

Изобретение относится к станкостроению и может быть применено в различных областях машиностроения, где требуется точное и высококачественное шлифование

круглых наружных и внутренних поверхностей широкой номенклатуры деталей, например, в инструментальном производстве.

Известны универсальные круглошлифовальные станки фирмы "Тойода", имеющие поворотные верхние столы и поворотные передние бабки, но неповоротные шлифовальные бабки. Это делает невозможным шлифование торцов и крутых конусов длинных деталей из-за имеющей реальное ограничение длины перемещения шлифовальной бабки.

Некоторые модификации станков этой фирмы имеют откидное приспособление для внутреннего шлифования, однако, как показывает опыт использования устройств такого типа, качество шлифования и его производительность невысоки из-за неизбежно низкой жесткости и массы корпуса приспособления, который должен быть легким для удобства его подъема в нерабочую позицию, и наличия подвижного соединения с корпусом бабки для той же цели.

Контроль глубины подачи круга производится по лимбу, расположенному внизу в месте, трудном для обозрения - имеющему мелкие штрихи и цифры, что в совокупности затрудняет работу на станке.

В подшипниках шпинделя шлифовальной бабки станков фирмы "Тойода" высокая жесткость и постоянно положение оси шпинделя на рабочих скоростях вращения обеспечиваются гидродинамическими частями комбинированных подшипников с предварительно заданным наклоном рабочих поверхностей для создания условий образования устойчивых несущих масляных клиньев. Однако постоянный наклон указанных поверхностей жесткого подшипника требует предохранения их выходных кромок от смятия и износа в начале и при останове вращения шпинделя, когда несущая способность масляных клиньев достаточна для левитации шпинделя. С целью предохранения подшипника от порчи произведено его усложнение путем комбинирования с гидростатическим подшипником, воспринимающим нагрузку от силы тяжести и натяжения приводных ремней при медленно вращающемся шпинделе. Эта гидростатическая часть подшипника усложняет не только подшипник, но и весь станок, так как требует устройство для подачи смазочного масла под высоким давлением.

Гамма станков фирмы "Штудер" характеризуется наличием поворотных столов, поворотных передних и шлифовальных бабок, наличием (в отдельных модификациях) постоянно неподвижно установленного на задней бабке приспособления для алмазной правки круга с точной настройкой вылета алмаза с целью правки на фиксированное расстояние периферии круга от оси окончательно обработанной детали (размерная правка).

Некоторые модификации станков имеют приспособление для внутреннего шлифования. Однако шлифование всего торца длинной детали невозможно из-за необходимости использовать только основной шлифовальный круг, расположение которого не гарантирует данной операции.

Станки не имеют подвижной пиноли задней бабки в основном по причине применения постоянно установленного приспособления для размерной правки шлифовального круга, поэтому установка следующей обрабатываемой детали без перезакрепления бабки на столе станка (открепление, перегон бабки от детали, перегон к детали, закрепление бабки) невозможна.

К недостаткам можно отнести также расположение приспособления для правки сравнительно далеко от рабочей зоны, что не позволяет использовать это приспособление при шлифовании деталей большой длины, когда задняя бабка смещена вправо настолько, что правящий инструмент находится вне досягаемости кругом.

Станки фирмы "Омия" отличаются разнообразием применения подшипников шпинделей рабочих кругов, значительное место в которых занимают трех вкладышные гидродинамические подшипники с самоустанавливающимися вкладышами.

В качестве прототипа выбран станок фирмы "Келленбергер" типа U 600-125, содержащий станину с направляющими для перемещения стола, верхний поворотный стол, установленный на нижнем, поворотные направляющие для перемещения шлифовальной бабки, которая кроме того имеет подвижное сочленение корпуса для осуществления добавочного разворота.

Шпиндель шлифовального круга установлен с возможностью вращения в двух клиновых подшипниках скольжения, верхние вкладыши которых регулируются в радиальном направлении. Обмен масла в подшипниках обеспечивается отдельной установкой для подачи смазки. Наличие насосной установки и шлангов для подачи и слива масла усложняет конструкцию станка и затрудняет его эксплуатацию.

Задняя бабка имеет подпружиненную пиноль, установленную с натягом в шариковых опорах, и устройство для регулирования усилия нажима пиноли на обрабатываемую деталь.

Для возможности смещения пиноли в поперечном направлении относительно основания бабки с целью, например, компенсации износа основания, приводящего к нарушению цилиндричности шлифуемой в центрах детали, корпус бабки выполнен разрядным, а полученная таким образом отгибаемая часть корпуса смещается с помощью механизма, приводимого рукояткой.

Имеется гидравлический отвод пиноли задней бабки, повышающий удобство смены обрабатываемой детали

На задней бабке отсутствует устройство для правки шлифовальных кругов, что делает необходимым установку такого устройства на столе станка на время правки и приводит к излишним затратам времени.

Весьма полезным решением в конструкции прототипа является применение вспомогательного шлифовального круга меньших размеров, устанавливаемого на втором конце шпинделя шлифовальной бабки и используемого для точного шлифования торцов деталей, помещающихся на конкретном станке, и поверхностей с другим профилем.

На станках "Келленбергер" обеспечивается высокое качество шлифования. В частности, качественное шлифование отверстий обусловлено жесткой конструкцией узла для внутреннего шлифования, неподвижно закрепленного на шлифовальной бабке и практически представляющего одно целое с ней.

К недостаткам прототипа следует отнести неудобство визуального контроля глубины подачи круга по лимбу, расположенному внизу, в области, значительно удаленной от рабочей зоны станка, а также ремennую передачу привода кругов, не имеющую элементов самонатяжения и не демпфирующую колебаний усилия натяжения ремней. Не предусмотрено применение самонатяжных ремennых передач в приводах шлифовальных кругов, что затрудняет обслуживание станков и не способствует сохранению ремней. Кроме того, существующие самонатяжные передачи не обеспечивают постоянства усилия с достаточной точностью. Еще один недостаток

прототипа - невозможность осуществлять размерную правку круга при шлифовании деталей во всем диапазоне их длин, допустимых для станка, без нарушения его настройки.

Конструкция станка неоправданно усложнена. Все это, в конечном счете, снижает точность, производительность и надежность станка, требует больших эксплуатационных расходов.

В основу изобретения поставлена задача повышения точности, производительности и надежности станка, а также снижения издержек его эксплуатации путем повышения жесткости и виброустойчивости конструкции и снижения влияния погрешностей кинематических цепей станка, а также его упрощения.

