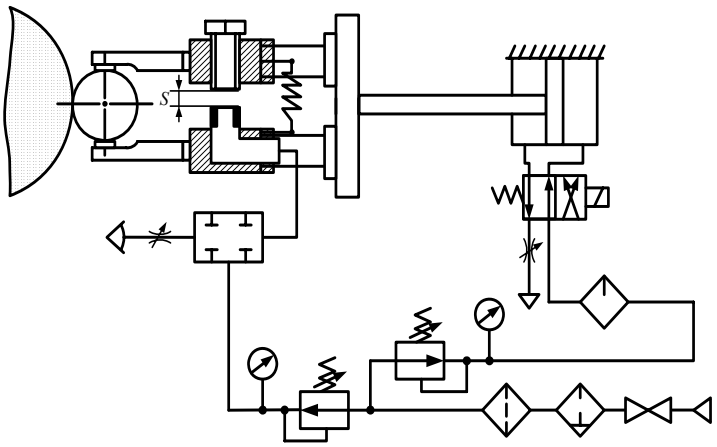

Рис. 8. Двухконтактный прибор активного контроля с двумя подвижными измерительными наконечниками

Два измерительных наконечника подвешены к корпусу прибора на упругих пружинных подвесках.

Грубая настройка - смещение подвижных контактов относительно блоков; точная - микровинтом. Измерительное усилие создается дополнительной пружиной.

Рассматриваемая схема в отличие от двухконтактной схемы с одним подвижным контактом имеет преимущество в том, что масса корпуса прибора не воздействует ни на один из измерительных наконечников, так как системы независимы и связаны с корпусом упругой связью.

Схема двухконтактного прибора активного контроля с механическим суммированием перемещения измерительных наконечников представлена на рис. 9.

Устройство имеет два измерительных рычага 1 и 2 с наконечниками *A* и *B*, которые поворачиваются вокруг осей С и *D*. В точке *F* монтируется ось суммирующего рычага 3. Угловые рычаги и суммирующий имеют следующее соотношение плеч:

$$\frac{FC}{CA}=\frac{1}{2};\frac{ED}{DB}=\frac{1}{3};\frac{GE}{EF}=\frac{2}{1}.$$

Передаточное отношение от наконечника *A* к точке *G* (при неподвижном наконечнике *B):*

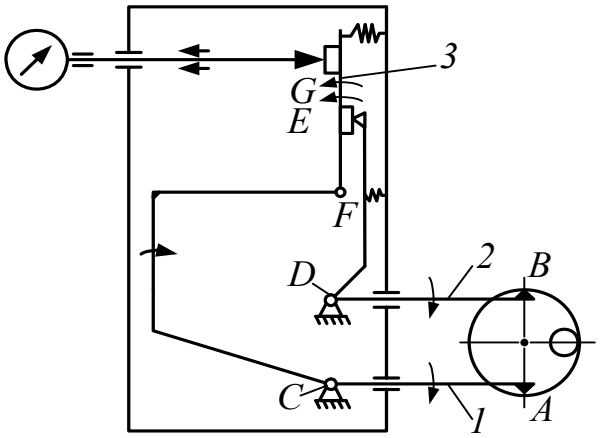

Рис. 9. Двухконтактный прибор активного контроля с механическим суммированием измерительных наконечников

$$i_{AG}=\frac{AC}{CF}\cdot\frac{EF}{EG}=\frac{2}{1}\cdot\frac{1}{2}=\frac{1}{1}.$$

Передаточное отношение от наконечника *B* к точке *G* (при неподвижном наконечнике *A*)

$$i_{BG}=\frac{BD}{DE}\cdot\frac{EF}{FG}=\frac{3}{1}\cdot\frac{1}{3}=\frac{1}{1}.$$

При смещении точек *A* и *B* в одном направлении на одинаковую величину результирующее движение будет равно нулю. Таким образом, радиальное биение детали не сказывается на показаниях прибора. Погрешность прибора, основанного на этом принципе, не превышает ±3 мкм.

4. Трехконтактные приборы активного контроля

Трехконтактные приборы активного контроля имеют две точки опорные, а третью - подвижную, предназначенную для измерения размера. Основным достоинством трехконтактных приборов по сравнению с одноконтактными устройствами является то, что они измеряют диаметр, а не радиус детали, и одновременно базируются по поверхности детали, что обусловливает подвижную установку датчика в процессе контроля и, кроме того, прибор не реагирует на смещение центра.

На рис. 5.10 показана распространенная конструкция трехконтактной индикаторной скобы с ручным вводом скобы в зону измерения и отводом в исходное состояние. Два наконечника этой скобы 1 и 2 – упорные, третий - подвижный - связан с измерительным штоком 3 и прижимается к поверхности контролируемой детали пружиной 5.

По мере сошлифования припуска диаметр уменьшается и измерительный шток опускается вниз, нажимая на шток индикатора 4. Все устройство шарнирно подвешивается к станку с помощью кронштейна 6 и двух шарниров 7 и 8. Упорные наконечники 1 и 2 прижимаются к поверхности контролируемой детали с помощью пружины 9. Для того, чтобы скоба надежно держалась на обрабатываемой детали, нижний упорный наконечник 1 должен касаться детали не в точке, диаметрально противоположной точке касания измерительного штока 3, а в точке, смещенной к шлифовальному кругу на 5 - 10°.

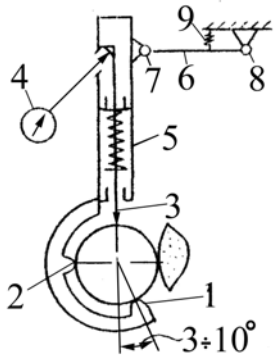

Рис. 10. Схема трехконтактной скобы

К недостаткам схемы следует отнести трудность автоматизации ввода измерительной скобы в рабочее положение и ее вывод, необходимость в значительном ходе при вводе и выводе скобы для установки и съема обрабатываемой детали на станке.

