

## ОПД 06 Процессы формообразования и инструменты

### Тема: Основные схемы обработки отверстий. Элементы режима резания

#### Задание для студентов

1. Ознакомиться с теоретическим материалом
2. Составить конспект лекции
3. Ответить на контрольные вопросы в **письменном виде**
4. Предоставить **конспект лекции и ответы** на контрольные вопросы в электронном виде на проверку.

С уважением, *Гнатюк Ирина Николаевна.*

При необходимости вопросы можно задать по телефону: 072-136-54-46

Работы отправлять на электронную почту [ira.gnatyuk.60@inbox.ru](mailto:ira.gnatyuk.60@inbox.ru)

## ЛЕКЦИЯ

### *План*

1. Основные схемы обработки отверстий
2. Элементы режима резания

### 1. Основные схемы обработки отверстий

Для обработки отверстий резанием необходимо сочетание двух формообразующих движений: главного движения резания ( $D_r$ ) в виде быстрого вращения инструмента или заготовки вокруг оси обрабатываемого отверстия и движения подачи ( $D_s$ ) в виде перемещения инструмента или заготовки вдоль оси отверстия. Таким образом, при обработке отверстий вращательное движение суммируется с поступательным и каждая точка режущих кромок инструмента совершает результирующее движение по винтовой траектории, расположенной на поверхности кругового цилиндра. В качестве оборудования при обработке отверстий используются станки сверлильно-расточной группы либо токарные станки.

За скорость главного движения резания при обработке отверстий принимают окружную скорость точки на максимальном диаметре обрабатываемой поверхности. Скорость резания (м/с)  $v = \pi D n$ , где  $n$  — частота вращения инструмента или заготовки,  $\text{с}^{-1}$ ;  $D$  — наибольший диаметр обработки, м. На практике чаще используют зависимость, в которой время измеряют в минутах, а диаметр — в миллиметрах:  $v = \pi D n / 1000$ . Подачей на оборот  $S_0$  (мм/об) называют расстояние, пройденное рассматриваемой точкой

в направлении движения подачи за один оборот инструмента или заготовки. При применении многолезвийных инструментов для обработки отверстий целесообразно использовать подачу на зуб  $S_z$  (мм/зуб), соответствующую перемещению инструмента (заготовки) в направлении движения подачи за время поворота на один угловой шаг зубьев режущего инструмента. Между подачей на оборот  $S_o$  и подачей на зуб  $S_z$  существует зависимость:  $S_o = S_z z$ . При обработке отверстия в сплошном материале глубина резания  $t$  определяется как половина диаметра этого отверстия:  $t = D/2$ . При рассверливании, зенкеровании, развертывании и растачивании глубина резания определяется как полуразность диаметров до и после обработки:  $t = 1/2 (D - d)$ , мм. Срезаемый в процессе обработки отверстий слой металла характеризуется толщиной  $a$  и шириной  $b$ . За толщину срезаемого слоя принимают длину нормали к поверхности резания, проведенную через рассматриваемую точку режущей кромки и ограниченную сечением срезаемого слоя. Шириной срезаемого слоя  $b$  считается длина стороны сечения срезаемого слоя, измеренная по поверхности резания (рисунок 76).

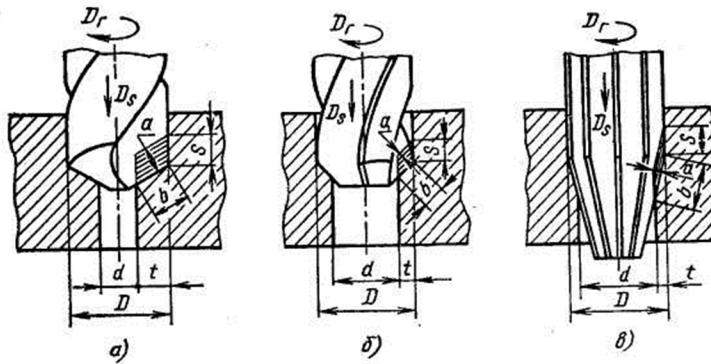


Рисунок 1 – Элементы режима резания и срезаемого слоя при рассверливании, зенкеровании и развертывании

Наиболее широкое распространение при обработке отверстий получили операции сверления (рисунок 1,а), зенкерования (рисунок 1,б), развертывания (рисунок 1,в), растачивания, нарезания внутренней резьбы и обработки центровых отверстий. В зависимости от требований чертежа некоторые из перечисленных операций дополняются обработкой бобышек и углублений вокруг отверстий. Для этих целей применяют (рис.2): зенкерование цилиндрических углублений (рис.2,а), зенкерование конических углублений (рис. 2, б) и цекование торцов бобышек (рис.2,в, г), прилегающих к отверстиям.