Поставленная задача решается тем, что в предложенном универсальном круглошлифовальном станке, содержащем станину с верхним и нижним столами, на которых размещены с возможностью перестановки передняя поворотная и задняя бабки, шлифовальную бабку с приводом основного и вспомогательного кругов, выполненным в виде ременной передачи, устройство для правки шлифовальных кругов, а также механизм поперечных подач, согласно изобретению станок снабжен устройством цифровой индикации поперечной подачи шлифовальной бабки, датчик круговых перемещений которого кинематически связан с последним звеном привода подач, а подшипники, в которых установлен шпиндель основного и вспомогательного кругов, выполнены гидродинамическими с регулировочными фланцами и с наклонными несущими поверхностями, ограниченными выполненными на внутренних поверхностях подшипников пазами разной глубины, отстоящими друг от друга на 55 градусов в окружном направлении, причем на наружных поверхностях подшипников выполнены пересекающиеся друг другом кольцевые проточки и продольные пазы, а на указанных наружных поверхностях выполнены смещенные на 20 градусов в окружном направлении относительно выходных кромок несущих поверхностей выборки глубиной 0,0003 диаметра шпинделя с углом между образующими, ограничивающими соседние выборки, равным 60 градусам, при этом в регулировочных фланцах выполнены отверстия, соосные гнездам под фланцы в корпусе шлифовальной бабки, расположенным перпендикулярно оси подшипников и сопряженным с фланцами по переходной посадке без зазора, а рабочие участки шеек шпинделя выполнены с разнонаправленными многозаходными резьбами с заглубленным у основанием профилем, причем сами подшипники установлены с возможностью фиксации посредством введенных в станок и ввинченных в корпус болтов и упорных винтов, устройство для Правки шлифовальных кругов выполнено откидным и размещено на торце корпуса задней бабки, а ременная передача привода шпинделя Основного и вспомогательного круга выполнена самонатяжной с пластинчатым упругим элементом.

Все это обеспечивает возможность правки шлифовальных кругов без нарушения настройки станка при шлифовании деталей любой длины, разрешаемой станком. За счет введения устройства цифровой индикации (УЦИ) достигается достоверность отсчета величин поперечных подач. Кроме того, обеспечивается постоянство положения оси шпинделя шлифовальных кругов, а за счет резьб на шейках шпинделя исключается источник для обмена масла в подшипниках. За счет применения самонатяжной передачи в приводе шлифовальных кругов снижается износ ремней. В результате повышаются жесткость и виброустойчивость конструкции, уменьшаются погрешности кинематических цепей станка, упрощается его конструкция.

На фиг. 1 показан общий вид станка с обозначением основных узлов; на фиг. 2 - вид станка сверху с указанием стрелками направлений возможных перемещений узлов; на фиг. 3 - иллюстрируется способ размерной правки шлифовального круга; на фиг. 4 - главный разрез станка со схематическим изображением привода поперечных подач и с установкой датчика УЦИ; на фиг. 5 - разрез шлифовальной бабки по шпиндельному узлу; на фиг. 6 - разрез по стыку корпуса с крышкой и по хвостовику шпинделя; на фиг. 7 - внешний вид подшипника; на фиг. 8 - разрез подшипника по наиболее характерным для него элементам; на фиг. 9 - разрез подшипника по пазам, делающим возможной деформацию корпуса подшипника; на фиг. 10 - самонатяжная ременная передача.

На станине 1 (фиг. 1) установлен нижний стол 2 с возможностью продольного перемещения по направляющим станины на длину, соответствующую длине шлифования. На нижнем столе установлен поворотный стол 3, к верхним поверхностям которого крепятся с возможностью перестановки передняя бабка 4 и задняя бабка 5, а также принадлежности, обеспечивающие нормальную работу на станке (на фигурах не показаны).

На задней бабке закреплено устройство 6 для размерной правки круга, изображенное на фиг. 1 контурными линиями в нерабочей позиции и штрихпунктирными в позиции правки.

Задняя бабка имеет подпружиненную пиноль и элементы для поперечного смещения конического отверстия пиноли под центр с целью компенсации износа основания бабки.

Однако это достигается тем, что отверстие под центр выполнено эксцентрично по отношению к наружной поверхности пиноли. Пиноль проворачивается предусмотренным для этого механизмом, чем производится поперечное смещение отверстия в направлении шлифовального круга. Перемещение пиноли осуществляется в напряженных направляющих качения.

Шлифовальная бабка 7 на фиг. 1 показана в позиции шлифования основным (наибольшим) кругом. Она имеет привод подачи, осуществляемый механизмом, органы управления которого сосредоточены на передней панели 8.

Индикатор 9 устройства цифровой индикации (УЦИ) расположен на стойке, закрепленной на задней стенке станины, в месте, удобном для наблюдения в процессе работы.

На фиг. 2 показан вид станка сверху. Устройство 6 для правки круга изображено таким же образом, как и на фиг. 1. Направления возможных перемещений узлов станка и вращения его исполнительных органов показаны жирными стрелками.

На фиг. 3 наглядно показан способ размерной правки круга, в результате которой периферия заправленного круга совпадает с образующей цилиндра окончательно обработанной детали 10, в данном случае - цилиндрической оправки. Все промежуточные положения шлифовальной бабки возможны. На фиг. 4 показан главный разрез станка для более полного представления взаимной связи его узлов и положения датчика 12 УЦИ в кинематической цепи механизма подач. Этот датчик соединен с последним звеном 13 привода подач, что исключает влияние погрешностей предыдущих звеньев кинематической цепи механизма и делает достоверными результаты отсчета данным устройством.

Механизм подачи (кроме места присоединения датчика круговых перемещений УЦИ), имеющий как ручное, так и гидравлическое управление периодическими подачами, исполнительный элемент которого 14 представляет собой предварительно напряженную винтовую шариковую передачу, - традиционный.

Подшипники шпиндельного узла шлифовальной бабки (фиг. 5), передний 15 и задний 16, описаны вместе с элементами для обеспечения циркуляции в них смазочного масла. Радиальный подшипник 15 комбинирован с осевым (упорным) подшипником, препятствующим осевому смещению шпинделя. Конструкция упорного подшипника обычная.

Гидродинамические подшипники имеют по три несущие поверхности. Другое количество несущих поверхностей для подшипника такой конструкции и с таким способом регулировки невозможно.

