

## Глава IV. Обработка отверстий

### 1. Виды отверстий и способы их обработки

Отверстия в деталях приборов бывают цилиндрические (Рис. 64 а, в, г), ступенчатые (Рис. 64 б, д), конические и фасонные (Рис. 64, е).

Цилиндрические отверстия бывают гладкими (Рис. 64, а) и с канавкой (Рис. 64, в).

Под ступенчатыми подразумевают отверстия разных диаметров, расположенные на одной оси последовательно одно за другим.

Отверстия могут быть открытыми с двух сторон или с одной стороны – последние называются глухими (Рис. 64 г, д).

В деталях приборов чаще всего встречаются отверстия цилиндрические.

Обработка отверстий - одна из сложных и трудоемких технологических операций. Получить отверстие необходимой точности труднее, чем наружные поверхности тел вращения. Поэтому допуски отверстий шестого и седьмого квалитетов больше, чем допуски на наружные цилиндрические поверхности тех же размеров и квалитетов.

Обрабатывать отверстия можно снятием и без снятия стружки. Снимать стружку можно лезвийным и абразивным инструментом или абразивным порошком.

В зависимости от требуемых точности размера и шероховатости поверхности отверстия лезвийным инструментом можно выполнять сверление, зенкерование, развертывание, растачивание и протягивание;

Абразивным инструментом осуществляют шлифование, хонингование, суперфиниширование; абразивным порошком - доводку.

Обработка отверстий без снятия стружки производится калиброванием при помощи выглаживающих прошивок и шариков, а также раскатыванием.

Неточные отверстия (Н12-Н13 квалитетов) обрабатывают за одну операцию путем сверления или черного растачивания. При образовании точных отверстий (Н7-Н8 квалитетов) обработка делится на черновую, чистовую и отделочную.

При черновой обработке удаляется основная величина припуска и обеспечивается точность относительного положения оси отверстия.

Чистовая обработка обеспечивает точность размеров, геометрической формы и относительного положения отверстия, а также точность положения и прямолинейность его оси.

Для повышения точности отверстия и уменьшения шероховатости поверхности применяют отделочную операцию.

### 2. Сверление, зенкерование, развертывание

Сверление - один из распространенных способов получения глухих и сквозных цилиндрических отверстий в сплошном материале с точностью Н12-Н13 квалитетов и шероховатостью поверхности Rr20 - Rr80.

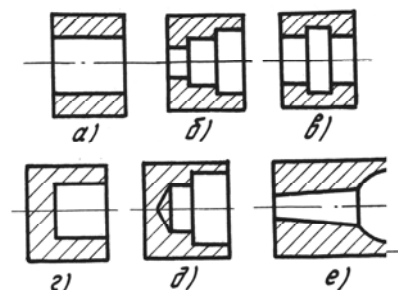


Рис. 64 Формы отверстий:  
а, в, г - цилиндрические;  
б, д - ступенчатые;  
е - конические и фасонные

Режущим инструментом здесь служит сверло, которое дает возможность получать отверстия в сплошном материале и увеличивать диаметр ранее полученного отверстия (рассверливание). Главное движение при сверлении - вращательное, движение подачи поступательное.

Спиральное сверло (Рис. 65, а) - инструмент цилиндрической формы, на поверхности которого имеются две винтовые канавки, образующие режущие кромки. Сверло состоит из рабочей части и хвостовика, соединенных между собой шейкой. Хвостовик служит для закрепления сверла в патроне или шпинделе станка. Хвостовики бывают конические и цилиндрические.

Рабочая часть сверла выполняет основную работу резания. Режущие кромки образуются пересечением передних поверхностей спиральных канавок с торцевыми поверхностями сверла.

Поперечная кромка (перемычка) образуется пересечением двух задних (торцевых) поверхностей сверла.

Наличие ее отрицательно влияет на процесс резания, затрудняя проникновение сверла в металл.

Основным углом, определяющим форму режущей кромки сверла является угол при вершине  $2\phi$ . Он оказывает влияние на правильность работы и производительность сверла. Величина угла при вершине сверла  $2\phi$  зависит от свойств обрабатываемого материала: например для стали  $2\phi = 116-120^\circ$ , а для латуни и алюминиевых сплавов  $2\phi = 130-140^\circ$ .