Сверление используют при получении глухих и сквозных отверстий в сплошном материале. Обработанные отверстия имеют параметр шероховатости  $R_a=12,5$  мкм и точность по 12—14-му квалитету.

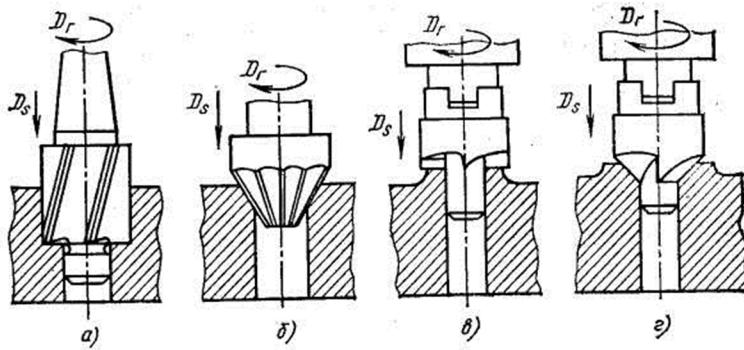


Рисунок 2 – Схема обработки углублений и бобышек зенкерами и цековками

Отверстия, обработанные сверлом, используют обычно для болтовых соединений либо для последующего нарезания резьбы.

Зенкерование применяют при обработке глухих и сквозных отверстий, предварительно обработанных сверлением либо полученных литьем или ковкой (штамповкой). Обработка при зенкеровании проводится многозубым инструментом — зенкером ( $z= 3 \dots 8$ ). Увеличенное по сравнению со сверлом число режущих зубьев зенкера позволяет получить при зенкеровании более точное по форме и размеру отверстие. При этом обеспечивается параметр шероховатости обработанных поверхностей  $Ra= 6,3$  мкм.

Глубина резания при зенкеровании увеличивается с возрастанием диаметра отверстия, ее назначают исходя из необходимости получения минимальности припуска под обработку. Она обычно составляет  $(0,05-0,1)$   $d_3$ , где  $d_3$  — диаметр отверстия, обработанного зенкерованием.

Развертывание выполняется обычно после зенкерования или растачивания и является финишной обработкой точных отверстий. Наибольшая точность и минимальная шероховатость при развертывании обеспечиваются в случае обработки за два перехода — черновое и чистовое развертывание. В среднем при развертывании достигается точность, соответствующая 6—9-му квалитету, и  $Ra = 0,32 \dots 1,25$  мкм. Развертывание осуществляется развертками, представляющими собой многолезвийный инструмент с четным числом зубьев (обычно  $z \geq 4$ ). Большое число режущих лезвий, малые толщины среза  $a_z < 0,04$  мм и наличие калибрующей части обеспечивают высокую точность формы отверстия, но не могут исправить направление его оси. Получению малой шероховатости при развертывании способствует применение СОТС в основном в виде смазочных материалов. Для развертывания характерна очень малая глубина резания, которая в зависимости от диаметра отверстия составляет 0,1—0,4 мм.

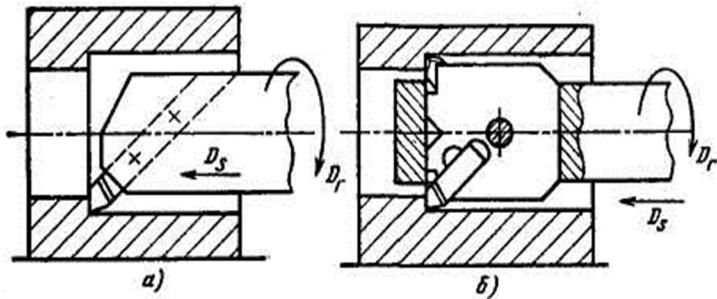


Рисунок 3 – Схема растачивания отверстий резцом и плавающим блоком

Наряду с зенкерованием и развертыванием для обработки отверстий повышенной точности широко используют растачивание. Основными схемами являются: растачивание резцом, закрепленным в консольной оправке или борштанге (рис. 73, а), и растачивание плавающим двухлезвийным блоком (рис. 3, б).