В подшипниках 15 и 16 установлен шпиндель 17, имеющий на своих рабочих шейках участки 18 и 19 с многозаходной, соответственно правой и левой резьбой со специальным, закругленным у основания, профилем, которые при вращении шпинделя выполняют функции шнеков для прогона масла вдоль подшипников.

Закругление профиля необходимо для достижения минимальной площади трения масла на поверхностях профиля при максимальном поперечном его сечении.

Для регулирования радиального зазора в подшипниках, который в свободно смонтированном состоянии подшипника составляет 0,2 мм (фиг. 8, d - диаметр шпинделя) служат регулировочные фланцы 20, сопрягаемые с корпусом по переходной посадке без зазора и расточены заодно с гнездами под подшипники. Положение фланцев 20 в направлении уменьшения зазоров в подшипниках определяется степенью завинчивания болтов 21. Для фиксации фланцев в отрегулированном положении служат винты 22, упирающиеся в корпус. Для удерживания подшипников в осевом направлении и от проворотов служат винты 23, входящие своими стержнями в углубления на подшипниках.

Несущие поверхности подшипников расположены между пазами 24 и 27, 25 и 27 и пазами 26 и 27, расположенными относительно первых в направлении вращения шпинделя (показано изогнутой стрелкой). Протяженность несущих поверхностей в направлении вращения шпинделя - 55 градусов.

Пазы 24, 25 и 26 служат для повышения податливости корпуса подшипника с целью его регулировки и для обеспечения потока масла через подшипник, создаваемого резьбовыми участками на шейках шпинделя. При этом пазы 24 и 25 имеют меньшую глубину, а паз 26 - большую. Этим достигается равномерная и направленная деформация подшипника при его регулировке.

Пазы 28 (3 штуки) и пазы 29 (3 штуки) служат также для повышения податливости корпуса подшипника и для возврата масла в резервуар через соответствующую проточку (34) на корпусе подшипника и отверстие в корпусе бабки (на чертежах не показано).

Для обеспечения принудительного наклона несущих поверхностей на заданную величину служат выборки 30, расположенные на деформируемых частях подшипников Y (фигуры 7, 8 и 9). На фиг. 6 эти выборки изображены утрированно в увеличенном масштабе. Фактически их глубина составляет $0.0003 d$ (d - диаметр шпинделя). Смещение выборок относительно выходных кромок hO несущих поверхностей составляет 20 градусов. В начале регулирования зазора в подшипнике кромки 31, ограничивающие выборки 30 в направлении вращения шпинделя, смещаются к оси шпинделя, образуя этим наклоны несущих поверхностей для создания клиновых зазоров между шпинделем и несущими поверхностями подшипника. Когда указанное смещение достигнет значения, при котором в контакте с регулировочными фланцами 20 или с гнездом в корпусе бабки окажутся кромки 32, дальнейшее перемещение фланца 20 приведет к уменьшению зазоров в подшипнике.

Таким образом, отрегулированный подшипник имеет наклоненные к шейке шпинделя в направлении его вращения несущие поверхности 33, а все его места контактов с корпусом и регулировочным фланцем напряжены. Это достигается без деталей-посредников, что обуславливает высокую жесткость шпиндельного узла.

Фиксированный наклон несущих поверхностей подшипников при вращении шпинделя способствует образованию устойчивых несущих масляных клиньев, что позволяет получать достаточно высокую жесткость шпиндельного узла при больших, чем обычно, радиальных зазорах в подшипниках. Это дает несколько преимуществ, основные из которых следующие: меньшие потери на трение в масляных клиньях (меньше нагрев); можно применять масло нормальной вязкости для смазки подшипников; нет надобности применения устройств для весьма тонкой очистки масла.

Жестко фиксированный наклон несущих поверхностей подшипников требует предохранения из выходных кромок (наиболее близко расположенных к шейке шпинделя) от повреждения при малых скоростях вращения шпинделя, когда давление масла в несущих клиньях недостаточно для создания устойчивых масляных пленок между подшипником и шпинделем. С целью предотвращения указанного повреждения используется скольжение шеек шпинделя по мало деформированной внутренней поверхности, принадлежащей части подшипника Z, (фигуры 5, 7, 8 и 9). В этой части, несмотря на ослабляющую проточку 34 и пазы 35 (количество пазов 3 штуки и они расположены равномерно по окружности), неизбежна деформация при регулировке подшипника сжатием его основной части Y. Эта деформация приводит к образованию вжимов в направлении оси подшипника на части подшипника Z. В результате появляются новые несущие поверхности, напоминающие собой несущие поверхности подшипника "Макензен" (см. общетехнические источн.). Имея достаточную площадь контакта со шпинделем, эти поверхности устойчивы от повреждений.

Как показано на фигуре 7, мало деформируемая часть Z имеет меньший диаметр наружной поверхности (на 0,2 мм). Это нужно для того, чтобы при сжатии от регулировки основной части Y не возникали перекосы в подшипниках, находящихся в гнездах корпуса бабки практически по всей своей длине, что необходимо для коммутации потоков масла, засасываемого через трубу, подведенную к отверстию 36, конец которой удален от места расположения подшипников с целью вовлечения в обмен всего масла в резервуаре бабки.

Для предотвращения вытекания масла из подшипниковых полостей служат торцевые подпружиненные металлические уплотнения скольжения 37 и 38, обладающие минимальными потерями на трение.

Описанные подшипники для предлагаемого станка - мера вынужденная, так как они позволяют упростить конструкцию станка и сделать его эксплуатацию более удобной. Аргументы следующие: в связи с незначительным образованием тепла в подшипниках возможно не применять специальную насосную установку для обмена в них масла и обходиться количеством масла, находящимся в корпусе бабки; исключаются шланги для подачи и возврата масла, подключаемые к бабке, что облегчает управление бабкой, которая должна

обладать большой подвижностью (разнообразные развороты, перемещения на большую длину); повышается качество шлифования, что необходимо для станка данного назначения.

Самонатяжная ременная передача привода шпинделя основного и вспомогательного кругов представлена на фиг. 10.

Двигатель 40, на валу которого установлен шкив 41, клиновыми ремнями 42 приводит во вращение шкив 43, установленный на шпинделе. Двигатель установлен на плите 44, соединенной посредством шарнира 45 с неподвижной плитой 46.

Сила упругого элемента 47, представляющего собой изогнутую пластинчатую пружину, создает натяжение передачи и уравнивает силу тяжести, действующую на двигатель, шкив и подмоторную плиту.