### Оборудование для сверления.

Различают два основных способа сверления: 1) на станках сверлильной группы - движение резания и движение подачи осуществляет сверло, 2) на станках токарной группы - движение резания осуществляется при вращении обрабатываемой детали, а движение подачи - перемещением сверла. При сверлении глубоких отверстий обработка

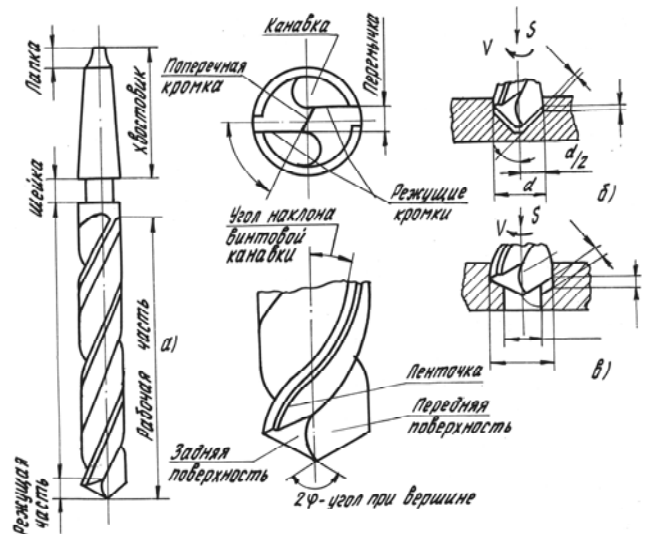


Рис. 65 Элементы сверла и схемы сверления: а) элементы сверла, б) сверление; в) рассверливание

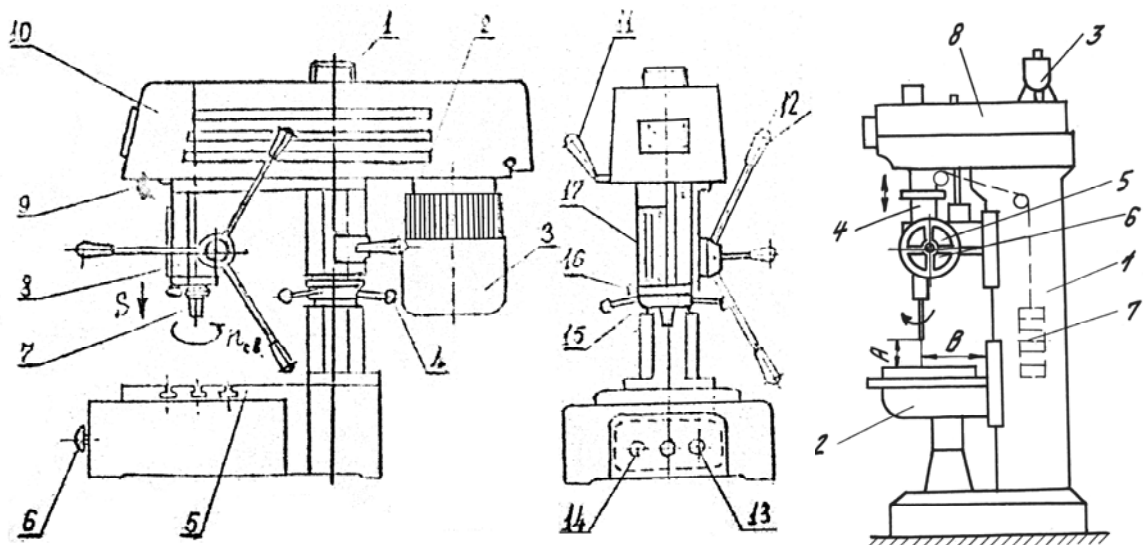


Рис. 66, б. Настольно-сверлильный станок

Рис. 66, а. Схема вертикально-сверлильного станка

часто производится при совместном встречном вращении детали и сверла.

В приборостроении наибольшее распространение получили вертикально-сверлильные (Рис. 66, а) и настольно-сверлильные станки (Рис. 66, б).

Вертикально-сверлильные станки предназначены для сверления, зенкерования, развертывания отверстий в деталях, а также нарезания резьб машинными метчиками.

Основным узлом вертикально-сверлильного станка (Рис. 66, а) является сверлильная головка (шпиндельная бабка) 4. Головка монтируется, на колонне 2 сверху. Снизу на колонне установлен стол 8, который может перемещаться вверх-вниз по направляющим колонны при вращении, рукоятки 9 подъема стола. Шпиндель 7 приводится во вращение электродвигателем 3 через механизм головки 8, которым можно изменять число оборотов шпинделя. Ручная подача шпинделя осуществляется штурвалом 3.

