

Изобретение относится к обработке металлов резанием и может быть использовано для фрезерования многогранных отверстий невысокого класса точности.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому является выбранный в качестве прототипа способ фрезерования, заложенный в устройстве для обработки внутренних граневых поверхностей, включающий вращающийся вокруг своей оси трехгранный инструмент, который совершает планетарное движение вокруг центра четырехгранного отверстия. Треугольное сечение концевой фрезы, устанавливаемой посредством плавающего патрона в шпинделе инструментальной головки, представляет собой эксцентрик постоянного диаметра. Расстояния между любыми противоположными точками этого эксцентрика равны между собой. Сечение эксцентрика очерчено тремя дугами круга, центры которых расположены в вершинах правильного треугольника и радиус которых равен стороне требуемого квадрата. Все точки режущих лезвий фрезы при ее вращении описывают квадраты, формируя контуры отверстия.

Сходными признаками прототипа и заявляемого изобретения является наличие трехгранного инструмента и предварительно просверленного отверстия. Инструменту сообщают вращение вокруг собственной оси и осевую подачу, а детали сообщают перемещение относительно инструмента.

Недостатком описанного способа является то, что практически получается отверстие с несколько округлыми углами, и для достижения точной формы многогранного отверстия обычно прибегают к последующей пробивке их калибровочным дорном.

Неудобства этого способа заключаются в том, что для обработки отверстия новой конфигурации и размера необходимо предварительно изготовить граненую кондукторную втулку с соответствующим сечением отверстия. Этот фактор снижает производительность труда. Кроме того, - скорость резания при таком способе работы ограничивается возникновением сильных ударов, вызываемых мгновенной переменной направлением поперечных усилий сверла, что при больших скоростях ведет к быстрому износу инструмента и кондукторной втулки.

Указанные недостатки обусловлены конфигурацией режущего инструмента и устройством для реализации способа.

Повысить точность реального контура многогранного отверстия за счет проработки угловых переходов по данному способу невозможно, поскольку грани инструмента в сечении представляют собой три дуги круга, центры которых расположены в вершинах правильного треугольника. При пересечении грани образуют угол равный 120° . Обработать таким инструментом угол в 90° квадратного отверстия практически невозможно.

Плавающий патрон, как устройство для реализации способа, предоставляет возможность инструменту совершать поперечные перемещения, а кондукторная втулка выступает в качестве ограничителя этих перемещений. Взаимодействие инструмента и втулки снижает стойкость инструмента и долговечность втулки.

В основу изобретения поставлена задача создания такого способа фрезерования многогранных отверстий, при котором с помощью установленных зависимостей между вращением инструмента новой конструкции и перемещением относительно него детали по заданной траектории обеспечивается получение желаемого контура многогранного отверстия с четко обозначенными угловыми переходами и за счет этого повышается точность реального контура многогранного отверстия.

Фрезерование указанных отверстий осуществляется более простым и удобным путем, чем приведено в прототипе, исключая применение дополнительной оснастки и устраняющим операцию последующего дорнования.

Желаемый контур многогранного отверстия достигается установкой нужного направления фрезерования, угла четырехугольной траектории перемещения детали относительно инструмента и величины подачи инструмента относительно детали на один градус его поворота.

Проработка угловых переходов отверстия достигается за счет использования специального инструмента, грани которого выполнены в виде сторон равностороннего треугольника длиной, равной длине грани обрабатываемого отверстия.

Поставленная задача решается тем, что в способе фрезерования многогранных отверстий, при котором трехгранному инструменту сообщают вращение вокруг собственной оси и осевую подачу, а в детали предварительно сверлят отверстие по центру и сообщают ей перемещение относительно инструмента, согласно изобретению, грани инструмента выполняют в виде сторон равностороннего треугольника длиной, равной длине грани обрабатываемого отверстия, а направление вращения инструмента и угол его поворота согласовывают с перемещением детали, траекторию которого назначают в виде равностороннего четырехугольника, при этом диаметр отверстия в детали выбирают равным наибольшему размеру зоны, неперекрываемой инструментом при обработке.

При обработке квадратного отверстия направление вращения инструмента выбирают из условия осуществления попутного фрезерования, а траекторию перемещения детали назначают в виде квадрата и согласовывают угол поворота инструмента с перемещением детали по зависимости $S_0 = K \cdot a$, где S_0 - подача детали на 1° поворота инструмента, мм/град; a - сторона отверстия, равная длине грани инструмента, мм; K - коэффициент согласования, показывающий, на какую долю от длины грани переместится деталь во время поворота инструмента на один градус, $1/\text{град} = 0,009993$.

При обработке прямоугольного отверстия направление вращения инструмента выбирают из условия осуществления попутного фрезерования, траекторию перемещения детали назначают в виде ромба с острым углом α , равным

$$\alpha = 2 \arctg \left(\frac{\frac{0,4226}{b} - 0,5774}{a} \right), a$$

угол поворота инструмента и перемещение детали согласовывают по зависимости

$$S_0 = \frac{1}{60} \sqrt{(b-a)(b-0,1547a)},$$

где a - меньшая сторона отверстия, равная длине грани фрезы, мм, b - большая сторона отверстия, мм.

При обработке правильного восьмигранного отверстия, направление вращения инструмента выбирают из условия осуществления попутного фрезерования, траекторию перемещения детали назначают в виде квадрата, при этом угол поворота инструмента и перемещение детали согласовывают по зависимости $S_0 = K \cdot a$, где $K = 0,04329$ 1/град, а диаметр отверстия D в детали выбирают равным $D = 0,7a$.

При обработке правильного шестигранного отверстия, направление вращения инструмента выбирают из условия встречного фрезерования, траекторию перемещения детали назначают в виде ромба с острым углом $\alpha = 72,4^\circ$, а угол поворота инструмента и перемещение детали согласовывают по зависимости $S_0 = K \cdot a$, где $K = 0,02385$ 1/град.

Достижимый технический результат выражается в повышении точности реального контура желаемого многогранного отверстия за счет проработки угловых переходов.

Сечение фрезы в режущей части имеет равносторонний треугольник с одинаковыми углами равными 60° . Это позволит обрабатывать многогранные отверстия с минимальными углами между гранями в 60° и повысить степень их проработки.

Вращение фрезы в заданном направлении, связанное с перемещением детали, необходимо для формирования контура отверстия. Деталь и фреза совершают относительно друг друга согласованные движения. В формировании контура отверстия принимают участие три режущие кромки, расположенные по граням.

Чтобы описать контур отверстия фрезе достаточно повернуться на 120° , а детали переместиться по заданной траектории. Фреза может совершать как попутное фрезерование, - как бы обкатывание по периметру отверстия, так и встречное фрезерование при противоположном вращении фрезы. При разном направлении вращения фрезы получатся разные конфигурации отверстий - отличающиеся количеством граней (см. табл. 1). Так же при изменении траектории перемещения детали получатся отверстия иной конфигурации и количества граней. При фрезеровании квадратных, прямоугольных и правильных шестигранных и восьмигранных отверстий траектория перемещения детали относительно инструмента представляет собой равносторонний четырехугольник с различными углами - это квадрат либо ромб. Во всех случаях длина граней правильных многогранных отверстий и меньшая сторона прямоугольного отверстия равняются длине грани фрезы.