Траектория перемещения оси ведущего шкива (то же - и оси двигателя), которая почти совпадает с линией, соединяющей центры шкивов, обозначена стрелкой 48.

Для обеспечения независимости усилия натяжения передачи от удлинения ремней или от применения сменного шкива с другим диаметром, механизм натяжения должен обладать следующим соотношением элементов: жесткость упругого элемента

$J = 0,133 P1/\text{см}$, где J - жесткость в кгс на 1 см деформации;

$P1$ - необходимое усилие упругого элемента в наименее деформированном рабочем состоянии; проекция расстояния от оси двигателя до оси шарнира

$L1 = H$, где H - расстояние по вертикали от шарнира до оси двигателя при горизонтальном положении подмоторной плиты; расстояние от оси шарнира до оси двигателя

$l = 1.41H$;

проекция на горизонталь радиуса-вектора 1 (расстояния от шарнира до оси двигателя)

$L2 = 1 \cos (45 + @) = 1,41 H \cos (45 + @)$. где $@$ - полный угол хода механизма натяжения;

длина плоской деформируемой части упругого элемента

$L3 = 0,77 H$;

полная деформация упругого элемента

$f = 1.1H$.

В условиях вышеуказанных соотношений элементов передачи отклонение максимального усилия натяжения ремней от минимального, приведенного к валу двигателя, составляет около 3-х процентов при угле $@ = 15$ градусам.

На фигуре 10 приведены углы и линейные величины, используемые при расчете силовой характеристики механизма натяжения;

$@ = 0$ - угол, образуемый плоскими участками упругого элемента при максимальной его деформации;

$@'$ - угол, образуемый теми же участками при наименьшем рабочем усилии упругого элемента;

$@ = 15$ - угол наибольшего перемещения оси двигателя при натяжении передачи от точки 0 до точки 01;

h - расстояние между концами максимально деформированного упругого элемента.

Станок работает следующим образом.

В рабочей зоне расположены передняя и задняя бабки, при этом передняя бабка Поворотная, имеет вращающийся шпиндель, что используется при шлифовании деталей, зажимаемых в патроне, закрепляемом на шпинделе (на чертежах не показан), или вращающуюся при остановленном шпинделе планшайбу, приводящую во вращение деталь, шлифуемую в центрах.

Шлифовальная бабка поворотная в двух параллельных горизонтальных плоскостях. При этом поворот в плоскости, содержащей салазки с направляющими для шлифовальной бабки, изменяет направление перемещения бабки, а повороте другой плоскости - изменяет положение шлифовальных кругов по отношению к направлению перемещения (подачи) шлифовальной бабки.

В рабочей зоне может находиться только один из трех шлифовальных кругов, каждый из которых предназначен для определенных операций. В связи с очевидной возможностью выполнения операций каждым из кругов и наличием пояснений в материалах по аналогам более подробного описания их применения не требуется.

Новым для рабочей зоны является применение устройства 6 для правки кругов, располагающегося в рабочей зоне и на время правки закрепляемого на линии центров. Устройство выполнено откидным, и для установки его в рабочую позицию проворачивается в направлении изогнутой стрелки, Изображенной на фиг. 1. Настройка положения инструмента правки производится в направлении стрелки, изображенной на фиг. 3 с помощью микрометрического винта, принадлежащего устройству (на чертеже не показан, так как новизной не обладает).

Если шлифование производится в центрах, то правка выполняется до установки детали. После правки устройство открепляется и переводится в нерабочую позицию в направлении, обратном показанному стрелкой на фиг. 1.

Если же шлифование производится в патроне, то устройство находится в рабочей позиции постоянно.

Датчик круговых перемещений УЦИ соединен с последним звеном кинематической цепи привода подачи. Благодаря этому отсчет перемещения с помощью датчика получается достоверным, так как угол поворота винта исполнительного механизма строго соответствует числу импульсов, выдаваемых датчиком при соответствующем угле поворота, а кинематические погрешности всех предыдущих звеньев механизма подачи этого отсчета не искажают.

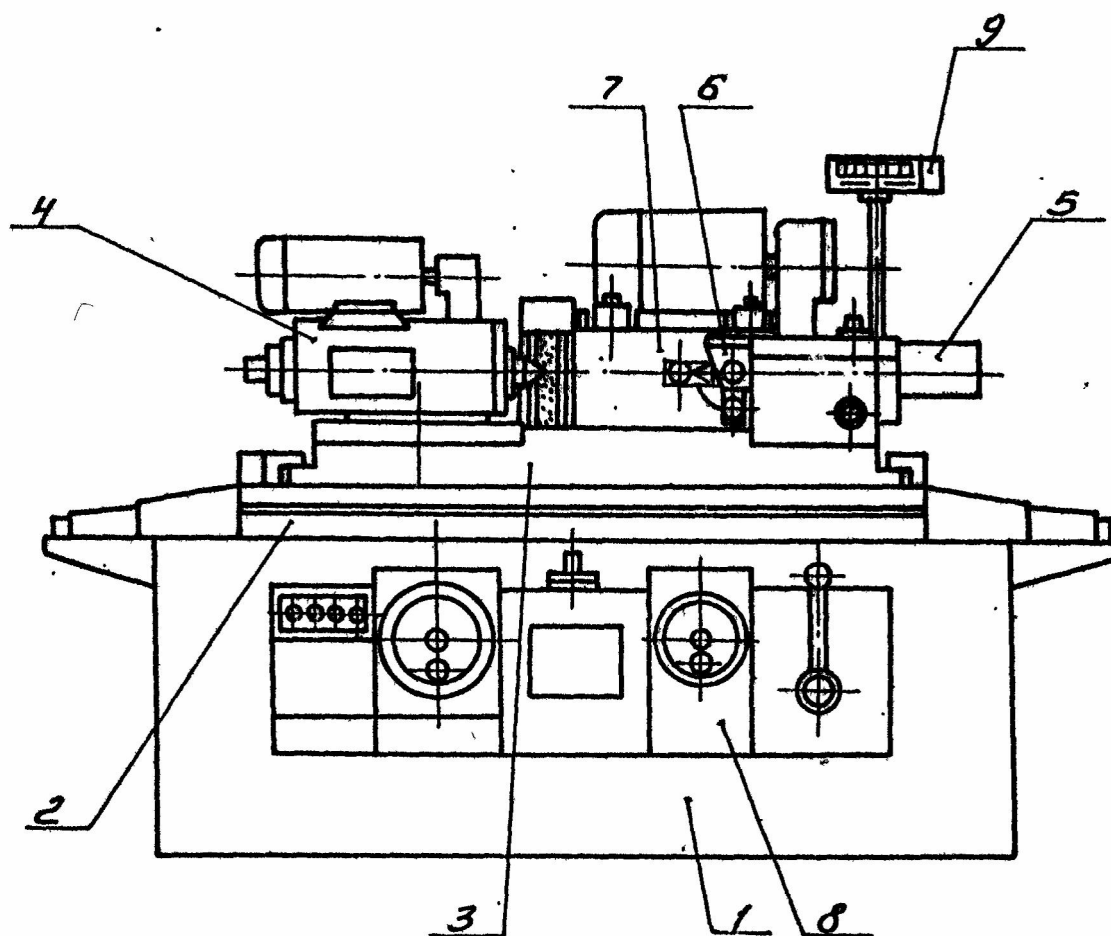
Шпиндельный узел основного и вспомогательных кругов работает следующим образом.