У седлообразных скоб третья подвижная точка располагается между двумя опорными, и эти недостатки устраняются автоматически.

На рис. 11 приведена схема седлообразной скобы, где косвенное измерение диаметра вала осуществляется измерительной головкой по биссектрисе угла, образованного опорными поверхностями призмы. При изменении диаметра вала D на величину ΔD перемещение стержня измерительной головки составит $S = K_D \cdot \Delta D$, где K_D - коэффициент передачи:

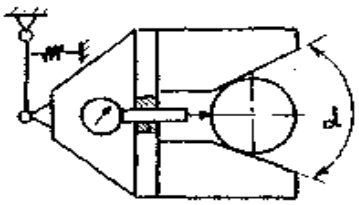
Рис. 11. Схема седлообразной скобы

$$K_D = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\sin\alpha/2} - 1\right).$$

Достоинства седлообразных скоб:

1) меньшие габариты;

2) легкость автоматизации подвода и отвода.

Недостатки: наличие овальности огранки на детали приводит к большим погрешностям измерения из-за изменения передаточного отношения.

5. Методы построения приборов активного контроля для деталей с прерывистыми поверхностями

Применение рассмотренных до сих пор приборов активного контроля ограничивалось деталями с гладкой обрабатываемой и измеряемой по-

верхностью. Однако около 25 % всех деталей типа тел вращения имеют шпоночные канавки, шлицы, поперечные отверстия, смазочные канавки, зубья и т.д.

Для этого большого класса деталей созданы особые разновидности ПАК. Методы их построения основаны на выполнении этими приборами двух дополнительных функций:

1) предотвращение подачи ложных сигналов;

2) предотвращение повреждения измерительных наконечников и самой обрабатываемой детали.

Для построения приборов используются следующие методы:

1) наконечников, перекрывающих разрывы;

2) затормаживания наконечников;

3) специальных схем, позволяющих запоминать измерительный сигнал и подавлять ложный.

Кроме того, на практике часто применяют различные способы обезвреживания самих разрывов на детали:

- заполняют разрывы на поверхности детали вспомогательным материалом;

- измеряют деталь во время кратковременной остановки стола станка при его реверсе (плоское шлифование).

Число способов активного контроля деталей с прерывистыми поверхностями довольно велико. Их выбор зависит от способа обработки, от особенностей станка и детали, количества одновременно обрабатываемых деталей, требуемых допуска и погрешностей измерения и других факторов.

5.1. Приборы с протяженными измерительными наконечниками

Самые простые устройства для контроля прерывистой поверхности при круглом шлифовании - протяженные (дугообразные) наконечники, имеющие радиус $R_н$, близкий к радиусу $R_д$ детали, и перекрывающие разрывы поверхности (рис. 5.12). Вследствие разности радиусов ($R_н - R_д$) возникают малые периодические перемещения измерительного стержня на величину

$$\Delta h = h_2 - h_1 = (R_Д - R_Н) - \left\{\sqrt{R_Д^2 - b^2/4} - \sqrt{R_Н^2 - b^2/4}\right\}$$

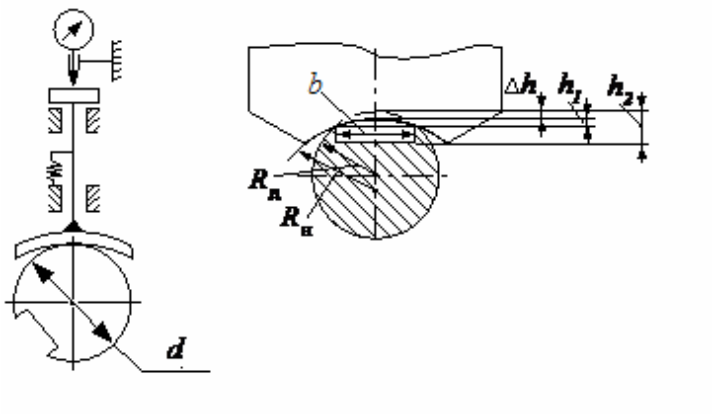

Рис. 12. Схема контроля с протяженными измерительными наконечниками

Исходя из этого соотношения, дугообразные наконечники следует рекомендовать для контроля деталей с $b_{max} \leq 0{,}3d$.

Приборы с дугообразными наконечниками могут обеспечить точность обработки порядка 15 - 20 мкм, поэтому в настоящее время такие приборы применяют редко.

5.2. Приборы с затормаживанием измерительных наконечников

Главное достоинство этого принципа работы - возможность его применения как для измерения размеров гладких деталей, так и прерывистых. Принцип работы измерительного прибора показан на рис. 5.13.

Когда разрыв на детали приближается к измерительному стержню, то электрическая цепь электромагнита замыкается с помощью кулачка, синхронно вращающегося вместе с обрабатываемой деталью. Угол ω_1 у кулачка немного больше, чем угол ω_0 у разрыва на поверхности детали. В качестве примера построения схемы прибора по третьему методу рассмотрим прибор модели БВ-3098 с блокировочным клапаном (рис. 14).

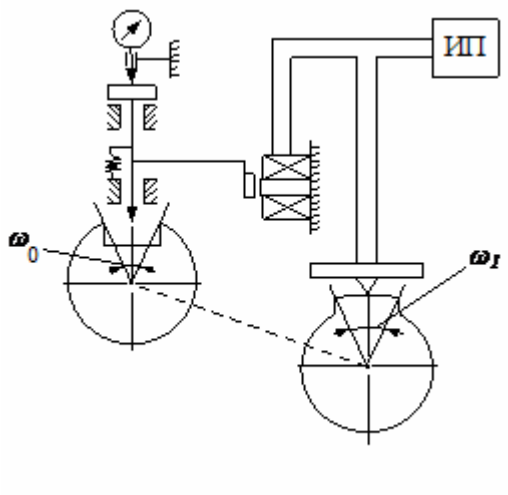

Рис. 13. Схема устройства с затормаживанием измерительного наконечника

Изменение наружного диаметра шлицевого вала в процессе шлифования преобразуется измерительными наконечниками 1 и 2 в изменение зазора Z между соплом 3 и винтом-заслонкой 4. На вход в измерительное устройство подается стабилизированное давление P_0. В зависимости от зазора Z в измерительной камере 5 устанавливается определенное измерительное давление $P_и$, которое поступает через клапан 6 в отсчетное устройство. Когда измерительные наконечники окажутся над разрывами, винт-заслонка 4 сядет на защитную коронку сопла 3. Измерительное давление резко увеличится, мембрана 7, преодолевая усилие пружины 8, за-

кроет клапан 6. Отсчетное устройство будет изолировано от приема ложной информации.