При обработке некоторых многогранных отверстий в центре образуется зона, необрабатываемая фрезой. Например, при обработке восьмигранного отверстия в центре образуется необрабатываемая зона, зависящая от размеров граней отверстия. Для обработки этого участка предварительно сверлят отверстие на глубину обработки. В других случаях таких зон не образуется, но просверленное отверстие может облегчить работу трехгранной фрезой.

Зависимость $S = K \cdot a = 0,009993a$ получается из следующих соображений. Полный контур квадратного отверстия (фиг. 1) образуется при повороте фрезы на 120° совместно с подачей детали. Первая грань AB' квадрата $AB'MC$ образуется при повороте по стрелке инструмента ABC на 30° и его перемещении по линии OO' , из точки O в точку O' (или перемещение детали по линии $O'O$ из т. O' в точку O - что то же самое. Здесь и далее для упрощения рассматриваем перемещение инструмента с одновременным его вращением при неизменном положении детали). Величина перемещения зависит от размеров отверстия. Сторона квадрата a равна боковой грани фрезы AC . Для нахождения длины хода по диагонали OO' предварительно найдем величины продольного и поперечного перемещений OH и HO' , $OH = HE - OE = a/2 - OE$ (1); Точка O является центром инструмента, треугольника ABC ;

$$OE = AE \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = \frac{a}{2} \operatorname{tg} 30^\circ \quad (2).$$

Подставим значение OE в выражение (1)

$$OH = \frac{a}{2} - \frac{a}{2} \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = \frac{a}{2} (1 - \operatorname{tg} 30^\circ) = \\ = \frac{a}{2} (1 - 0,5774) = a \cdot 0,2113$$

$$m = 0,2113a; \quad OH = HO' = 0,2113a;$$

$$m = n = 0,2113a.$$

Тогда продольная и поперечная подача на 1° поворота инструмента составит:

$$S_{1,2} = \frac{0,2113a}{30^\circ} = 0,007043a.$$

Длина хода l по диагонали OO' составит

$$l = \sqrt{(OH)^2 + (HO')^2} = \\ = \sqrt{(0,2113a)^2 + (0,2113a)^2} = 0,2988 a.$$

Подача S_0 по диагонали на 1° поворота фрезы составит:

$$S_0 = 0,2988a : 30^\circ = 0,009993a.$$

Последующие повороты фрезы на 30° и изменения траектории детали на 90° образуют новые грани отверстия.

При обработке прямоугольного отверстия длиной b и шириной a (фиг. 2) величины продольного и поперечного перемещений OH и HO' при повороте фрезы на 30° найдутся из соотношений:

$$OH = \frac{b}{2} - OE, \text{ из } \Phi(2) \quad OE = \frac{a}{2} \cdot \operatorname{tg} 30^\circ.$$

$$OH = \frac{b}{2} - \frac{a}{2} \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = \frac{b}{2} - 0,2887a,$$

$$m = \frac{b}{2} - 0,2887a.$$

Продольная подача на один градус поворота фрезы:

$$S_1 = \frac{b}{60} - 0,009623a.$$

Поперечное перемещение $HO' = DH - DO'$, так как $DO' = OE$ см. (2), а $OE = \frac{a}{2} \cdot \operatorname{tg} 30^\circ$

$$HO' = \frac{a}{2} - \frac{a}{2} \operatorname{tg} 30^\circ = 0,2113a, \text{ а } n = 0,2113;$$

Поперечная подача на 1° поворота фрезы

$$S_2 = \frac{0,2113a}{30} = 0,007045a;$$

Длина хода по диагонали OO' составит

$$\begin{aligned} OO' &= \sqrt{(OH)^2 + (HO')^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{b}{2} - 0,2887a\right)^2 + (0,2113a)^2} = \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{(b-a) \cdot (b-0,1547a)}; \end{aligned}$$

Подача S_o по диагонали OO' на 1° поворота фрезы составит:

$$\begin{aligned} S_o &= \frac{1}{60} \sqrt{(b-a)(b-0,1547a)} \text{ при } \frac{b}{a} = r \\ S_o &= \frac{a}{60} \sqrt{(r-0,5774)^2 + 0,1786} \end{aligned}$$

при $r = 1$ получим значение величины подачи для квадрата.

В приведенных расчетах подач для прямоугольного отверстия предполагается, что длина грани фрезы равна ширине отверстия a .

Угол поворота траектории α при обработке прямоугольного отверстия:

$$\begin{aligned} \frac{O'H}{OH} &= \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad O'H = DH - DO'; \quad DH = \frac{a}{2} \\ DO' &= OE = \frac{a}{2} \operatorname{tg} 30^\circ; \quad O'H = \frac{a}{2} - \frac{a}{2} \operatorname{tg} 30^\circ \\ &= \\ &= \frac{a}{2} (1 - \operatorname{tg} 30^\circ) \\ OH &= \frac{b}{2} - \frac{a}{2} \operatorname{tg} 30^\circ = \frac{a}{2} \left(\frac{b}{a} - \operatorname{tg} 30^\circ \right) \\ \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} &= \frac{\frac{a}{2} (1 - \operatorname{tg} 30^\circ)}{\frac{a}{2} \left(\frac{b}{a} - \operatorname{tg} 30^\circ \right)} = \frac{1 - \operatorname{tg} 30^\circ}{\frac{b}{a} - \operatorname{tg} 30^\circ} = \\ &= \frac{1 - 0,5774}{\frac{b}{a} - 0,5774} = \frac{0,4226}{\frac{b}{a} - 0,5774} \\ \frac{\alpha}{2} &= \arctg \left(\frac{0,4226}{\frac{b}{a} - 0,5774} \right); \\ \alpha &= 2 \arctg \left(\frac{0,4226}{\frac{b}{a} - 0,5774} \right) \\ \text{при } \frac{b}{a} = r \text{ получим } \alpha &= 2 \arctg \left(\frac{0,4226}{r - 0,5774} \right) \end{aligned}$$

При получении восьмигранного отверстия (см. фиг. 3) продольное и поперечное перемещения OH и HO' с поворотом фрезы на 30° будут равны: $OH = EH - OE$; $OE = \frac{a}{2} \operatorname{tg} 30^\circ$

$$\frac{EH}{EC} = \operatorname{tg} \beta; EC = \frac{a}{2}; \beta = \frac{180^\circ \cdot 8 - 360}{16} = 67,5^\circ$$

$$EH = \frac{a}{2} \cdot \operatorname{tg} 67,5^\circ; OH = \frac{a}{2} \operatorname{tg} 67,5^\circ - \frac{a}{2} \operatorname{tg} 30^\circ = \frac{a}{2} (2,414 - 0,5774) = 0,9183 a = m = n.$$