Благодаря принудительному наклону несущих поверхностей подшипников в направлении вращения шпинделя имеются улучшенные условия для образования несущих масляных клиньев. Из-за указанного фиксированного наклона подшипники нереверсивные, что для шлифовального станка не имеет значения, так как круги должны вращаться только в одном направлении.

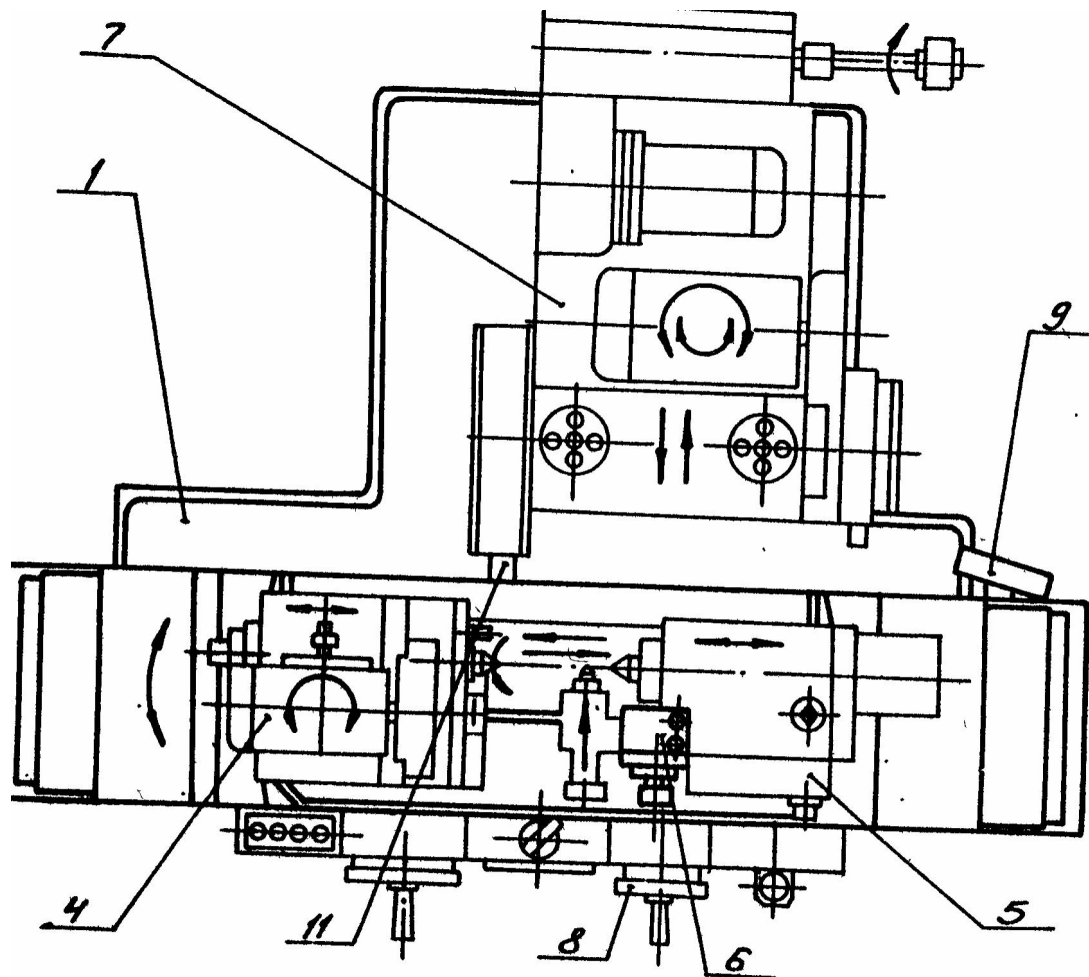
При разработке самонатяжной ременной передачи преследовались цели: сохранение номинального натяжения ремней во всем диапазоне положения ведущего звена (оно же подвижное при натяжении); обеспечение демпфирования пульсаций усилия натяжения, передаваемых на ведомое звено (шкив, установленный на шпинделе).

Первое достигается тем, что упругий элемент механизма натяжения имеет пологую характеристику (малую жесткость), а наклон этой характеристики практически полностью компенсируется следующим: при увеличении наклона подmotorной плиты относительно горизонтальной плоскости центр тяжести наклоняющейся системы (не) - двигатель, шкив и подmotorная плита - смещается относительно шарнира, и проекция расстояния от шарнира до центра тяжести уменьшается. Это приводит к уменьшению момента, создаваемого силой тяжести наклоняющейся системы относительно шарнира и, следовательно, на уравнивание указанной системы требуется меньшее усилие упругого элемента; распрямляясь, упругий элемент меняет направление своей деформации. Это приводит к возрастанию его жесткости в новом направлении деформации, что снижает эффект снижения усилия в указанном направлении; при наибольшей деформации упругого элемента вектор расстояния 1 от шарнира до центра ведущего шкива образует прямой угол с линией, соединяющей центры шкивов. С изменением наклона подmotorной плиты (уменьшается деформация и усилие упругого элемента, но уменьшается и угол указанного вектора с линией), усилие натяжения сохраняется, так как оно обратнопропорционально синусу указанного угла.