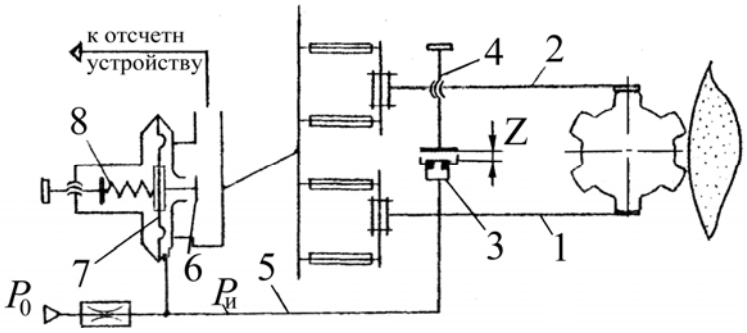

Рис. 14. Схема устройства, позволяющего запоминать измерительный сигнал и подавлять ложный

5.3. Приборы с пневматическим демпфированием

Пневматические демпферы могут применяться как в контактных, так и бесконтактных приборах активного контроля.

Пневматический делитель давления (рис. 15), состоящий из измерительного и входного сопл, преобразует зазор S между измерительным соплом и деталью в измерительное давление $P_и$. Вследствие очень маленького объема $V_1 \to 0$ измерительное давление $P_и$ следит практически без запаздывания за изменением величины зазора. Из-за наличия разрывов на поверхности вращающейся детали устанавливается изменение $P_к$, показанное на графике (рис. 16). Это давление подается через демпфирующий дроссель D и объем V_2. Дроссель и объем V_2 образуют демпфирующее звено 1-го порядка с постоянной времени T.

$$T = \frac{V_2}{P_{km}} \cdot \frac{128\mu_д l}{\pi d^4},$$

где P_{km} - среднее абсолютное давление; $\mu_д = 1{,}85\times10^{-6}$ кг·с/м^2 - динамическая вязкость воздуха; l и d - длина и диаметр капиллярной трубки.

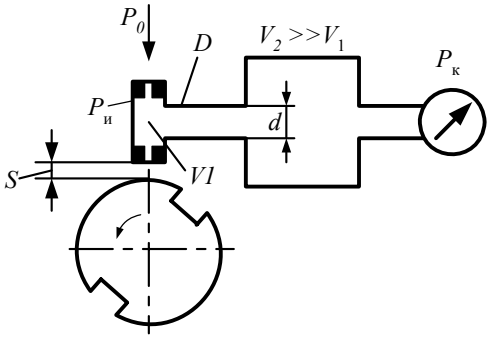

Рис. 15. Схема устройства с пневмодемпфером

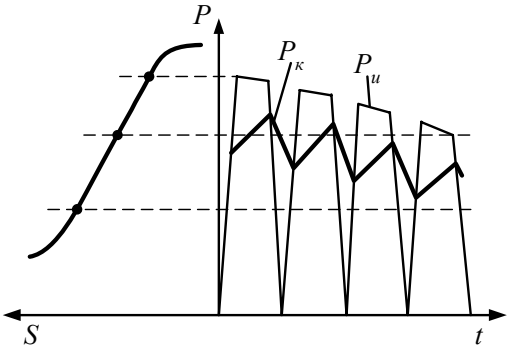

Рис. 16. График изменения давлений $P_к$ и $P_и$ в процессе обработки

Выходной сигнал $P_K(t)$ представляет собой последовательно меняющийся экспоненциальный процесс зарядки и разрядки, который можно представить как колебание давления вокруг среднего значения $P_к = \lambda \times P_{кс}$ на манометре.

Колебания давления $P_к$ у устройства очень велики, так как $P_к$ полностью падает над разрывом детали. При $\lambda << 1$ может установиться среднее измерительное давление $P_к$ за пределами линейного участка характеристики пневматического делителя давления.

Существенно улучшить этот принцип можно путем замедления перепада давления с помощью обратного клапана с параллельно включенным дросселем (рис. 17). Зарядка объема осуществляется через обратный клапан с постоянной времени $T_1 << T_2$,где T_2 – это время зарядки через дроссель $D_р$ и камеру с объемом V_2. Перепад давления через демпфирующий дроссель может осуществляться только замедленно. Колебания давления незначительны по сравнению со статическим значением p (рис. 5.18). Применяется на бесцентрово-шлифовальных станках.