Сверление по второму способу осуществляется на токарных, токарно-револьверных и других станках. При сверлении на токарном станке деталь закрепляется в патроне, а сверло устанавливается в пиноли задней бабки.

### Особенности процесса сверления.

При первом способе обработки, когда ось сверла совпадает с направлением подачи, но не совпадает с осью наружной поверхности детали (Рис. 67, а), подача сверла будет осуществляться под углом по отношению к оси детали, и потому ось отверстия займет неправильное положение, т.е. произойдет увод оси. Отверстие в этом случае сохраняет цилиндричность.

При обработке по второму способу при несовпадении оси сверла с осью детали отверстие будет иметь переменный по длине диаметр. Это объясняется тем, что при отклонении оси сверла от оси вращающейся детали диаметр отверстия будет определяться уже не радиусом сверла, а расстоянием от оси вращения до наиболее удаленной точки на периферии сверла (Рис. 67, б). Так как это расстояние по мере движения сверла все время увеличивается, то и диаметр отверстия тоже будет возрастать и отверстие примет коническую форму. С другой стороны, вращение детали приводит к самоцентрированию сверла, так как боковое давление на сверло со стороны стенки отверстия уже не будет уравновешено давлением с противоположной стороны, как это бывает при невращающейся детали. За счет разности этих боковых давлений сверло будет стремиться занять такое положение, при котором его ось совпала бы с осью вращения детали.

Следовательно, при обработке отверстий с вращением детали увод оси сверла от нужного направления будет меньше, чем при сверлении с вращением инструмента. Однако в большинстве случаев отверстия обрабатывают на станках сверлильной группы, т.е. с вращением инструмента. На этих станках легче обеспечить получение требуемой скорости резания благодаря вращению уравновешенного шпинделя с инструментом и не приходится прибегать к соответствующим мерам для балансирования вращающихся масс станка.

Для уменьшения увода оси сверла при обработке на сверлильных станках применяют кондукторы с направляющими втулками. Обработка в кондукторах дает хорошие результаты при относительно небольшой длине отверстия. С увеличением длины

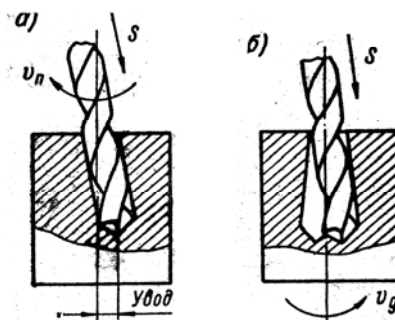
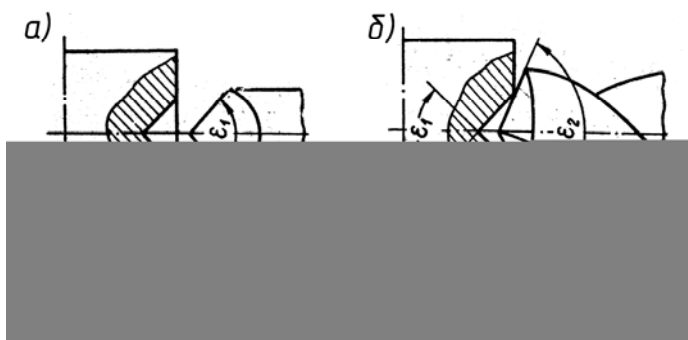


Рис. 67 Два способа сверления:  
а – на вращающейся детали;  
б – на неподвижной детали

отверстия вследствие значительного свободного вылета режущей части сверла влияние направляющей втулки оказывается недостаточным.

Для уменьшения увода оси сверла при обработке отверстий в сплошном металле на револьверных станках и автоматах перед сверлением рекомендуется произвести центрование - засверливание углублений небольшой длины коротким и жестким сверлом (Рис. 68, а).



Угол при вершине  $2\phi$  у этого сверла должен быть меньше, чем у

спирального. Обычно он составляет  $90^\circ$ . Предварительное центрование заготовок обеспечивает более точное направление сверла, так как его перемычка не будет участвовать в работе (Рис. 68, б).

Уменьшению увода оси сверла также способствует уменьшение осевого усилия. Поэтому целесообразно применять сверла с подточенной перемычкой, а при малых диаметрах их работать с малыми подачами и большими скоростями резания.