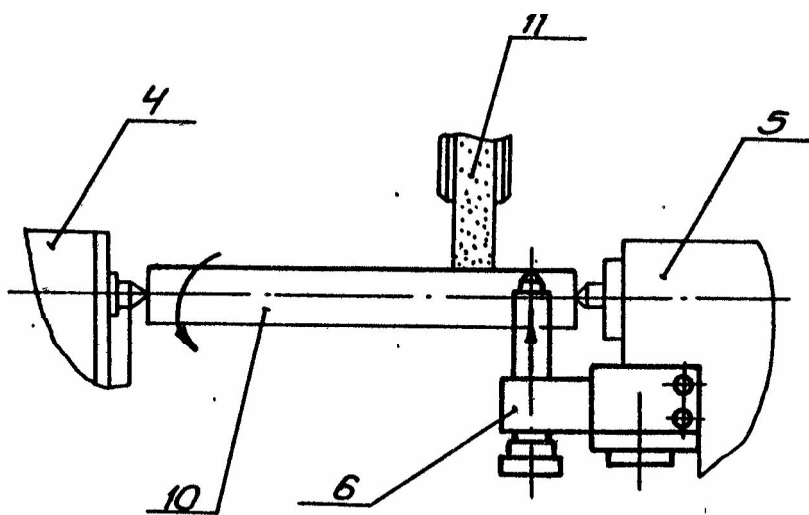
Демпфирующая способность заключается в том, что соединение наклоняющейся системы осуществлено с бабкой шарниром, следовательно, при пульсирующем усилии в приводных ремнях (например, при неравномерной толщине ремней или биении ручьев шкивов) пульсация поперечной силы на шкивах снижается за счет упруго податливого звена (шарнирно закрепленного привода), и поперечные переменные нагрузки на шпиндель снижаются.



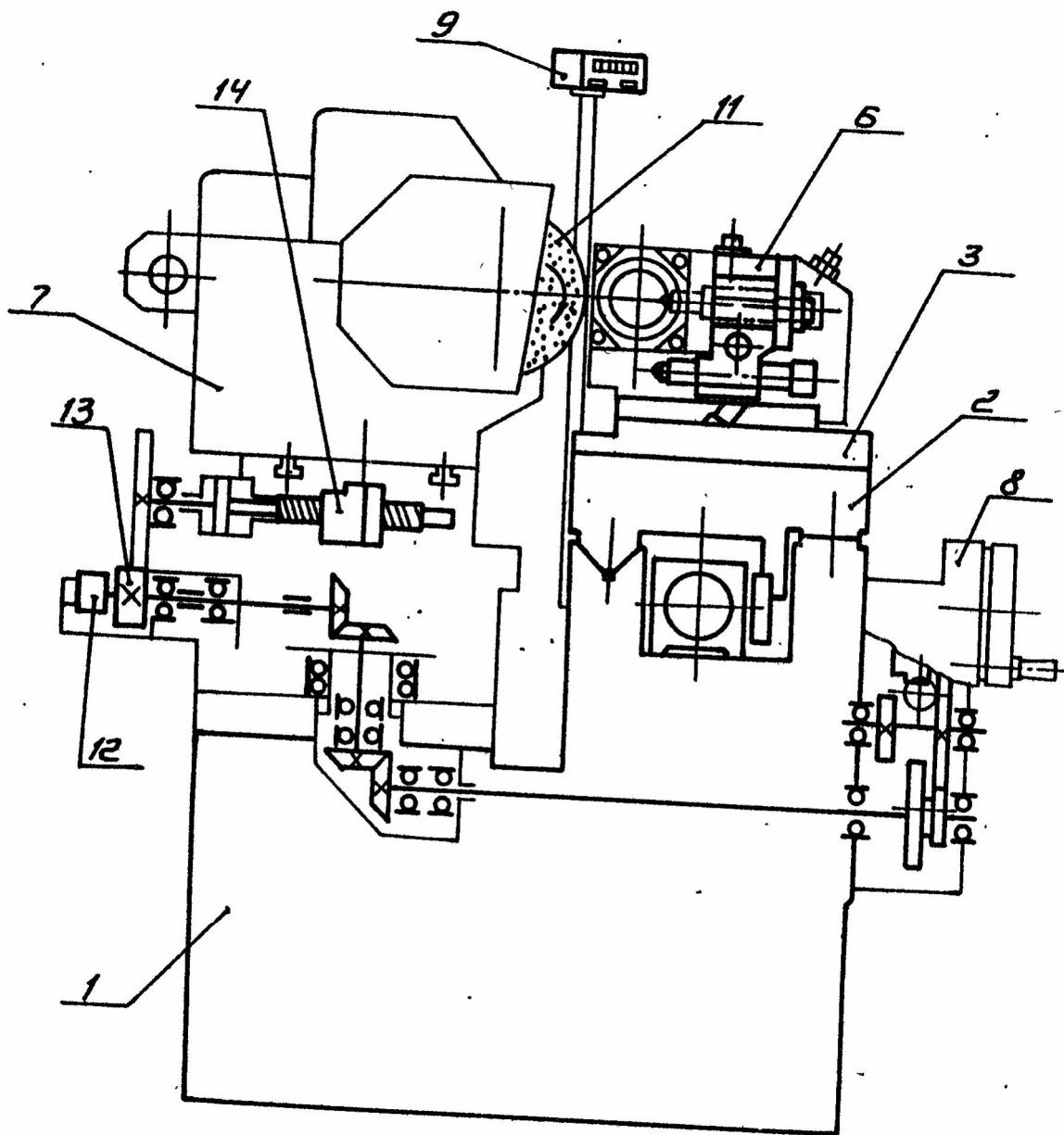
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