Подача на 1° поворота фрезы составит:

$$S_{1,2} = 0,09183a:30 = 0,003061 \cdot a$$

Длина хода i по диагонали OO' составит:

$$I = 0,9183 \cdot \sqrt{2} = 1,29866 \cdot a$$

Подача по диагонали S_0 на 1° поворота фрезы:

$$S_0 = 1,29866a:30 = 0,0432886a.$$

Достаточный диаметр предварительного отверстия для устранения необрабатываемой зоны будет равен размеру этой зоны BD .

$$BD = 2(EH - BE); EH = \frac{a}{2} \cdot \operatorname{tg} 67,5^\circ = \frac{a}{2} \cdot 2,41; BE = \frac{a}{2} \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = \frac{a}{2} \cdot 1,73$$

$$BD = 2\left(\frac{a}{2} \cdot 2,41 - \frac{a}{2} \cdot 1,73\right) = a \cdot 0,68 = 0,7a$$

При получении шестигранного отверстия (см. фиг. 4) продольное перемещение m при повороте фрезы на 30° будет равно (фреза совершает встречное фрезерование, поворачивается по стрелке).

$$OB = BE - OE; OE = \frac{1}{3} BE; OB = \frac{2}{3} BE = 2OE; m = 0,5774.$$

$$\text{т.к. } OE = \frac{a}{2} \operatorname{tg} 30^\circ, \text{ то } OB = 2 \cdot \frac{a}{2} \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = a \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = a \cdot 0,5774.$$

Подача S_1 на 1° поворота фрезы: $S_1 = 0,5774a:30 = 0,01925a$;

Поперечное перемещение n равно: $BO' = A'B - A'O'$; т.к. $A'O' = OB$, а $A'B = a$, то $BO' = a - \operatorname{tg} 30^\circ = a(1 - 0,5774) = 0,4226a$; $n = 0,4226a$. Поперечная подача на 1° поворота фрезы: $S_2 = 0,4226a:30 = 0,0141a$. Длина хода I по диагонали OO' равна:

$$OO' = \sqrt{(OB)^2 + (BO')^2} = \sqrt{a^2 \cdot 0,5774^2 + a^2 \cdot 0,4226^2} = 0,7155 \cdot a.$$

Подача на 1° поворота фрезы $S^\circ = 0,7155a:30 = 0,02385a$. Угол поворота α траектории подачи детали:

$$\frac{BO'}{OB} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; BO' = 0,4226a; OB = 0,5774a \text{ (см. выше);}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{0,4226a}{0,5774a} = 0,7319; \frac{\alpha}{2} = 36,2^\circ;$$

$$\alpha \approx 72,4^\circ.$$

Для повышения точности реального контура желаемого многогранного отверстия за счет проработки угловых переходов необходимо обработку отверстий осуществлять трехгранным инструментом, имеющим в сечении равносторонний треугольник. Инструмент должен иметь на торце режущие зубья. Крайние режущие кромки, расположенные на пересечениях граней с торцем фрезы, образующие замкнутый равносторонний треугольник, предназначены для формирования контура отверстия. Острые углы кромок треугольника позволят прорабатывать угловые переходы многогранных отверстий при поворотах фрезы. Контур будущего отверстия получатся при согласованном движении детали и инструмента, вращением фрезы в нужную сторону с необходимым числом оборотов и перемещением детали на определенное расстояние в заданном направлении, по заранее известной траектории, либо вращением и одновременным перемещением самой фрезы относительно детали при неизменном положении последней. Наличие осевой подачи обеспечит нужную глубину обработки отверстия.

Перечисленные условия возможно выполнить на специальном станке для фрезерования многогранных отверстий. Такой станок должен иметь стол с продольной и поперечной подачей. Число оборотов шпинделя и скорости подач стола должны быть регулируемые.

Предварительно просверленное отверстие на глубину обработки облегчит работу трехгранной фрезы. Оно выполняется обычным сверлом по центру многогранного отверстия, обрабатывая часть объема отверстия, которая не может быть обработана фрезой. Диаметр предварительного отверстия должен быть не меньшим, чем наибольший размер устраняемой зоны. Например, для восьмигранного отверстия достаточный диаметр

предварительного отверстия равен $D = 0,7a$, где a - длина грани отверстия.

Процесс фрезерования осуществляется без кондукторной втулки и плавающего патрона. Отсутствие этой оснастки высвобождает ранее затрачиваемое время на изготовление и замену кондукторных втулок для производительного труда.

Отсутствие соударений между втулкой и инструментом повысит стойкость последнего.

Для получения нужного контура отверстия должна быть выдержана зависимость между частотой вращения фрезы и скоростью ее перемещения: $S_0 = Ka$, где S_0 - подача фрезы (детали) на 1° ее поворота, мм/град;

a - сторона отверстия, равная грани фрезы, мм;

K - коэффициент, показывающий, на какую долю от длины грани переместится фреза по диагонали во время ее поворота на один градус, $\frac{1}{\text{град}}$.

Кроме того фреза должна вращаться в нужную сторону и перемещаться по заранее заданной траектории. Скорость перемещения фрезы зависит от размеров отверстия прямо пропорционально. Для разных контуров правильных многогранных отверстий зависимость $S_0 = K \cdot a$ составит, (см. табл. 1). Для квадрата $S_0 = 0,009993a$ мм/град.

Для шестигранника $S_0 = 0,02385a$ мм/град.

Для восьмигранника $S_0 = 0,04329a$ мм/град.

Для прямоугольника $S_0 = \frac{1}{60} \cdot \sqrt{(b-a) \cdot (b-0,1547a)}$, мм/град, где b - большая сторона прямоугольного отверстия.

Вращение фрезы для шестигранного отверстия по отношению к детали должно составить встречное фрезерование. Для квадратного, прямоугольного и восьмигранного отверстий фрезерование должно быть попутным.

Для всех упомянутых отверстий траектории фрезы относительно детали представляют собой равносторонние четырехугольники - ромбы, отличающиеся внутренними углами и длинами сторон. Для квадратного и восьмигранного отверстий углы ромбов равны 90° , т.е. траектории квадратные. Для шестигранного отверстия острый угол ромба равен $72,4^\circ$. Для прямоугольного отверстия углы траектории зависят от параметров - длины и ширины. Острый угол ромбической траектории найдется из соотношения

$$\alpha = 2 \arctg \left(\frac{0,4226}{\frac{b}{a} 0,5774} \right).$$

Полный контур отверстий получается при повороте фрезы на 120° (фиг.1-4), Длина одной стороны четырехугольной траектории получится при умножении величины S_0 , перемещения детали на 1° поворота фрезы, на 30° , поскольку фреза (деталь) пройдет всего четвертую часть траектории.