При работе сверлами больших диаметров (35-40 мм) из-за наличия у вершины сверла перемычки большой длины возникают значительные осевые усилия. Поэтому отверстия больших диаметров сверлят за два прохода - сначала сверлом меньшего диаметра, а затем требуемого. Чтобы перемычка второго сверла не участвовала в работе, а также для более равномерного распределения работы резания между обоими сверлами диаметр первого сверла  $d_1$  выбирают равным  $(0,5-0,6)d_2$ , где  $d_2$  - диаметр второго сверла.

При сверлении отверстий малых диаметров (менее 6-8 мм) также приходится считаться с необходимостью уменьшения осевого усилия в связи с недостаточной прочностью и жесткостью сверла. В этих случаях целесообразно работать с большой скоростью резания при небольших подачах.

### **Методы обработки на сверлильных станках**

Точность расположения центров отверстий относительно друг друга или по отношению к поверхностям детали зависит от метода сверления.

Сверление отверстий по разметке. Ось шпинделя с инструментом и центр просверливаемого отверстия совмещают установкой сверла по керновому углублению, нанесенному при разметке.

Точность расстояния между осями отверстий при сверлении по разметке составляет  $-(0,2-0,5)$  мм. В отдельных случаях она может быть повышена до  $-0,1$  мм.

Сверление на координатных столах. Для увеличения точности обработки отверстий в условиях единичного или мелкосерийного производства вместо сверления по разметке в приборостроении часто применяют координатные столы, позволяющие перемещать по двум осям координат с высокой точностью, осуществлять поворот детали вокруг ее оси, если расстояния между центрами отверстий заданы в полярной системе координат.

Совместное сверление. В условиях мелкосерийного производства, чтобы устранить несовпадение осей отверстий в сопрягаемых деталях при сборке, применяют совместное сверление по месту. В одной из сопрягаемых деталей сверлят отверстия по разметке, а отверстия в другой детали просверливаются через отверстия в первой.

Сверление в приспособлениях (кондукторах). При сверлении в приспособлениях (Рис. 69) занимает определенное положение относительно направляющей втулки 2, через которую проходит инструмент. При этом втулка стабилизирует положение сверла относительно детали и предотвращает его увод. Конструкции сверлильных приспособлений

соблений очень разнообразны и зависят от типа производства и требуемой точности обработки.

При работе по кондуктору обычной точности точность расстояния между осями отверстий диаметром от 3 до 80 мм составляет  $\pm(0,06 - 0,20)$  мм, а при работе по кондуктору повышенной точности  $\pm(0,04 - 0,10)$  мм.

Сверление с предварительным кернением. Предварительное накернивание осуществляется специальным штампом. При сверлении по кернам точность межосевого расстояния выше, чем при сверлении по кондукторам, так как к погрешностям изготовления самого кондуктора добавляется погрешность сверления обусловленная наличием зазора между сверлом и отверстием кондукторной втулки.

Зенкерование. Зенкерование служит для увеличения диаметра предварительно подготовленного отверстия (литого, штампованного, просверленного). Для получения отверстий точностью до Н11 с шероховатостью поверхности до Ra 2,5 операция зенкерования может быть окончательной и предварительной - перед развертыванием. Зенкерование применяют также для обработки фасок, цилиндрических и конических углублений под головки заклепок, винтов и болтов и зачистки торцовых поверхностей.

Инструмент. В зависимости от назначения зенкеры подразделяются на спиральные, цилиндрические и конические.

Спиральные зенкеры (Рис. 70) служат для обработки сквозных цилиндрических отверстий. Они конструктивно сходны со спиральными сверлами, но имеют 3 или 4 режущих кромки.

Зенкеры диаметром 12-35 мм изготавливают цельными с коническими хвостовиками и с тремя режущими зубьями, а диаметром 25-80 мм - насадными с четырьмя (реже шесть) режущими зубьями. Насадные зенкеры диаметром больше 60 мм выполняют со вставными рифлеными ножами, оснащенными пластинками твердых сплавов.

Для зенкерования отверстий большого диапазона диаметров - от 30 до 200 мм - применяются насадные двузубые зенкеры-улитки.

Цилиндрические зенкеры служат для обработки торцов у литых бобышек (Рис. 71, а) и отверстий под цилиндрические головки винтов (Рис. 71, б).

Коническими зенковками обрабатывают конические гнезда под болты и заклепки и центровые отверстия (Рис. 71, в).