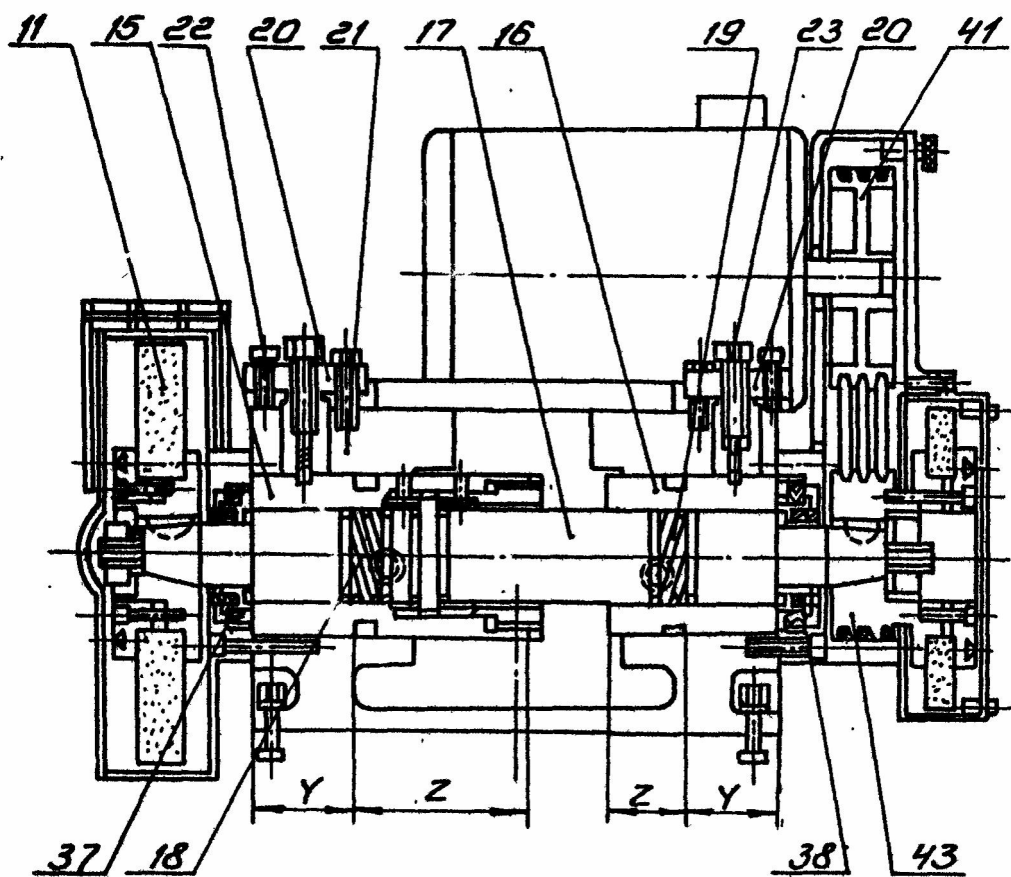
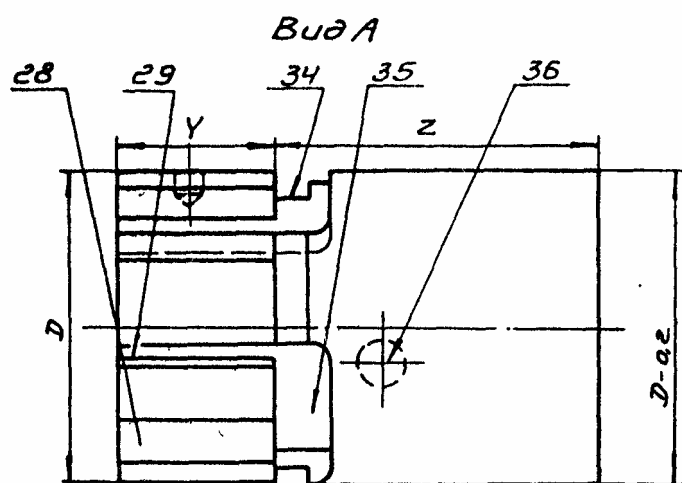
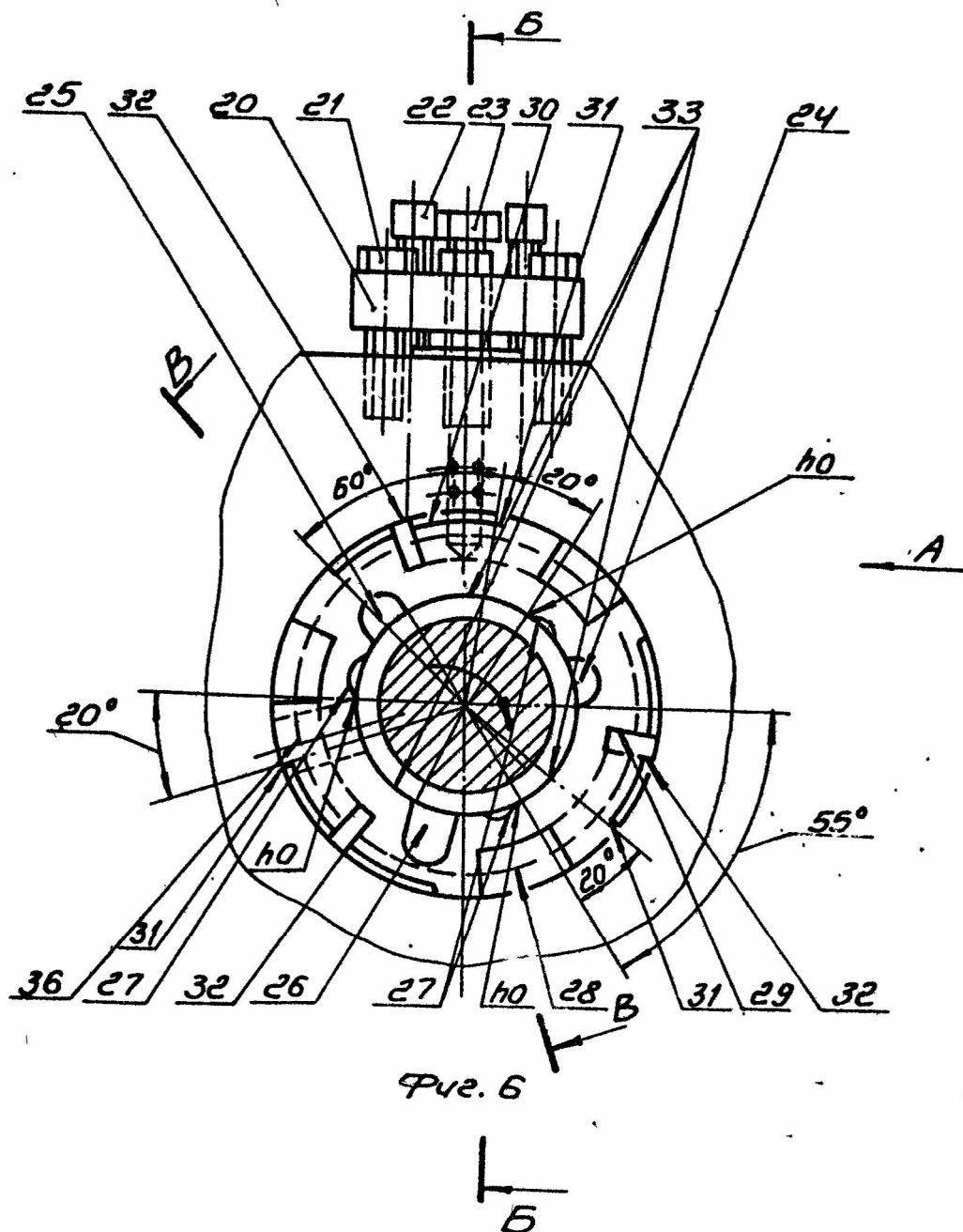