Проведенный анализ заявляемого способа фрезерования многогранных отверстий свидетельствует, что достигаемый технический результат при осуществлении изобретения будет получен благодаря формированию контуров многогранных отверстий с проработанными угловыми переходами.

Получение многогранных отверстий с проработанными угловыми переходами произойдет за счет применения нового инструмента - трехгранной фрезы - с сечением в режущей части равностороннего треугольника и ведение обработки с соблюдением установленных соотношений между скоростью вращения инструмента и перемещения детали, установленной траектории и направления фрезерования.

При осуществлении описанного способа отпадает необходимость в установке кондукторной плиты с кондукторной втулкой и исключается такая операция как пробивка отверстий калибровочным дорном, - что сокращает затраты времени на эти операции, повышая производительность труда.

Из-за отсутствия соударений инструмента о грани кондукторной втулки повысится стойкость инструмента.

Сущность изобретения поясняется чертежами, на которых изображено:

На фиг. 1 Геометрические построения вписанных треугольников для вывода коэффициента согласования и угла траектории для квадратного отверстия.

На фиг. 2 То же, для прямоугольного отверстия.

На фиг. 3 То же, для восьмигранного отверстия.

На фиг.4 То же, для шестигранного отверстия.

На фиг. 5 Схема формирования реального контура квадратного отверстия с помощью треугольного инструмента.

На фиг. 6 То же, для шестигранного отверстия.

На фиг. 7 То же, для прямоугольного отверстия.

На фиг. 8 То же, для восьмигранного отверстия.

На фиг. 9 Блок-схема станка для реализации способа фрезерования многогранных отверстий.

На табл. 1 Граничные параметры обработки и точность отверстий, выполненных при соблюдении условий, указанных в формуле изобретения.

На табл. 3 Параметры и режимы обработки конкретных контуров многогранных отверстий.

Выбор граничных параметров способа фрезерования многогранных отверстий обусловлен возможностью получения желаемого контура правильного многогранного отверстия. Граничные параметры обработки и точность отверстий, выполненных при соблюдении условий, указанных в формуле, отражены в таблице 1. Отличия между реальным и идеальным контуром многогранного отверстия можно увидеть на фиг. 5-8. Контур отверстия получен отображением ориентации инструмента через каждые 5° поворота и перемещения его на

$\frac{1}{24}$ длины необходимой траектории.

Отклонения, вызванные изменением граничных параметров, приводят к отрицательным последствиям (см табл. 2) и невозможности получения технического результата.

Если в сечении режущей части фреза не является равнобедренным треугольником, то в процессе обработки возможен выход из строя инструмента.

Если длина режущих кромок фрезы не равна длине грани отверстия a , то заданные размеры многогранника не могут быть выдержаны. Изменение установленной траектории по ее длине либо углу, изменение направления фрезерования, отклонение от величины S_0 - перемещения детали на один градус поворота фрезы, отступление от величины коэффициента согласования при обработке отверстия - приводят к отклонениям от правильного контура многогранного отверстия.

При фрезеровании восьмигранника в отсутствие предварительного отверстия по середине останется необработанный участок в виде столбика. Если диаметр предварительного отверстия для этой фигуры меньше чем $0,7a$, то останется необработанный участок в виде цилиндра.

По заявляемому способу фрезерования многогранных отверстий целесообразно в центре начерченного контура будущего многогранника просверлить предварительное отверстие на глубину обработки. Для восьмигранника такое отверстие обязательно и его диаметр должен быть не менее семи десятых длины грани. Крайние режущие кромки фрезы, подобранной для обработки отверстия, должны равняться длине грани последнего. Деталь выставляется на рабочем столе станка относительно фрезы таким образом, чтобы грань отверстия совпадала с режущей кромкой инструмента (см фиг. 1-4, линия AC). Устанавливаются режимы обработки на станке с соблюдением соотношения $S_0 = K \cdot a$ для обрабатываемого контура (см. табл. 1). Вводятся ограничения длины хода стола в продольном и поперечном направлениях по заранее вычисленной траектории детали. Устанавливается угол траектории, направление вращения фрезы и осевая подача с ограничением по глубине обработки. Изменение угла траектории детали происходит через каждые 30° поворота фрезы (см. фиг. 5-8). Полный контур отверстия оформится при повороте фрезы на 120° . Деталь при этом, пройдя траекторию равнобедренного четырехугольника, окажется в исходной точке. Частично способа может быть реализован на станках с числовым программным управлением.

В частности фрезерование квадратных и шестигранных отверстий возможно на станке модели ФП-27С. По имеющимся у заявителя данным фрезеровать прямоугольные и восьмигранные отверстия не позволяют технические данные станков.

В полном объеме заявляемый способ может быть реализован с помощью станка (см. фиг. 9), содержащего укрепленный на станке стол 1 с механизмами 2 и 3 продольной и поперечной подачи и шпиндельную головку 4 с механизмом осевой подачи 5. Все три механизма имеют блоки 6, 7, 8 регулировки скоростей подачи. Привод 9 вращения шпинделя имеет регулировку 10 частоты вращения с переключателем направления. Для ограничения хода продольной и поперечной подачи стола служат выключатели 11-14. Величина хода шпинделя регулируется выключателями 15, 16. Механизмы станка электрически связаны с пультом управления 17 для их включения. Выключатели 11-12 подключены в электрическую цепь механизма 2 продольной подачи стола для изменения направления его подачи в обратную сторону. Выключатели 13-14 выполняют ту же функцию для механизма 3 поперечной подачи. Выключатель 16 электрически соединен с пультом управления 17 для отключения станка при достижении фрезой нужной глубины фрезерования, и с механизмом 5 осевой подачи для включения его реверса и ускоренного подъема шпинделя. Выключатель 15 соединен с механизмом 5 осевой подачи для его отключения при достижении шпинделем 4 верхнего исходного положения.

Так, например, при фрезеровании глухого квадратного отверстия размером 20×20 мм и глубиной 10 мм на детали 18 наносятся контуры этого отверстия с указанием центра. Предварительное отверстие диаметром 18-19 мм сверлят по центру квадрата на глубину 10 мм. Для фрезерования квадратного отверстия понадобится инструмент - трехгранная фреза, - длина сторон которой в ее режущей части равна 20 мм. По заранее заготовленным таблицам (см. табл. 3) находят параметры и режимы обработки. Для отверстия со стороной $a = 20$ мм длина хода в продольном и поперечном направлениях на 30° поворота равна 4,2 мм. На столе станка выставляется деталь 18 так, чтобы грань вычерченного контура отверстия совпала с режущей кромкой инструмента, тогда центр треугольника, образованного режущими кромками фрезы, совпадает с точкой О начала траектории (см. фиг. 1). Выставляются ограничители перемещений - конечные выключатели. В продольном направлении выключатели 11-12 (см. фиг. 9) - симметрично от условно принятого нулевого положения стола по 4,2 мм, в поперечном направлении - выключатели 13 - 14: 0 - 3,4 мм. Касание детали 18 фрезой принимается за нулевое положение шпиндельной головки. Конечные выключатели осевой подачи 15-16 выставляются соответственно в положение 0 - 10 мм.