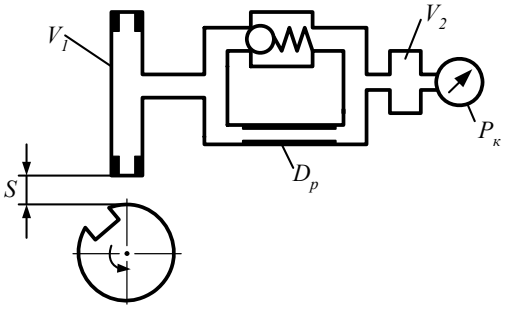

Рис. 17. Схема устройства с демпфером и обратным клапаном

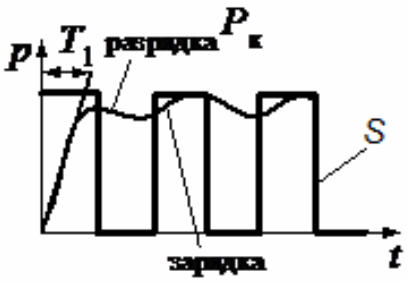

Рис. 18. Графики изменения давления $P_к$ и зазора S при обработке

5.4. Приборы с аналоговым запоминанием сигналов

Вышерассмотренные приборы активного контроля с демпферами имеют наряду со многими достоинствами и существенный недостаток, заключающийся в том, что между статической настройкой и динамической работой появляются систематические погрешности, достигающие 50 мкм. Такие приборы надо настраивать в нормальных условиях работы станка. Но и тогда остаются погрешности, если изменяются такие технологические условия, как окружная скорость деталей, ширина разрывов и т.п.

Для решения таких задач были созданы электронные и пневматические приборы, у которых измерительный сигнал запоминается с помощью аналогового устройства, либо точно в такте прохождения разрывов на де-

талях, либо измеряемое значение определяется в достаточно узких интервалах и передается запоминающему звену. Вследствие этого выходной сигнал не подвергается никаким колебаниям, а изменяется ступенчато, пропорционально съему припуска.

Рассмотрим прибор для бесконтактного активного контроля валов с нечетным числом разрывов (рис. 19).

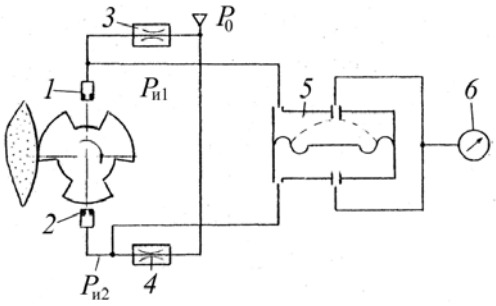

Рис. 19. Схема устройства для контроля валов с нечетным числом разрывов

Здесь оба измерительных сопла 1 и 2 присоединены через входные сопла 3 и 4 к источнику сжатого воздуха. При настройке прибора необходимо обеспечить, чтобы смещение измерительной скобы на высоте, а следовательно и разность ($P_{и1}$ – $P_{и2}$) обоих измерительных давлений была мала. Когда измерительное сопло 1 находится над разрывом, $P_{и1}$ падает, а $P_{и2}$ сохраняет свое значение. Благодаря этому мембрана реле 5 прогибается вверх и закрывает верхний выход реле. К манометру 6 поступает давление $P_{и2}$. При дальнейшем повороте детали попеременно меняются условия на обоих соплах 1, 2 и в реле 5. Поскольку разрывы на деталях уже, чем выступы, то на выходе имеются попеременно измерительные давления $P_{и1}$ и $P_{и2}$.

Прибор, построенный по принципу независимого аналогового пневматического запоминания сигналов, представлен на рис. 5.20.

Измерительная станция с двумя измерительными соплами 1 для измерения диаметра снабжена дополнительно щелевым управляющим соплом 2 с шириной b, которая больше диаметра измерительного сопла d_c. Незадолго до того, как разрыв между двумя деталями подходит к из-

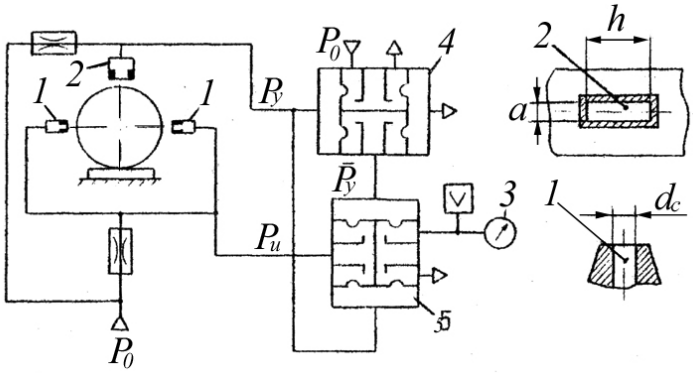

Рис. 20. Схема устройства с запоминанием измерительного сигнала для бесцентрово-шлифовальных станков

мерительным соплам 1, давление $P_у$ перед управляющим соплом 2 падает. Это управляющее давление используется для переключения реле 4, включенного по схеме выполнения логической операции «нет», то есть при большом $P_у$ мембранный пакет перемещается вправо; при этом верхняя камера реле 5 соединяется с атмосферой, то есть давление $P_у$ падает до нуля.

Под действием возникшей разности давлений $\left(\overline{P}_y - P_y\right)$ мембранный блок реле 5 перемещается вверх и соединяет измерительные сопла 1 с показывающим прибором 3.

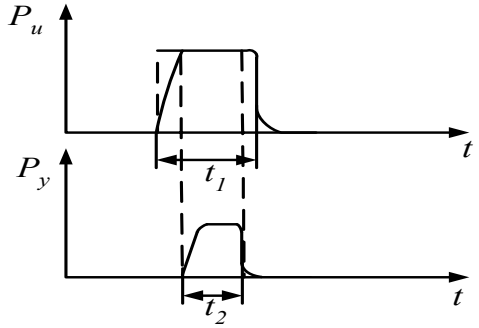

Рис. 21. Графики измерительного $P_и$ и управляющего $P_у$ давлений

Таким образом, измерительные сопла 1 и показывающий прибор 3 соединяются между собой только в течение времени t_2, когда измерительное давление $P_и$ уже достигло установившегося значения. Вследствие того, что размер сопла $b > d_с$, время $t_1 > t_2$ и давления $P_и(t)$ и $P_у(t)$ изменяются в соответствии с графиками (рис. 21). Объем V камеры 3 (см. рис. 20) выполняет функцию пневматического конденсатора для запоминания выходного давления P.