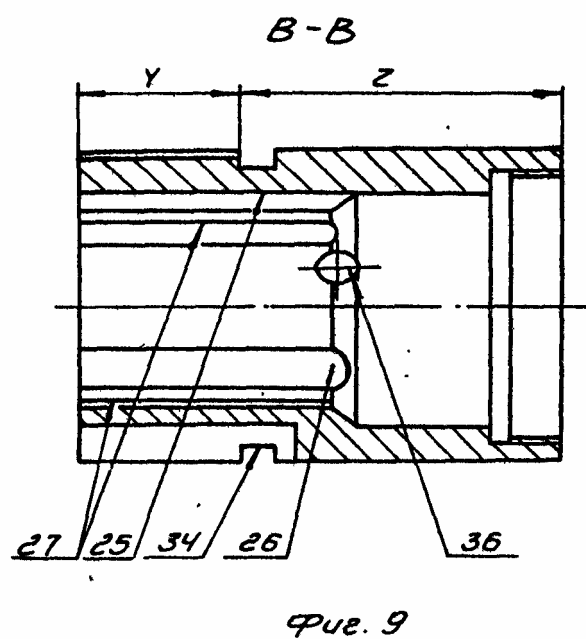
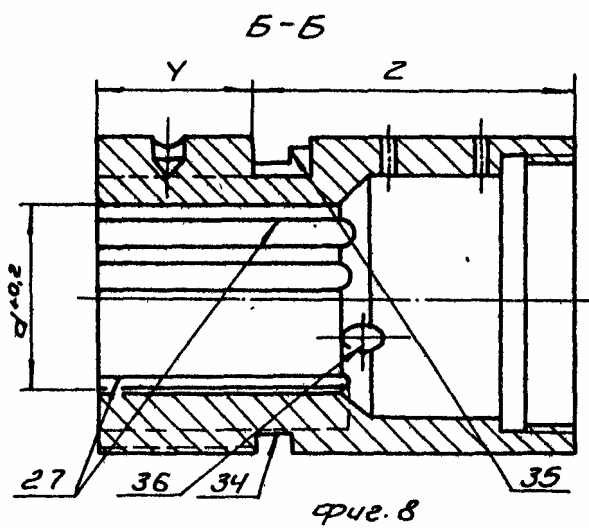
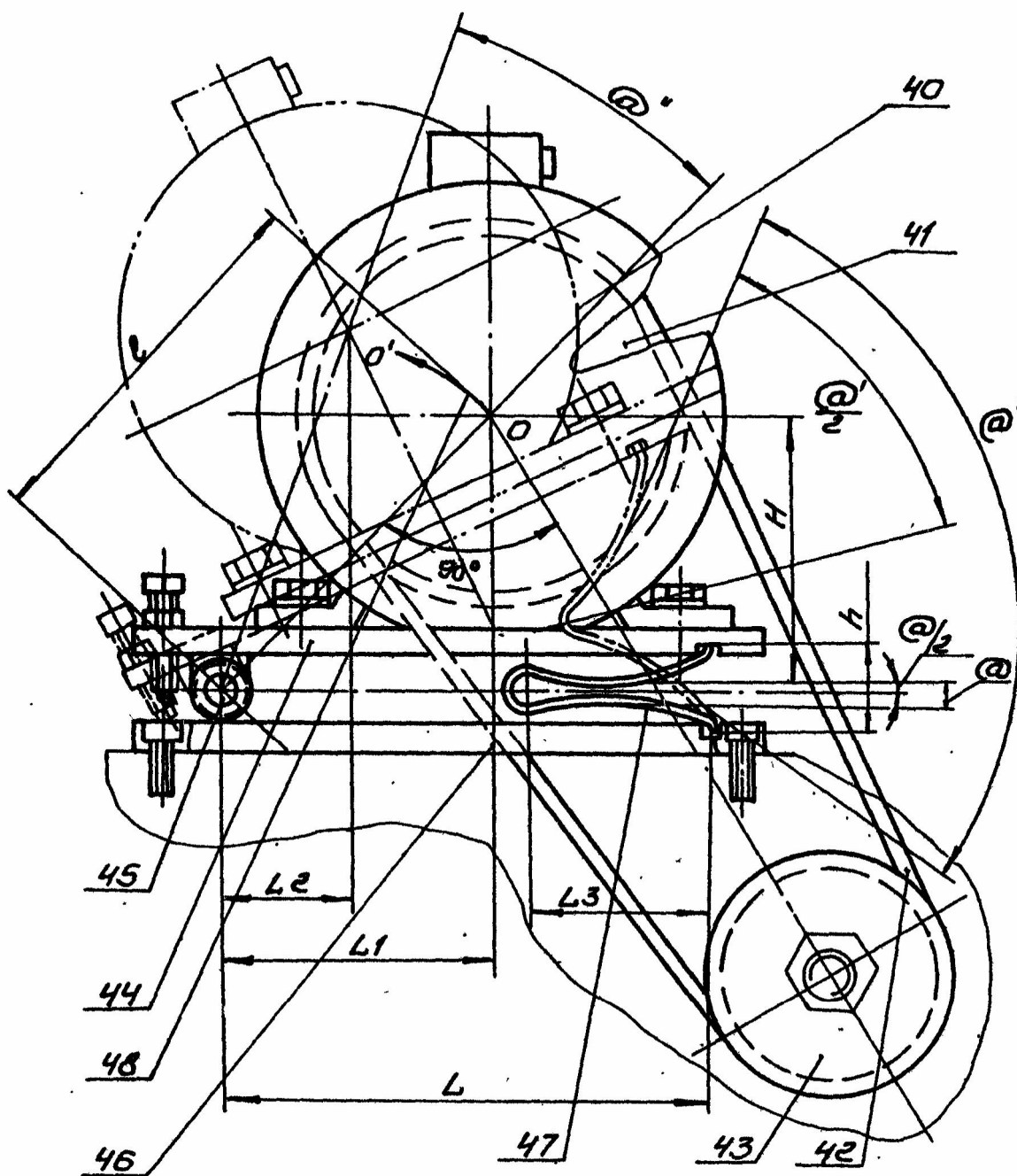


Рис. 5







Фиг. 10