При частоте вращения шпинделя - 20 об/мин, продольная подача и поперечная будут равны $S_1 = S_2 = 0,14$ мм/град или $V_1 = V_2 = 1008$ мм/мин. Осевая подача - 0,3 мм/об фрезы. Указанные режимы выставляются на станке.

Угол траектории, равный 90° будет выдержан, поскольку подачи S_1 и S_2 равны по величине.

При включении станка на пульте управления 17 (см. фиг. 9) в работу одновременно вступают: привод вращения шпинделя 9, механизмы продольной и поперечной подачи 2,3 и осевой подачи 5. Фреза совершает вращение, связанное с перемещением детали. Если рассматривать этот процесс относительно детали, то фреза будет перемещаться по траектории четырехугольника ОО'РК (фиг. 1). Изменение траектории под прямым углом, осуществляемое через каждые 30° поворота фрезы, производится последовательным срабатыванием конечных выключателей: 13 - в точке О', 11 - в точке Р, 14 в точке К и 12 - в точке О. Указанные выключатели подают команды на механизмы продольной 2 и поперечной 3 подачи для переключения их работы в противоположную сторону. За 120° поворота фреза завершает полный цикл траектории перемещения и формирует контур отверстия. В продольном и поперечном направлениях стол совершает по одному возвратно-поступательному

движению, возвращаясь в исходную точку О. По достижении глубины отверстия 10 мм, включатель 16 выдает команду на пульт управления 17 на отключение станка и команду на обратный ход механизма осевой подачи 5 шпинделя, который при обратном ходе работает ускоренно. При выходе фрезы из отверстия срабатывает включатель 15, подающий команду на механизм осевой подачи 5 для его отключения.

Фрезерование прямоугольного отверстия будет происходить таким же образом, как и квадратного, с единственным отличием, что скорость продольной подачи будет больше поперечной. При частоте вращения шпинделя 20 об/мин, продольная подача находится из формулы (табл. 3): $S_1 = \frac{b}{60} - 0,009623 \cdot a$;

$S_1 = \frac{40}{60} - 0,009623 \cdot 20 = 0,474$ мм/град, поперечная подача $S_2 = 0,007045 \cdot a = 0,007045 \cdot 20 = 0,14$ мм/град в мм/мин это составит.

За 1 минуту фреза обернется на $360^\circ \times 20 \text{ об/мин} = 7200^\circ/\text{мин}$, время затрачиваемое на 30° поворота

$$t = \frac{30 \cdot 1}{7200} = 0,004167 \text{ мин.}$$

При длине продольного хода $m = 14,26$ мм

$$V_1 = \frac{14,23}{0,004167} = 3415 \text{ мм/мин}$$

При длине поперечного хода $n = 4,2$ мм

$$V_2 = \frac{4,2}{0,004167} = 1008 \text{ мм/мин}$$

Острый угол траектории ромба должен быть равен (см. табл. 1)

$$\alpha = 2 \arctg \left(\frac{0,4226}{\frac{b}{a} - 0,5774} \right) = \frac{0,4226}{\frac{40}{20} - 0,5774} =$$

$$= 0,297$$

$$\alpha = 2 \arctg 0,297; \arctg 0,297 = 16,54^\circ;$$

$$\alpha = 2 \cdot 16,54^\circ = 33,08^\circ$$

Тупой угол траектории равен

$$\frac{360 - (33,08 \times 2)}{2} = 146,92^\circ$$

Найдем острым угол траектории ромба а исходя из подобранных линейных скоростей подачи. Если углы совпадут, то скорости выбраны верно

$$\tg \frac{\alpha}{2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{1008}{3415} = 0,295;$$

$$\frac{\alpha}{2} = \arctg 0,295 = 16,45^\circ$$

$$\alpha = 16,45^\circ \cdot 2 = 32,9^\circ$$

$$\tg \frac{\alpha}{2} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{0,14}{0,474} = 0,295;$$

$$\frac{\alpha}{2} = 16,45^\circ; \alpha = 16,45^\circ \cdot 2 = 32,9^\circ.$$

Углы практически совпали.

Для фрезерования восьмигранного отверстия этой же фрезой с частотой вращения шпинделя 20 об/мин необходимо установить скорость продольной и поперечной подачи

$$S_1 = S_2 = 0,612 \text{ мм/град}; V_1 = V_2 = 4408 \text{ мм/мин (табл. 3)}$$

Длина хода на 30° поворота составит 18,37мм.

Для фрезерования шестигранного отверстия этой же фрезой с той же частотой вращения шпинделя необходимо на приводе вращения осуществить переключение направления, чтобы фрезерование было встречным. Длина ходов $m = 11,55$ мм, $n = 8,45$ мм. Подача $S_1 = 0,385$ мм/град; $V_1 = 2772$ мм/мин, $S_2 = 0,282$ мм/град; $V_2 = 2028$ мм/мин.

Острый угол ромбической траектории равен:

$$\tg \frac{\alpha}{2} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{0,282}{0,385} = 0,7325;$$

$$\frac{\alpha}{2} = 36,220; \alpha = 72,44^\circ;$$

$$\tg \frac{\alpha}{2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{2028}{2772} = 0,7316;$$

$$\frac{\alpha}{2} = 36,19^\circ; \alpha = 72,38^\circ.$$



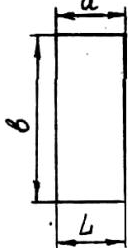

Согласно табл. 1 $\alpha = 72,4^\circ$. Углы практически совпали, следовательно скорости выбраны верно.

При сверлении сверлами получаются отверстия 5-4 класса точности. Погрешность в диаметре просверленных отверстий в среднем для размера 18-30 мм можно принимать 0,2 мм. Это составляет 1% от диаметра 20 мм. Точность обработки предлагаемого способа фрезерования многогранных отверстий будет ниже точности сверления. Согласно табл. 1 отклонения параметров полученного контура по линейному размеру

составляют от 1,66 до 3,5% для разных конфигураций Точность обработки по данному способу будет находиться в пределах 6-7 класса

Согласно данным приведенных расчетов и конструкторских проработок изобретение в сравнении с прототипом обладает следующими преимуществами: описанный способ позволяет фрезеровать многогранные отверстия с проработанными угловыми переходами более простым и удобным путем, чем указано в прототипе. Отпадает необходимость в применении дополнительной оснастки - кондукторной плиты и плавающего патрона. При использовании фрезы с сечением в режущей части в виде равностороннего треугольника уменьшился угол между гранями инструмента с 120° - у эксцентрика постоянного диаметра, до 60° - у равностороннего треугольника, что позволило довести проработку угловых переходов отверстий до 100% и исключить доработку отверстий калибровочным дорном.