Растачивание резцом обеспечивает малое отклонение межосевого расстояния осей обрабатываемых отверстий, позволяет путем изменения положения резца обрабатывать отверстия разных диаметров и глубин. К недостаткам этой схемы растачивания относятся: значительная трудоемкость наладки; пониженная размерная стойкость расточного резца; необходимость специальных мер для бесприсочного вывода резца из обработанного отверстия. В среднем растачиванием обеспечивают шероховатость  $R_a = 0,32 \text{ мкм}$  и точность, соответствующую 6—7-му квалитету.

В настоящее время в качестве финишных методов обработки отверстий получили распространение методы поверхностного пластического деформирования (ППД), сходные по схеме обработки с резанием. В отличие от резания, где происходит срезание микронеровностей с обрабатываемой поверхности, при ППД микронеровности пластически деформируются гладкой рабочей частью инструмента. При такой обработке не только существенно снижается шероховатость, но и происходит упрочнение поверхностного слоя обрабатываемого отверстия.

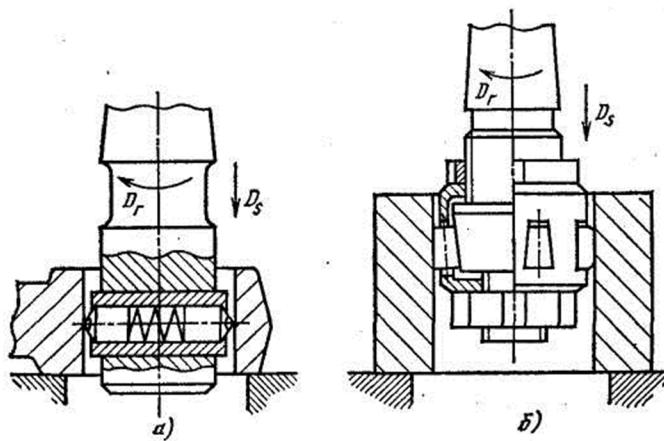


Рисунок 4 – Схемы обработки отверстий выглаживанием и накатыванием

Все схемы обработки отверстий методами ППД делятся на схемы выглаживания (рис. 4), в которых деформирующий элемент скользит по обрабатываемой поверхности, и схемы накатывания, где деформирующий элемент катится по обрабатываемой поверхности. Использование при выглаживании в качестве деформирующего элемента твердосплавного или алмазного наконечника с малым радиусом скругления рабочей поверхности ( $R = 0,75 \dots 4,0$  мм) позволяет даже при малых силах (50—300 Н) проводить обработку ППД как маложестких деталей, так и деталей из материалов высокой твердости 60—65 HRC<sub>9</sub>. При выглаживании существенно снижается шероховатость обрабатываемой поверхности (до  $R_a = 0,4$  мкм) и на 20—40 % упрочняется поверхностный слой.

По сравнению с выглаживанием накатывание более производительно и обеспечивает большую глубину упрочненного слоя. В то же время параметр шероховатости при накатывании больше, чем при выглаживании, и составляет для стальных деталей  $R_a = 0,08 \dots 0,063$  мкм по сравнению с исходным  $R_a = 12,5 \dots 6,3$  мкм.

Припуск под обработку ППД в среднем составляет 0,008—0,03 мм.

## 2. Элементы режима резания при сверлении

Элементами режима резания при сверлении являются:

- 1) скорость резания;
- 2) подача;
- 3) глубина резания;
- 4) площадь поперечного сечения среза;
- 5) машинное время.

Скоростью резания  $V$  при сверлении называют окружную скорость точки режущей кромки, наиболее удаленной от оси сверла.