Зенкер, имеющий, по крайней мере, три режущие кромки, значительно прочнее сверла, вследствие чего обработка отверстия зенкером производительнее растачивания и рассверливания. При зенкеровании лучше обеспечиваются прямолинейность оси обрабатываемого отверстия и правильное ее положение. Однако при неравномерном припуске, неодинаковой твердости обрабатываемого материала и при наличии в нем твердых включений возможен увод оси зенкера, причем в чугунных деталях больше, чем в стальных. Он может быть значительным и в начале зенкерования отлитых или прошитых отверстий. Для предупреждения увода инструмента зенкерование таких отверстий должно предшествовать растачивание их резцом до диаметра зенкера и на глубину, примерно равную половине его длины.

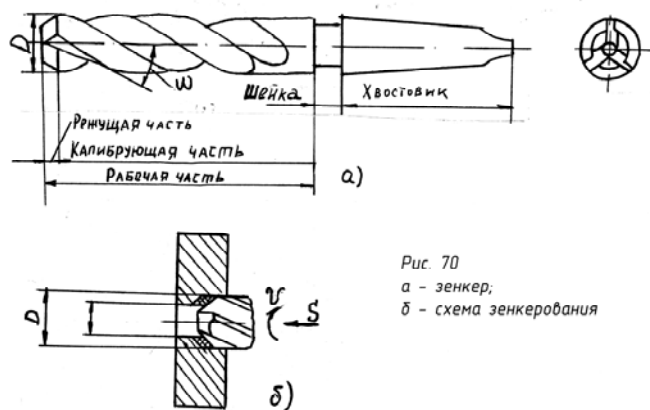


Рис. 70  
а - зенкер;  
б - схема зенкерования

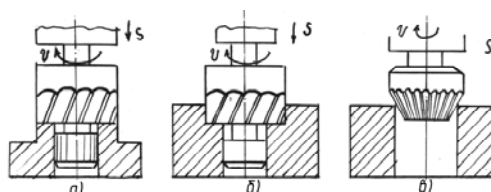


Рис. 71

Поверхность отверстия, обработанного зенкером, получается чище, чем при сверлении и рассверливании. Точность диаметра отверстия, обработанного зенкером под последующее развертывание, достигается гораздо проще, чем при растачивании, так как при зенкеровании отсутствует установка режущего инструмента на требуемый диаметр.

Для исправления положения оси отверстия, уменьшения увода ее и обеспечения заданной точности осуществляют зенкерование с направлением инструмента в кондукторных втулках. Различают три способа направления зенкера - верхнее, нижнее и двойное (Рис. 72).

При верхнем направлении (Рис. 72, а) зенкер 1 может направляться во втулке 2 либо специальной цилиндрической частью, либо непосредственно своими калибрующими ленточками.

Нижнее направление осуществляется во втулке 8, расположенной впереди детали 3 (Рис. 72, б). В этом случае на одной оси с зенкером I имеется специальная направляющая, выполненная заодно с зенкером. Для обеспечения правильной начальной ориентации зенкера необходимо, чтобы его направляющая часть вошла во втулку прежде, чем начнется процесс резания.

Для обработки отверстий диаметром свыше 25 мм целесообразно осуществлять двойное направление зенкера (Рис. 72, в). Для этой цели на зенкере предусматривается верхняя и нижняя направляющие.

При двойном направлении зенкера возникают некоторые затруднения, связанные с необходимостью совмещения большого числа осей технологической системы. Для исключения влияния погрешностей из-за несовпадения оси шпинделя с осями зенкера и направляющих втулок, из-за биения шпинделя и других погрешностей, связанных с работой станка, применяют шарнирное или плавающее соединение инструмента со станком. В этом случае положение оси обработанного отверстия будет в основном определяться соосностью направляющих элементов приспособления и зенкера и точностью их изготовления.

Для зенкерования оставляют припуск, равный примерно  $1/8 - 1/10$  диаметра отверстия. При работе двузубым зенкером-улиткой величина припуска может быть и большей.

Грубое зенкерование отверстий после литья или штамповки обеспечивает Н12 качество точности, а зенкерование после сверления или черного растачивания - Н11. Шероховатость поверхности соответствует  $R_a(40-20)$ .

Оборудование для зенкерования. Обработка зенкером производится на сверлильных, расточных токарных, револьверных и других станках. Наиболее широко она применяется на станках с вращающимся инструментом.