6. Автоподналадчики

Устройства, контролирующие деталь непосредственно после обработки, принято называть подналадчиками. Они находят широкое применение на таких видах механической обработки, как бесцентровое и плоское шлифование, зубофрезерование.

Контрольные устройства, применяемые в подналадчиках, обычно настраиваются по суженным границам поля допуска на обрабатываемые детали. Для этого устанавливаются верхняя и нижняя контрольные границы, которые смещены внутрь относительно верхней и нижней границ заданного поля допуска детали. Благодаря этому получение деталей, которые имеют размеры, соответствующие одной из контрольных границ, не вызывает появления брака, так как в течение времени, необходимого для подналадки, со станка будут сходить детали с размерами, превышающими поле контрольных границ. Верхняя и нижняя контрольные границы смещаются внутрь поля допуска в среднем на 0,1 - 0,2 величины допуска на размер детали.

В случае, если размеры подходят к некоторому установленному пределу, подналадчики подают команду исполнительным органам станка изменить положение режущего инструмента, корректируя тем самым размеры последующих деталей.

Рассмотрим характерные свойства автоподналадчиков на примере наиболее часто встречающегося дискретного режима двух- и трехпозиционного регулирования (рис. 22).

Если размеры обработанных деталей вследствие износа шлифовального круга приближаются к верхней контрольной границе, то датчик подает сигнал на подналадку исполнительного механизма станка по направлению к обрабатываемой детали. Подналадка осуществляется с помощью гидроцилиндра $Г_в$, который поворачивает храповое колесо исполнительного механизма на один зуб.

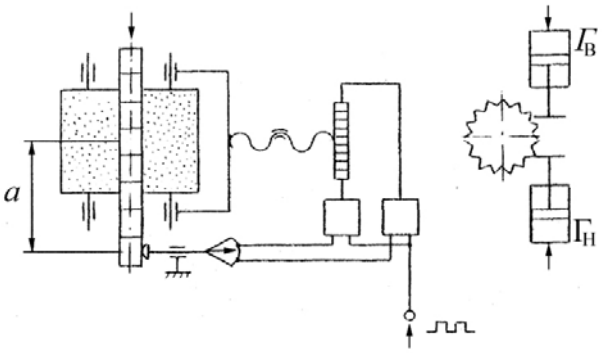

Рис. 22. Схема обработки на бесцентрово-шлифовальном станке с трехпозиционным регулятором

При приближении размеров обработанных деталей к нижней контрольной границе датчик подает команду на подналадку в противоположном направлении, при этом срабатывает гидроцилиндр $Г_н$. Это в случае работы трехпозиционного регулятора.

При непрерывно увеличивающихся диаметрах обработанных деталей вследствие износа шлифовального круга (постоянная положительная тенденция) нижний предел регулирования не достигается. В этом случае применяют двухпозиционный регулятор (датчик с одним контактом). Благодаря этому значительно упрощается исполнительный механизм, так как он должен работать только в одном направлении.

Чтобы после произведенной подналадки детали, находящиеся еще между зонами шлифования и измерения и имеющие завышенные размеры, (расстояние *a* на рис. 22) не вызывали дальнейших срабатываний датчика и перемещений исполнительного органа станка, выходной сигнал датчика поступает на станок через реле времени или счетчик количества деталей.

6.1. Диаграмма регулирования размера

Рассмотрим схему регулирования размера на станке с подналадчиком (рис. 23).

При выходе размера контролируемой детали в зону *C* подналадки датчик выдает сигнал, который через усилитель поступает в исполнительный механизм, смещающий бабку ведущего круга на заданную величину подналадочного импульса *Z*. Средний размер детали уменьшается на величину подналадочного импульса *Z*. Начинается новый цикл подналадки. В случае выхода размера детали за пределы поля допуска срабатывает второй контакт датчика: бракованная деталь направляется в приемник брака, и станок останавливается.

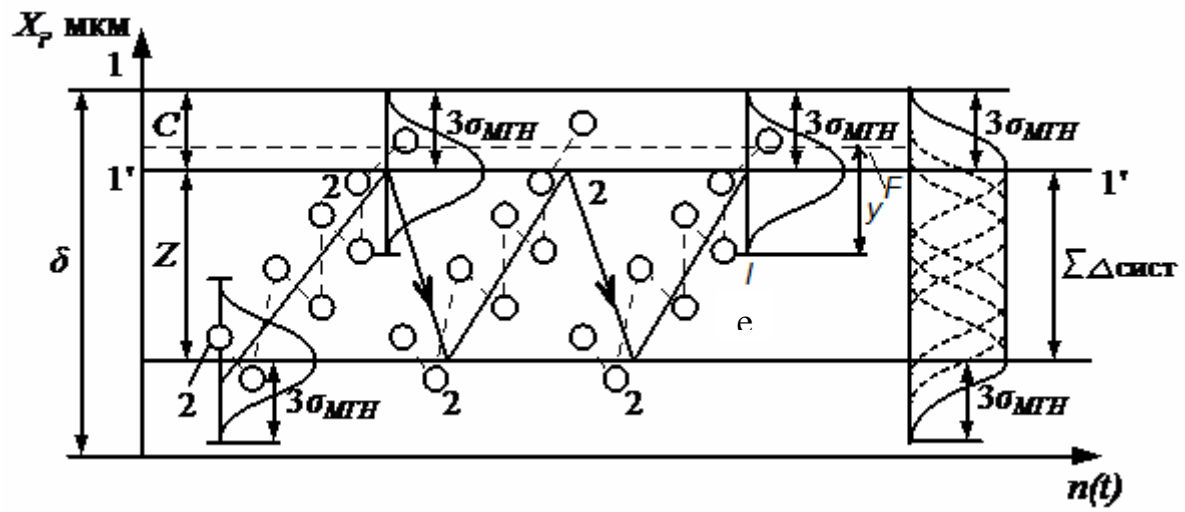

Рис. 23. Схема регулирования размера на станке с подналадчиком; 1-1 - верхний предел поля допуска; 1'-1' - верхняя контрольная подналадочная граница; 2-2 - кривая усредненных погрешностей точечной диаграммы; *Z* - заданная величина подналадочного импульса, представляющая собой изменение функциональной усредненной погрешности процесса за период между двумя подналадками

Суммарная погрешность подналадочной системы определяется полем рассеивания размеров деталей, обработанных на станке с подналадчиком. Функциональная усредненная погрешность размеров приближенно выражается прямыми 2 - 2, случайные погрешности размеров - величиной в $6\sigma_{мгн}$. Суммарная кривая является композицией кривых Гаусса и равной вероятности. Величину подналадочного импульса *Z* можно считать некомпенсируемой функциональной погрешностью, то есть систематической составляющей погрешности подналадки.