Выбор скорости резания при сверлении зависит от ряда факторов – механических свойств обрабатываемого материала и металла режущей части сверла, диаметра сверла, величины подачи, стойкости инструмента, охлаждения, глубины сверления и т. д. Например, при работе сверла с режущими кромками из твердосплавной пластинки ВК8 скорость резания стали колеблется в пределах 45–80 м/мин, чугуна – 50–95 м/мин.

Подача  $S$  равна величине перемещения сверла вдоль оси в миллиметрах за один оборот.

Глубину резания  $t$  при сверлении отверстий в сплошном материале принято считать равной половине диаметра сверла (рисунок 5).

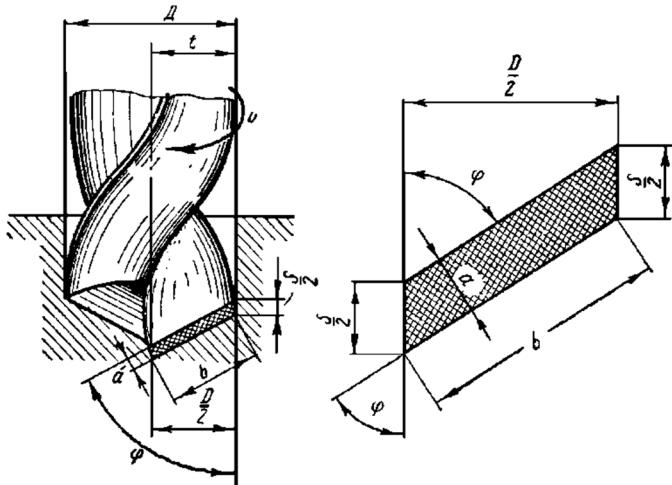


Рисунок 5- Элементы режима резания при сверлении

*Площадь поперечного сечения среза* (сечение стружки), снимаемого двумя главными режущими кромками сверла за один оборот, определяют как удвоенное произведение толщины  $a$  на ширину среза  $b$  (рисунок 5).

*Машинное время*, потребное для сверления отверстий в сплошном теле, рассчитывают с учетом длины прохода, подачи и числа оборотов сверла.

Мощность резания при сверлении  $N_p$  определяют, исходя из крутящего момента сопротивления резанию  $M_{kp}$  и числа оборотов сверла  $n$  в 1 мин, по формуле, кВт,

$$N_p = \frac{M_{kp} \cdot n}{716,2 \cdot 1000 \cdot 1,36},$$

где 716,2 – коэффициент перевода мощности из килограмм-метр в секунду в лошадиные силы при вращательном движении.

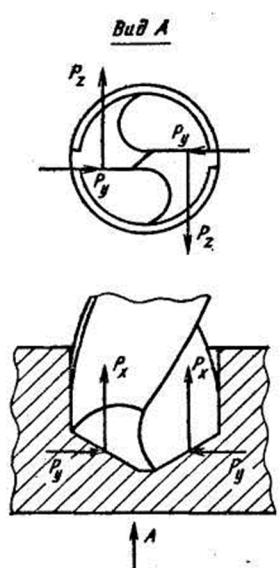
### Силы резания и мощность при сверлении

Особенности стружкообразования при обработке отверстий наиболее ярко проявляются при сверлении. Так, при сверлении наблюдается значительная усадка стружки, неравномерная вдоль главных режущих кромок и возрастающая на участках, близких к оси. Это возрастание объясняется малыми скоростями и большими углами резания в зонах, близких к оси. Усадка при сверлении также нарастает с увеличением глубины отверстия, что связано с увеличением трения стружки о стенки отверстия. Значительные деформации стружки и интенсивное трение между сверлом, стружкой и стенками отверстия являются причиной увеличения сил резания, которое определяется особенностями физико-механических свойств обрабатываемого материала.

Равнодействующие силы резания, приложенных к режущим кромкам сверла, для удобства раскладывают на три взаимно перпендикулярные составляющие: главные составляющие силы резания  $P_z$ ; осевые составляющие

$P_x$ ; радиальные составляющие  $P_y$ .