**Развертывание.** Развертывание является основным способом чистовой обработки отверстий диаметром до 400 мм Н7-Н34 квалитетов точности. Развертыванию всегда предшествует сверление, зенкерование или растачивание. При развертывании используют инструмент - развертку (Рис. 73). Развертка состоит из рабочей части, шейки и хвостовика (см. рис. 73, а). Хвостовик машинных разверток - конический, ручных разверток - цилиндрический с квадратом под вороток.

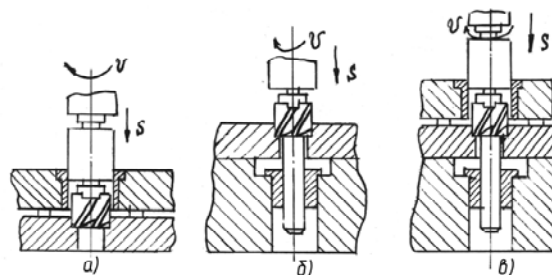


Рис. 72 Направление зенкера в кондукторных втулках: а) верхнее; б) нижнее; в) комбинированное

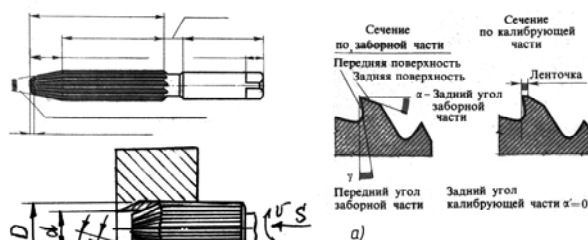


Рис. 73 Развертка - а; Схема развертывания - б

На рабочей части развертки различают направляющий конус, режущую часть и калибрующую часть. Направляющий конус облегчает введение развертки в отверстие. Режущая часть расположена под углом  $\varphi$  к оси развертки ( $\varphi = 4-15^\circ$ ). Калибрующая часть состоит из двух участков: цилиндрического длиной  $l_1$  и конического длиной  $l_2$  с обратной конусностью (1:50). Обратную конусность делают для уменьшения трения инструмента об обрабатываемую поверхность и уменьшения величины разбивки отверстия. Режущие зубья на этом участке имеют узкие шлифованные ленточки шириной 0,05 – 0,2 мм, которые направляют развертку в отверстия, а кромка ленточки зачищает отверстия, обеспечивает высокую чистоту поверхности. Шаг между зубьями развертки, как правило, делается неравномерным. Если у развертки, например, 12 зубьев, то центральный угол составляет не  $30^\circ$ , а последовательно  $33^\circ$ ,  $34^\circ 30'$ ,  $36^\circ$ ,  $37^\circ 30'$ ,  $39^\circ$ , при этом противолежащие зубья располагаются на одном диаметре, что важно для контроля развертки. Неравномерность шага устраняет попадание режущей кромки в одно и то же место на поверхности отверстия в момент биения развертки из-за колебаний частоты вращения.

Ручные цилиндрические развертки с прямыми и винтовыми зубьями используются для обработки отверстий диаметром от 3 до 50 мм; машинные цельные с цилиндрическим и коническим хвостовиками для отверстий диаметром от 25 до 80 мм; машинные со вставными регулируемыми ножами - для отверстий диаметром от 40 - до 100 мм; машинные насадные твердосплавные для отверстий диаметром от 52 до 300 мм.

Развертка снимает значительно меньший припуск, чем зенкер, имеет угол в плане и большее число зубьев. Зубья развертки снимают стружку малой толщины и большой ширины, что позволяет применять при развертывании большие подачи.

Конструктивные особенности разверток таковы, что в процессе работы они испытывают большие радиальные и незначительные осевые нагрузки, сами стремятся установиться по отверстию и не обеспечивают точности направления оси отверстия. Поэтому для обеспечения точности направления оси отверстия его перед развертыванием необходимо обработать резцом или другим инструментом с принудительным центрированием и точным направлением. Если развертка закреплена жестко, то незначительная несоосность с осью отверстия вызывает неравномерное срезание припуска: отверстие будет иметь больший диаметр у концов и меньший в середине (Рис. 74 а, б).