Кроме того, погрешность подналадки включает также величину, зависящую от рассеивания точек (моментов) подачи команды на подналадку и определяемую интервалом между точкой *e,* где возникает вероятность появления подналадочного импульса, и точкой *F,* где эта вероятность равна 1. Величина *y* зависит от отношения σ/a, где *a* - величина изменения усредненной функциональной погрешности на одну деталь. При небольших значениях a $y = 6\sigma_{мгн}^{0.75} \cdot a^{0,75}$.

Суммарная погрешность подналадочной системы, то есть рассеивание размеров при большом числе подналадок и небольших значениях *a,*

$$V = Z + 6\sigma_{мгн} + y + \Delta_{lim},$$

где Δ_{lim} - погрешность измерительного устройства.

При подналадке по одной детали оптимальной величиной подналадочного импульса считают $Z_{опт} = 0,25 + 1,3a_{max}$.

При небольшом числе подналадок и больших значениях *a* суммарная погрешность системы

$$V \cong Z + \sqrt{18\sigma_{\text{мгн}}^2 + y^2 + \Delta_{\lim}^2}.$$

Суммарная расчетная погрешность подналадочной системы сравнивается с величиной допуска. Условием стабильной работы системы служит выполнение неравенства $\delta > V$.

6.2. Классификация подналадочных систем

С точки зрения точности и принципа действия подналадочные системы можно классифицировать следующим образом.

1. Подналадка по одной детали.

В этом случае измерение детали с заданным допуском и осуществление подналадки станка при превышении контрольных границ может производиться:

а) независимо от величины превышения путем подачи одного подналадочного импульса;

б) пропорционально превышению путем подачи нескольких подналадочных импульсов.

2. Подналадка по медиане.

Здесь осуществляется непрерывное измерение или измерение выборочных проб и дифференцированный счет деталей, превышающих или не достигающих одной или обеих контрольных границ. Подналадка производится в случае, если количество таких деталей превышает допустимое значение и осуществляется с постоянной или пропорциональной величиной подналадочного импульса.

3. Подналадка по среднему значению выборки.

Производится определение среднего значения выборок, состоящих из последовательно сходящих со станка деталей или выборок, взятых через определенные промежутки времени; подналадка станка осуществляется с постоянной или пропорциональной величиной подналадочного импульса.

4. Подналадка по среднему динамическому значению.

Здесь производится непрерывное измерение и определение среднего значения с помощью инерционного звена. Подналадка станка производится с постоянной или пропорциональной величиной подналадочного импульса в заданные промежутки времени.

5. Программированная подналадка станка.

Здесь в зависимости от предварительно установленного количества деталей (обычно от 1 до 10) срабатывает счетчик и осуществляется подна-

ладка станка, благодаря чему в значительной мере компенсируются погрешности изготовления деталей на нагретом станке. Регулирующему контуру остается в этом случае только отследить разность между фактическим и программируемым изменением размеров.

Подналадка по медиане реализуется чаще всего, так как позволяет компенсировать случайные погрешности с небольшими затратами. Подналадку можно осуществить в нескольких вариантах с постоянными и со скользящими выборочными пробелами.

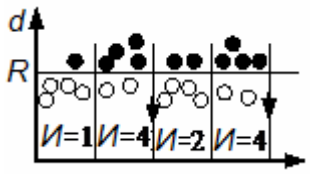

Рис. 5.24. Регулирование выборочных проб по медиане

Рассмотрим простейший вариант с одной контрольной границей и подналадкой в одном направлении (рис. 5.24). Детали *И* с размером *d,* превышающие контрольную границу *R,* в пределах каждой выборочной пробы с количеством деталей *n* автоматически подсчитываются, и подналадка осуществляется, если количество деталей *И* превышает предварительно установленное предельное значение q: $И > q > n/2 + 1$.

7. Сопряженное шлифование

При сборке точных соединений в крупносерийном и массовом производстве применяется селиктивная сборка или подбор соответствующих пар с помощью КСА. В мелкосерийном производстве селективная сборка затрудняется из-за сравнительно небольшого числа изготавливаемых деталей. В этих условиях для получения нужной посадки используют сопряженное шлифование, когда размер обрабатываемой детали автоматически подгоняется к размеру уже обработанной парной детали так, чтобы получился требуемый зазор или натяг. Обычно вал изготавливается по окончательно обработанному отверстию, так как при наружном шлифовании легче достигается высокая точность обработки, чем при внутреннем.

Наиболее просто задачу активного контроля сопряженной обработки деталей можно решить при помощи пневматических приборов (рис. 25).

В зависимости от изменения размера вала *d* изменяется зазор S_2 между измерительным рычагом 9 и соплом 8, а следовательно и давление воздуха внутри сильфона 7. Контакт *К* связан с сильфонами 7 и 4 и перемещается в зависимости от разности давлений в них. В начале шлифования контакты *К* и 6 замкнуты. После съема основной части припуска контакты *К* и 6 размыкаются и станок автоматически переключается на режим чистового шлифования. По достижении валом заданного размера контакты *К* и 5 датчика 3 замыкаются и станок останавливается.