Главные составляющие  $P_z$  создают на сверле крутящий момент, скручающий сверло и действующий на механизм привода главного движения. Осевые составляющие ( $P_x$ ) сжимают сверло вдоль продольной оси и действуют на механизм движения подачи. Радиальные составляющие ( $P_y$ ) равны и направлены навстречу друг другу. При неодинаковой заточке режущих лезвий радиальные составляющие не уравновешиваются, что снижает точность обработки.



Так как в направлении перемещений  $D_r$  и  $D_s$  действуют соответственно составляющие  $P_z$  и  $P_x$ , то для них могут быть определены работа и мощность, затрачиваемые на резание:  $N_{\text{рез}} = N_z + N_x$ , где  $N_z$ ,  $N_x$  — мощность, затрачиваемая соответственно на вращение и на движение подачи при сверлении. В большинстве случаев при сверлении  $N_x \leq (0,5 \dots 2,0 \%) N_z$ , и потому величиной  $N_x$  пренебрегают, считая  $N_{\text{рез}} = N_z = M n / 9750$ , где  $M$  — суммарный момент от сил сопротивления резанию, Н·м;  $n$  — частота вращения, мин<sup>-1</sup>.

Важные для практических расчетов величины  $M$  и  $P_x$  определяют по эмпирическим формулам, приводимым в справочниках:

$$M = C_M d^x_m S_o^y M K_M;$$

$$P_x = C_P d^x_p S_o^y K_P,$$

где  $C_M$  и  $C_P$  — постоянные, зависящие от обрабатываемого материала;  $d$  — диаметр сверла;  $S_o$  — подача на оборот;  $x_m$ ,  $x_p$ ,  $y_p$ ,  $y_m$  — показатели степени, полученные опытным путем;  $K_M$ ,  $K_P$  — поправочные коэффициенты, учитывающие отличие фактических условий от условий опыта.

Величину  $N_{\text{рез}}$  используют при выборе станка по мощности ( $N_{\text{ст}} \geq N_{\text{рез}}$ ), а величину  $P_x$  — при проверке прочности механизма движения подачи по допустимой нагрузке.

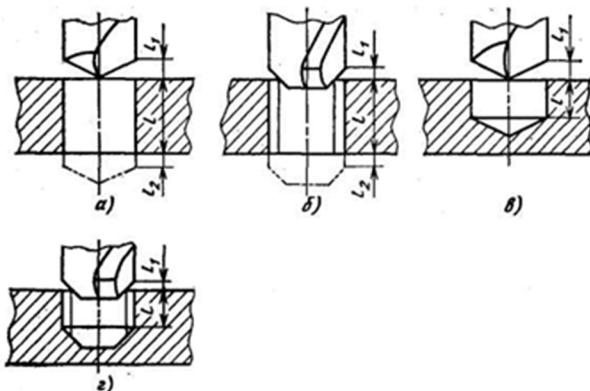


Рисунок 6 – Схема определения расчетной длины обработки

## **Определение основного времени**

Основное время  $t_0$ (мин) при обработке отверстий различными методами рассчитывают по общей формуле, составляющие которой определяются видом и условиями обработки:

$$t_0 = L_p / (nS_0).$$

$$\text{Расчетная длина (рисунок 81)} \quad L_p = l_1 + l + l_2,$$

где  $l_1$  — длина врезания, зависящая от глубины резания  $t$  и угла  $\varphi$  на инструменте:

$$l_1 = t \operatorname{ctg} \varphi;$$

$l$  — длина обработки;

$l_2$  — перебег инструмента; (3 ... 5)

$So \leq l_2 \leq 2 \dots 3$  мм (рисунок 6, а, б), при обработке глухих отверстий  $l_2 = 0$  (рис. 6, в, г)

;  $n$  — частота вращения инструмента или заготовки, мин<sup>-1</sup>;

$So$  — подача, мм/об.

При растачивании отверстий за несколько рабочих проходов (*i*) формула для расчета  $t_0$  (мин) принимает вид  $t_0 = Lpi / (nS_0)$ .

### ***Контрольные вопросы:***

1. Какой инструмент используют после сверления (или растачивания) для получения точных отверстий?
2. Какой инструмент используют после сверления (или растачивания) для получения отверстия с минимальной шероховатостью?
3. Почему при определении расчетной длины резания учитывают длину врезания и перебега инструмента?