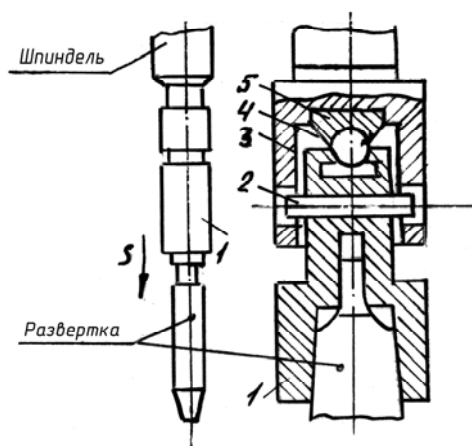


Рис. 75 Качающаяся оправка для развертки: 1 - оправка; 2 - штифт; 3 - корпус; 4 - шарик; 5 - подпятник.

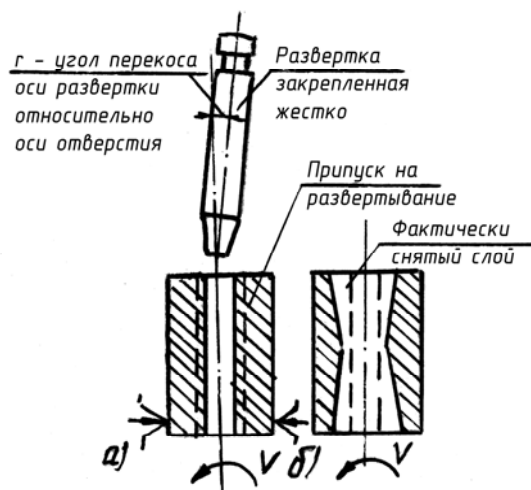


Рис. 74 Разбивка отверстия при жестком креплении развертки: а) заготовка до развертывания б) после развертывания

Закрепляться развертка должна таким образом, чтобы во время работы она свободно устанавливалась по отверстию или имела точное направление. Это достигается с помощью

самоустанавливающихся качающихся оправок (Рис. 75).

Иногда развертку направляют кондукторные втулки. Так же как и при зенкеровании, направление может быть нижним, верхним или двойным. На направляющей части развертки образуют канавки для размещения стружки.

Принудительное направление применяют иногда для предотвращения разбивания короткого отверстия при входе и выходе развертки.

Для отверстий диаметром от 6 до 120 мм общий припуск на предварительное и чистовое развертывание составляет 0,2-0,4 мм. При предварительном развертывании снимается 80% величины припуска, а при чистовом – 20%.

Подача принимается в 2 – 3 раза большей, а скорость резания в 2 – 3 раза меньшей, чем при сверлении отверстия такого же диаметра.

В зависимости от диаметра и требуемой точности отверстия развертывание производят одной или двумя развертками. Отверстия 9-го качества точности получают однократным развертыванием. При обработке развертками можно получить отверстия и 11-го качества точности, однако такая высокая точность экономически не оправдывает себя (повышаются затраты на содержание разверток в надлежащем состоянии, используются рабочие более высокой квалификации, а иногда и ручное развертывание).

Шероховатость поверхности при развертывании достигается Ra (5 – 0,32).

При развертывании выделяется большое количество тепла, что приводит к нагреву детали и вследствие этого к конусности обрабатываемого отверстия. Поэтому точность размеров отверстия будет выше при развертывании на больших подачах с обильным охлаждением.

Отверстия больших диаметров, короткие, глухие и с прерывистыми поверхностями, как правило, развертками не обрабатываются.

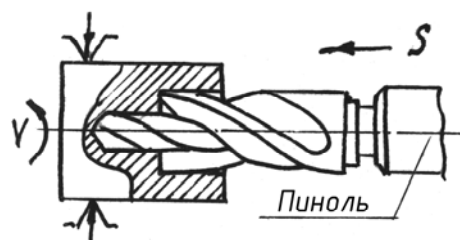
Чистовая обработка отверстий развертыванием применяется преимущественно в единичном и мелкосерийном производстве. Объясняется это тем, что стоимость изготовления разверток, допускающих небольшое число переточек, а также расходы на их переточку значительно превышают стоимость разверток выполнения операций. Стойкость разверток невелика - 300-500 отверстий в чугунных деталях и 80-100 - в стальных.

Обработка отверстий комбинированным инструментом применяется в серийном и массовом производствах в целях повышения производительности и улучшения качества обработки деталей. осуществляется комбинированным инструментом, который позволяет совместить в один рабочий ход последовательно черновую и чистовую обработку одной поверхности, совместить различные операции: сверление и зенкерование, зенкерование и развертывание, развертывание и нарезание резьбы и т.д.