Таблица 1

Контур отверстия при кон- туре инструмента в виде равностороннего треу- гольника	Граничные параметры обработки				Точность обработки		
	Направление фрезерова- ния и угол траектории по- дачи α°	Подача на 1° поворота инструмента относительно детали S_0 , мм/град	Длина хода на 30° поворо- та инструмен- та относи- тельно детали l , мм	Диаметр предвари- тельного от- верстия D , мм	Отклонение параметров полученного контура от геометрического, %		
					по линейно- му размеру L	по перимет- ру P	по площади кон. S
	полутное  $\alpha = 90$	0,09993 а	0,2988 а	Сверление не обяза- тельно или $D \leq a$	3,5	3,5	0,52
	полутное  $\alpha = 2 \arctg \left(\frac{0,4226}{\frac{b}{a} - 0,5774} \right)$	$\frac{1}{60} \cdot \sqrt{(b-a)} \times$ $\times \sqrt{b-0,1547a}$	$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{(b-a)} \times$ $\times \sqrt{b-0,1547a}$	Сверление не обяза- тельно или $D \leq a$	3	0,2	0,9

Продолжение табл. 1

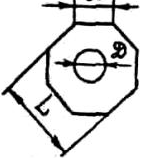

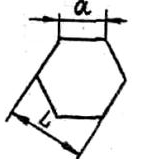

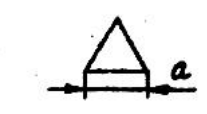
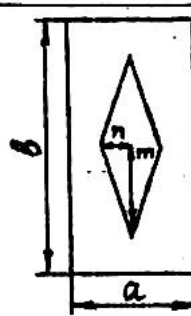

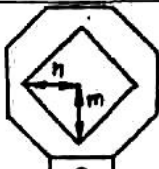
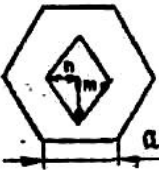
Контур отверстия при кон- туре инструмента в виде равностороннего треу- гольника	Граничные параметры обработки				Точность обработки		
	Направление фрезерова- ния и угол траектории по- дачи α°	Подача на 1° поворота инструмента относительно детали S_0 , мм/град	Длина хода на 30° поворо- та инструмен- та относи- тельно детали l , мм	Диаметр предвари- тельного от- верстия D , мм	Отклонение параметров полученного контура от геометрического, %		
					по линейно- му размеру L	по перимет- ру P	по площади кон. S
	полутное  $\alpha = 90$	0,04329 а	1,29866 а	Сверление не обяза- тельно или $D \geq 0,7 а$ $D < L$	1,7	0,2	1,1
	встречное  $\alpha = 72,4$	0,02385 а	0,7155 а	Сверление не обяза- тельно или $D \leq L$	2,3	0,2	2

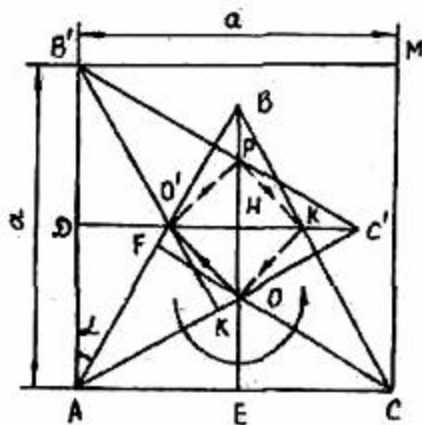
Таблица 2

№ п/п	Отклонение от условий, указанных в формуле	Влияние на точность фрезерования многогранных отверстий
1	Неравенство длин режущих кромок инструмента $K_1 < K_2 < K_3$	Возможна поломка инструмента. Плохое прорабатывание угловых переходов. Возрастание шероховатости поверхностей. Сторона a равна наибольшей кромке K_3
2	Длина режущих кромок фрезы не равна длине грани отверстия a	Не выдерживаются заданные размеры многогранного отверстия
3	Изменение угла траектории	Неравенство длин граней и изменение конфигурации до неправильной формы
4	Изменение длины траектории	Изменяются размеры и контуры отверстий
5	Изменение направления фрезерования	Заданный контур не получится
6	Изменение подачи детали на один градус поворота фрезы	Не выдерживается контур отверстия
7	Изменение угла поворота инструмента относительно детали больше или меньше 30 градусов	Изменение контура отверстия до неправильного
8	Отсутствие предварительного отверстия или отклонение от его диаметра	Ухудшение условий работы торцевых зубьев фрезы Наличие необработанной зоны

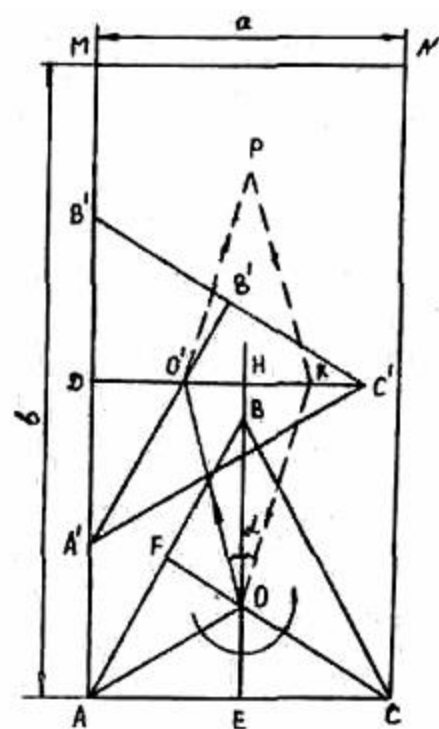
Таблица 3

Контур отверстия и траектория подачи при контуре инструмента в виде равностороннего треугольника	Величина подачи и длина хода детали			
	Продольная		Поперечная	
	Подача на 1° поворота инструмента S_1 , мм/град и линейная скорость V_1 , мм/мин	Длина хода на 30° поворота инструмента m , мм	Подача на 1° поворота инструмента S_2 , мм/град и линейная скорость V_2 , мм/мин	Длина хода на 30° поворота инструмента n , мм
 $a = 20 \text{ мм}$ $f = 20 \text{ об/мин}$	$S_1 = 0,007043 a$	$m = 0,2113 a$	$S_2 = 0,00704 a$	$n = 0,2113 a$
	$S_1 = 0,14$ $V_1 = 1008$	$m = 4,2$	$S_2 = 0,14$ $V_2 = 1008$	$n = 4,2$
 $a = 20 \text{ мм}$ $b = 40 \text{ мм}$	$S_1 = \frac{b}{60} - 0,0096 a$	$m = \frac{b}{2} - 0,2887 a$	$S_2 = 0,00704 a$	$n = 0,21135 a$
	$S_1 = 0,474$ $V_1 = 3415$	$m = 14,23$	$S_2 = 0,14$ $V_2 = 1008$	$n = 4,2$