Настройка пробки 1 и скобы 10 осуществляется по эталонной втулке 2 и эталонному валу, разность диаметров которых равна требуемому зазору или натягу Д = $D - d$ = const.

Для выполнения приведенного условия измерительная система прибора должна обеспечить $P_{и1} - P_{и2}$ = const. В стабилизированную пневматическую систему подается давление P_0.

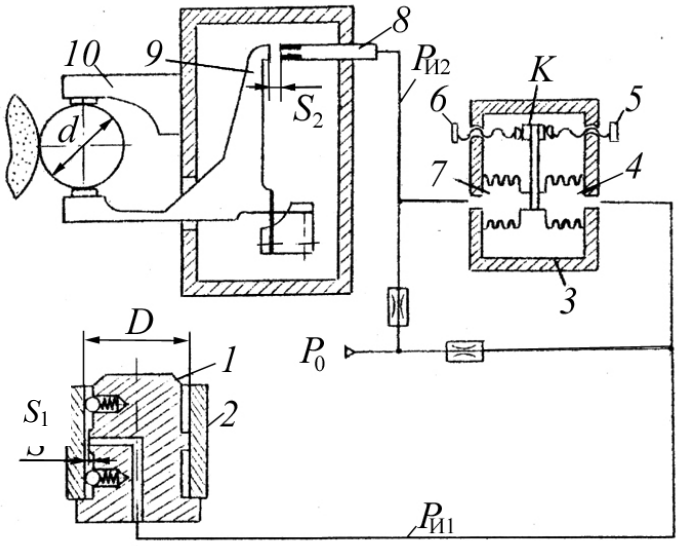

Рис. 25. Схема устройства для сопряженного шлифования с пневматическим датчиком

При обработке вала его диаметр d зависит от диаметра D отверстия втулки 2. Если на пробке 1 устанавливается втулка с размером отверстия меньшим, чем у эталонной втулки, то зазор S_1 уменьшается и давление воздуха внутри сильфона 4 возрастает. Обработка вала считается законченной, когда контакты K и 5 замкнуты. Чтобы это произошло, нужно увеличить давление воздуха внутри сильфона 7 за счет уменьшения зазора S_1, а для этого вал нужно шлифовать до меньшего размера.

При установке на пробке 1 детали с отверстием большим, чем у эталонной втулки, контакты K и 5 по аналогии замкнутся на большем диаметре вала. По окончании обработки каждый вал транспортируют на сборку вместе с соответствующей ему втулкой.

В настоящее время имеется значительное количество конструкций измерительных устройств для сопряженного шлифования с электроконтактными, индуктивными, емкостными и пневматическими датчиками.

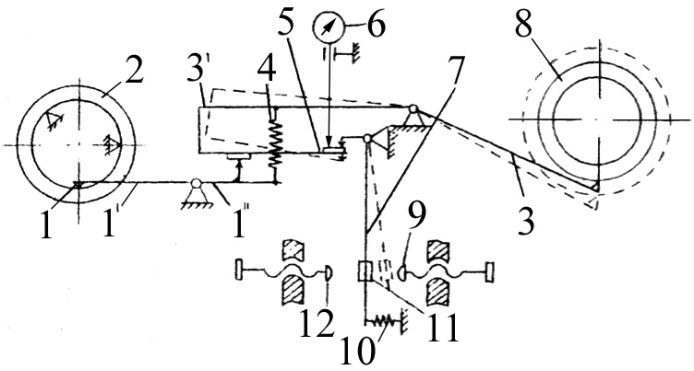

Рис. 26. Схема электроконтактного ус тройства для сопряженного шлифования

Рассмотрим схему электроконтактного устройства для сопряженного шлифования (рис. 26).

Это устройство состоит из одноконтактного активного прибора 3,

соприкасающегося с обрабатываемым кольцом 8, и трехконтактного стационарного прибора 1, на котором устанавливается готовое наружное кольцо 2. На рычаге 3' активного устройства шарнирно подвешивается суммирующий рычажок 5, на правый столик которого опирается измерительный шток миниметра 6 и наконечник контактного рычага 7. Стационарное устройство 1 состоит из двух неподвижных наконечников в виде шариков, на которые опирается желоб наружного кольца, и одного подвижного наконечника в виде шарика, сидящего на конце рычага 1'. Соприкосновение плеча 1" рычага стационарного устройства с левым столиком суммирующего рычага 5 происходит под воздействием пружины 4.

Устройство работает следующим образом.

1. На шарики устройства 1 устанавливается наружное кольцо 2 с уже обработанным желобом. При этом в зависимости от размера желоба рычаг 1'-1" устанавливается в некотором определенном положении.

2. Рычаг одноконтактного активного прибора 3 вводится в соприкосновение с необработанным еще желобом внутреннего кольца шарикоподшипника. При наличии припуска на обработку рычаг 3 отклоняется, а вместе с ним и правый столик суммирующего рычага 5 перемещается вниз. При этом контакт рычага 7 замыкает контакт 9 под действием пружины 10, шток миниметра опускается вниз.

По мере обработки наконечник рычага 3 и правый столик рычага 5 поднимаются вверх. В момент окончания чернового шлифования контакт 11 рычага 7 отрывается от контакта 9, что вызывает переключение подачи с черновой на чистовую. В момент окончания чистового шлифования контакт 11 замыкает контакт 12 и происходит остановка станка. Положение контакта 12 настраивается таким образом, чтобы в момент окончания шлифования размер желоба внутреннего кольца был комплектным с размером желоба наружного кольца.

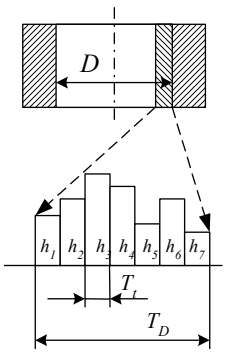

Рис. 27. Разделение отверстий на группы допусков T_t

Недостаток рассмотренных выше приборов - это полный отказ от взаимозаменяемости деталей. Приборы активного контроля для группового сопряженного шлифования позволяют изготавливать сопряженные детали, отвечающие требованиям ограниченной взаимозаменяемости (рис. 27). Для этого изготавливается вся партия наиболее трудоемких деталей (отверстий), которая затем сортируется на группы. В каждой группе i появляется число деталей n_i.