На рис. 76 приведены примеры комбинированных режущих инструментов для обработки отверстий и форма обработанного отверстия.

К недостаткам комбинированного инструмента относится трудоемкость его изготовления и некоторая сложность переточки.

Одновременная обработка нескольких отверстий одной детали широко применяется в приборостроении, так как повышает



Она

Рис. 76 Обработка комбинированным инструментом

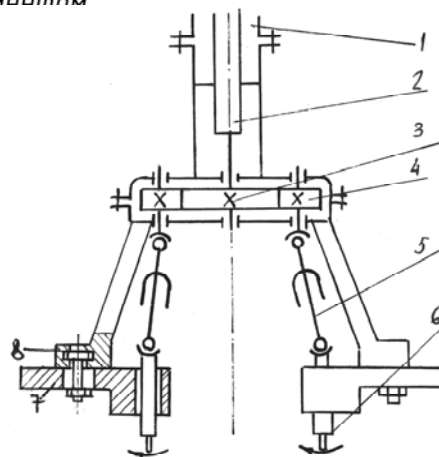


Рис. 77 Схема универсальной головки с раздвижными шарнирными валиками: 1 – корпус; 2 – шпindel; 3 – ведущее зубчатое колесо; 4 – промежуточные зубчатые колеса; 5 – телескопический валик; 6 – рабочие шпиндели; 7 – кронштейны; 8 – корпус головки



производительность труда благодаря сокращению периода резания и затрат времени на смену режущего инструмента.

В крупносерийном и массовом производстве для одновременной обработки нескольких отверстий используют многошпиндельные сверлильные станки и многошпиндельные головки, в серийном - универсальные многошпиндельные головки.

В оптическом приборостроении применяются универсальные головки к вертикально-сверлильным и настольным станкам, причем чаще всего "встречаются головки с раздвижными карданными передачами (Рис. 77). Головка крепится на невращающейся части шпинделя 1 станка. Инструментальные шпиндели 6 получают вращение от вращающейся части 2 шпинделя станка через ведущее зубчатое колесо 3, промежуточные колеса 4 и карданные валики 5.

Положение шпинделей 6 по заданным координатам отверстий обрабатываемой детали достигается перемещением кронштейнов 7, в которых установлены шпиндели, как в радиальном направлении, так и по окружности Т-образных пазов корпуса с последующим закреплением кронштейнов болтами 8.

Растачивание отверстий. Отверстия нестандартных размеров и большого диаметра, глухие и короткие, точные по размерам и форме обрабатывают резцами на станках токарной группы, а также на расточных, агрегатных и других станках.

Растачивание может производиться как при вращении детали, так и при вращении инструмента. В некоторых случаях возможна обработка отверстий при совместном вращении детали и инструмента.

Растачивание на станках токарной группы - малопроизводительный способ обработки отверстий, что обусловлено недостаточной жесткостью расточного резца и плохой его теплоотводящей способностью. Однако оно широко осуществляется при обработке деталей на токарных станках. Это объясняется тем, что при растачивании отверстий резцом можно достигнуть большой точности и более высокого класса чистоты, чем при обработке сверлением и зенкерованием. При обработке резцом удастся выправить ось отверстия и придать ей заданное положение, обработать короткие глухие и больших диаметров отверстия.

Существенным недостатком процесса растачивания является трудность установки резца на размер. Однако на современных токарных станках, оснащенных точными лимбами, установка резца на размер упрощается.

Схемы обработки различных отверстий стандартными расточными резцами приведены на рис. 78.

Схема растачивания сквозных отверстий диаметром до 100-150 мм показана на рис. 78, а; схемы обработки ступенчатых и глухих отверстий - на рис. 78, б. При растачивании отверстий подрезаются и внутренние уступы. Эту операцию можно производить как с поперечной (рис. 78, в), так и с продольной (рис. 78, г) подачами. При подрезании с продольной подачей державку резца поворачивают на угол  $\varphi=5^\circ$ .

Сквозные и глухие отверстия глубиной более 100-150 мм растачивают державочными резцами. При растачивании сквозных отверстий стержень резца устанавливают перпендикулярно оси державки, а при обработке глухих отверстий - под углом  $45^\circ$  или  $60^\circ$ .

Наиболее простая и распространенная схема растачивания - обработка отверстия резцом, консольно закрепленным в суппорте, при этом создаются наиболее благоприятные условия для получения прямолинейной оси отверстия, совпадающей с осью вращения шпинделя станка.