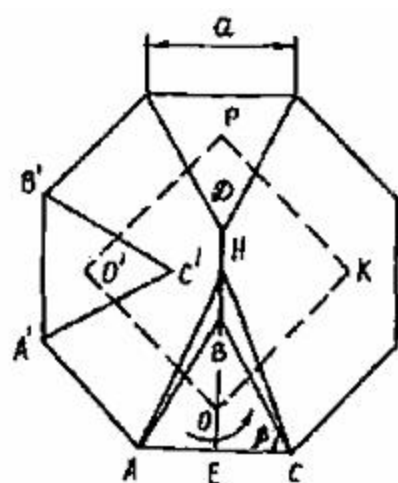
Контур отверстия и траектория подачи при контуре инструмента в виде равностороннего треугольника 	Величина подачи и длина хода детали			
	Продольная		Поперечная	
	Подача на 1° поворота инструмента S_1 , мм/град и линейная скорость V_1 , мм/мин	Длина хода на 30° поворота инструмента m , мм	Подача на 1° поворота инструмента S_2 , мм/град и линейная скорость V_2 , мм/мин	Длина хода на 30° поворота инструмента n , мм
 $a = 20 \text{ мм}$	$S_1 = 0,03061 a$	$m = 0,9183 a$	$S_2 = 0,03061 a$	$n = 0,9183 a$
	$S_1 = 0,612$ $V_1 = 4408$	$m = 18,37$	$S_2 = 0,612$ $V_2 = 4408$	$n = 18,37$
 $a = 20 \text{ мм}$	$S_1 = 0,01925 a$	$m = 0,5774 a$	$S_2 = 0,0141 a$	$n = 0,4226 a$
	$S_1 = 0,386$ $V_1 = 2772$	$m = 11,55$	$S_2 = 0,282$ $V_2 = 2028$	$n = 8,45$