Величина допуска на группу T_t определяется по формуле

$$T_t = T_D/N - T_F,$$

где T_D - допуск зазора; N - число групп сортировок; $T_Р = 6\sigma$ - рассеивание размеров изготавливаемой сопряженной детали (вала) с помощью активного контроля.

При изготовлении сопряженных деталей нужно обрабатывать для каждой группы отверстий требуемое число n валов (рис. 28).

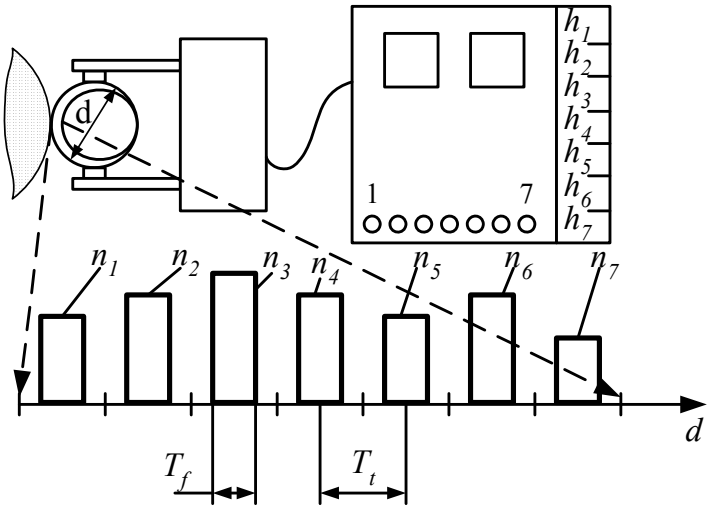

Рис. 28. Изготовление валов с допуском $T_f < T_t$ для каждой группы отверстий

Для этого созданы специальные электронные приборы активного контроля, у которых имеются переключаемые пределы измерения, соответствующие числу сортировочных групп. Изготовление деталей требуемой группы обеспечивается путем настройки прибора (нажимом на одну из кнопок 1 - 7); тогда прибор управляет станком в соответствии с заданной группой. С помощью счетчиков n_1 - n_7, предварительно установленных на заданную для каждой группы величину n_i, можно изготовить такое количество валов в каждой группе, которое соответствует числу уже изготовленных отверстий в каждой из групп. При этом не нужно производить счет обработанных деталей вручную, так как он осуществляется автоматически.

8. Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются приборы активного контроля?
2. Сравните одно-, двух- и трехконтактные приборы активного контроля и выявите преимущества и недостатки одних перед другими.

3. Какие приборы активного контроля используются для контроля деталей с прерывистыми поверхностями?
4. Приведите схему устройства для контроля валов с нечетным числом разрывов.
5. Дайте определение понятию «автоподналадчик».
6. Приведите диаграмму изменения размеров деталей при обработке на станке с подналадчиком и без него?
7. В каких производствах применяется сопряженное шлифование?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Активный контроль размеров / под ред. С. С. Волосова. – М. : Машиностроение, 1984. – 224 с.

2. Активный контроль в машиностроении : справочник / под ред. Е. И. Педя. – М. : Машиностроение, 1978. – 352 с.

3. *Вальков, В. М.* Контроль в ГАП / В. М. Вальков – Л. : Машиностроение., 1986. – 232 с.

4. *Волосов, С. С.* Приборы для автоматического контроля в машиностроении / С. С. Волосов, Е. И. Педь. – М. : Машиностроение, 1970. – 310 с.

5. *Волосов, С.С.* Управление качеством продукции средствами активного контроля / С. С. Волосов, З. Ш. Гейлер. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 197 с.

6. *Высоцкий, А. В.* Активный контроль в металлообработке / А. В. Высоцкий, М. П. Соболев, М. И. Этингоф. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 175 с.

7. *Иванов, А. А.* Гибкие производственные системы в приборостроении / А. А. Иванов. – М. : Машиностроение, 1988. – 304 с.

8. *Камхин, Я. Б.* Контрольные автоматы для автоматических линий / Я. Б. Камхин, Е. М. Голоульников, И. Н. Хаскин. – М. : Машиностроение, 1980. – 247 с.

9. *Кондашевский, В. В.* Активный контроль размеров деталей на металлорежущих станках / В. В. Кондашевский, В. Лотце. – Омск : Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1976. – 432 с.

10. *Куратцев, Л. Е.* Пневматические приборы активного контроля в машиностроении / Л. Е. Куратцев, И. М. Цырульников. – М. : НИИМАШ, 1973. – 62 с.

11. *Либерман, Я. Л.* Контрольно-сортировочные автоматы / Я. Л. Либерман, В. В. Кувшинский. – М. : Машиностроение, 1983. – 75 с.

12. Приборы автоматического управления обработкой на металлорежущих станках / А.В. Высоцкий [и др.]. – М. : Машиностроение, 1995. – 328 с.

13. Теория и проектирование контрольных автоматов : учеб. пособие для вузов / Л. Н. Воронцов [и др.]. – М. : Высш. шк., 1980. – 560 с.

14. *Чудов, В. А.* Размерный контроль в машиностроении / В. А. Чудов, Ф. В. Цидулько, Н. И. Фридгейм. – М.: Машиностроение, 1982. – 328 с.

15. *Этингоф, М. И.* Приборы для измерения в процессе обработки / М. И. Этингоф. – М. : Машиностроение, 1982. – 50 с.

16. Контрольно - измерительные приборы и инструменты / С. А. Зайцев, А. Н. Толстов, Д. В. Меркулов. – М. : Академия, 2005. – 463с.