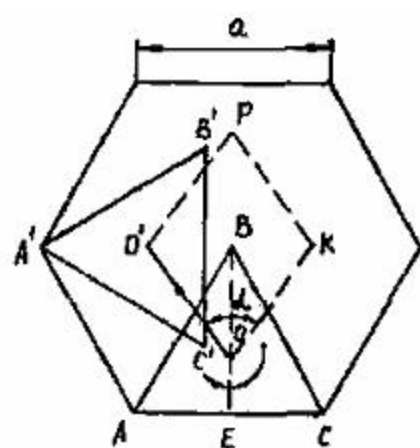
Фиг. 1



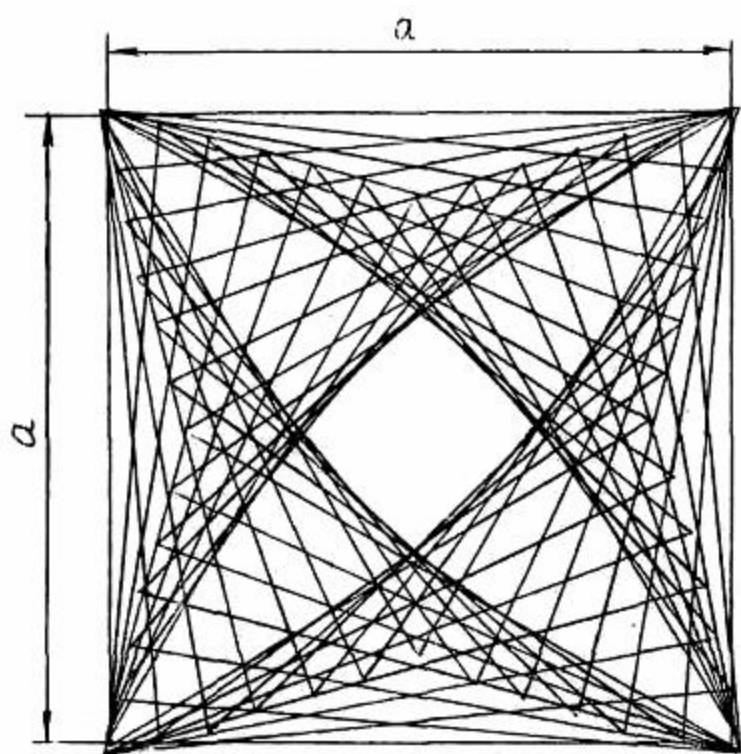
Фиг. 2



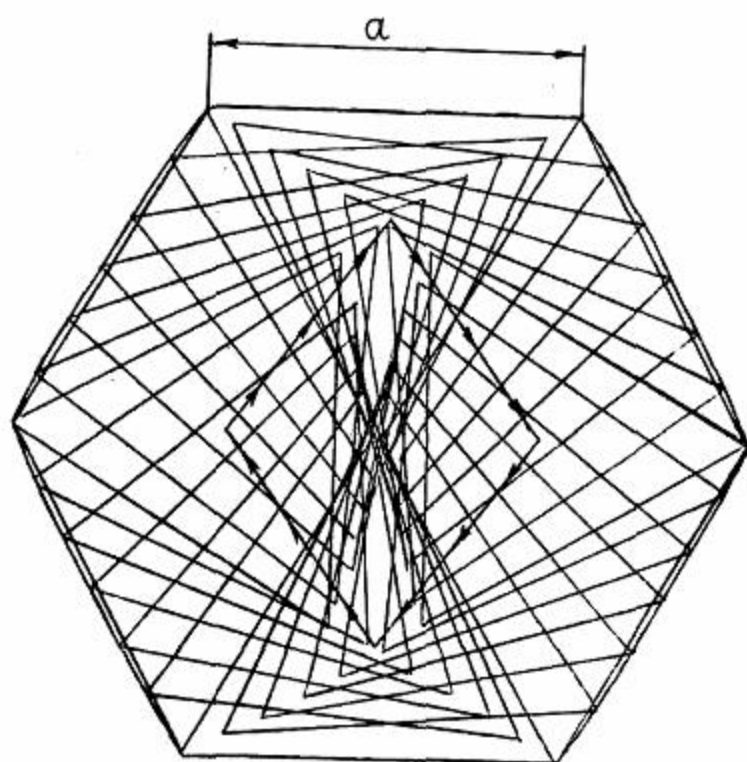
Фиг. 3



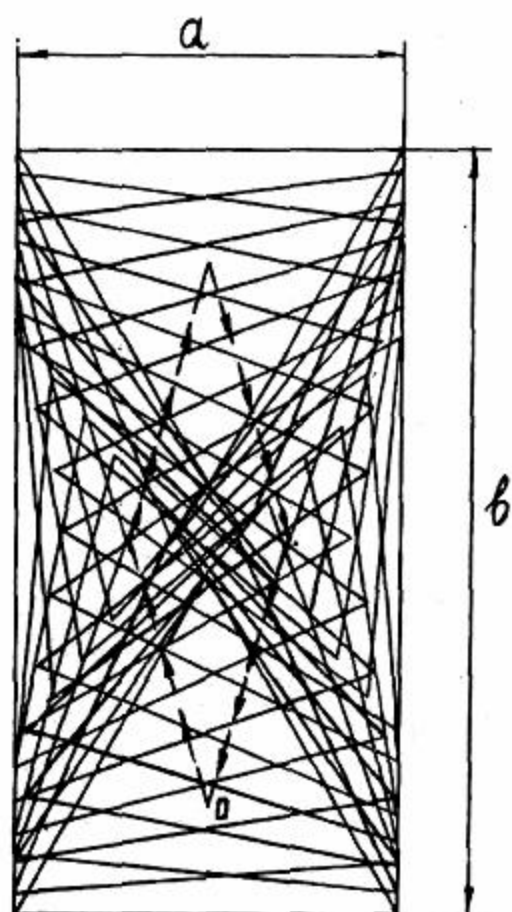
Фиг. 4



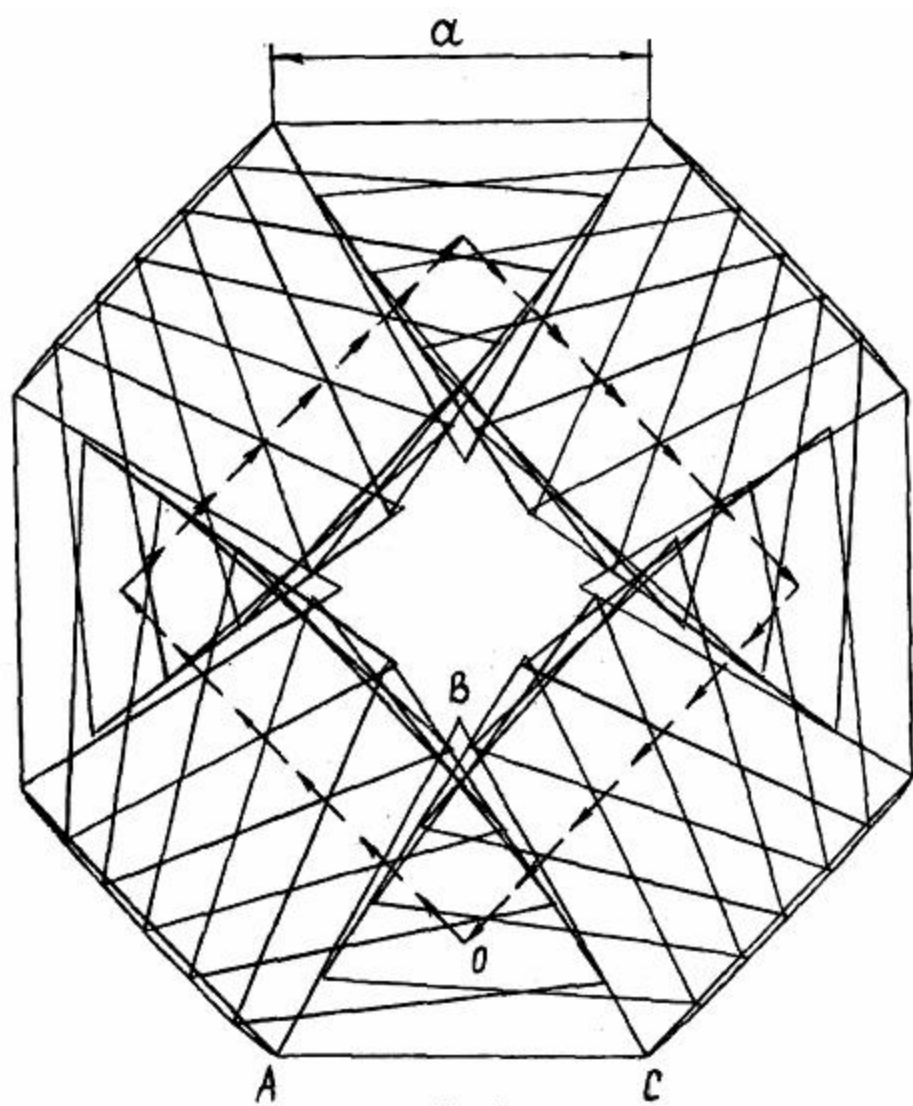
Фиг. 5



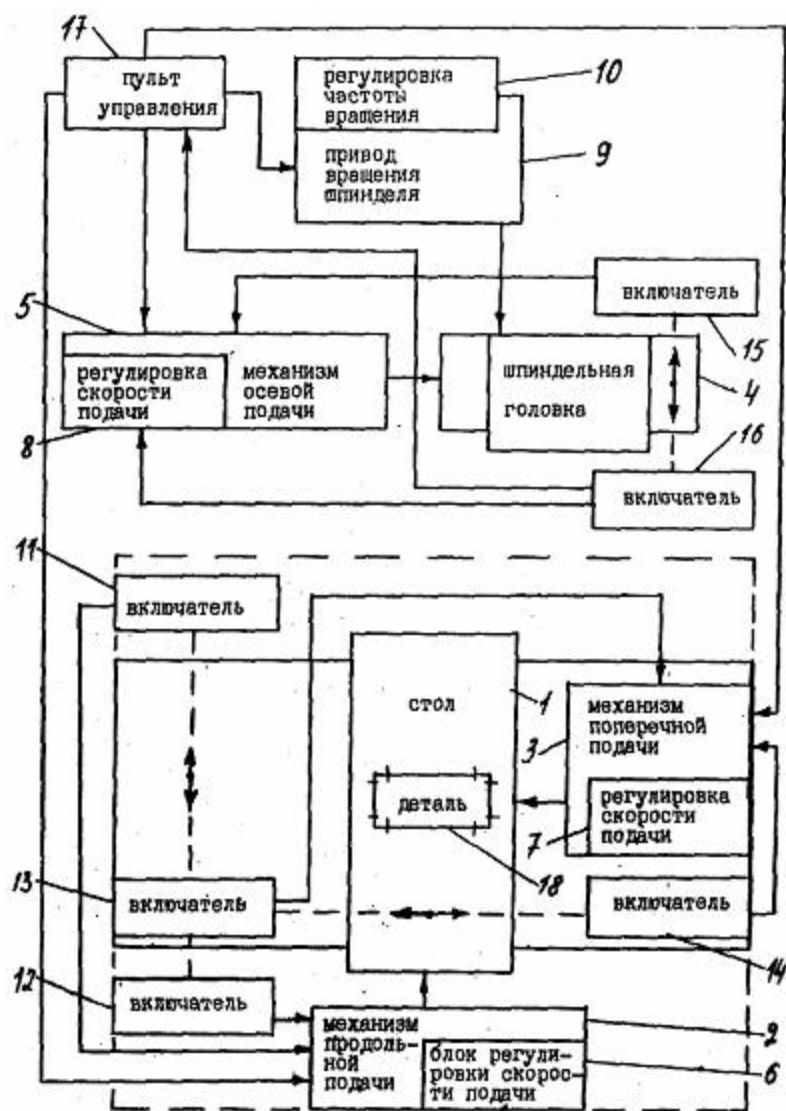
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9