

1 Исходные данные

При расчете комбинированного сверла исходными данными являются:

- диаметры ступеней обрабатываемого отверстия d_1 и d_2 соответственно,
- длины ступеней обрабатываемого отверстия l_1 и l_2 соответственно,
- угол фаски на второй ступени отверстия φ ,
- обрабатываемый материал.

2 Анализ и техническое обоснование принятой конструкции сверла

В массовом и крупносерийной производстве для повышения производительности при обработке ступенчатых отверстий применяют комбинированные сверла. Эти инструменты могут использоваться на сверлильных, револьверных, агрегатных станках и токарных полуавтоматах.

Сверла изготавливают из быстрорежущей стали, из твердого сплава или минералокерамики. На выбор марки инструментального материала влияют физико-механические свойства обрабатываемого материала, размеры обрабатываемого отверстия.

Твердость рабочей части сверл из быстрорежущих сталей 62-65 HRC₃. При изготовлении сверл из кобальтовых (кобальта >5%) и ванадиевых (ванадия >3%) быстрорежущих сталей твердость должна быть на 1—2 единицы HRC₃ выше.

Сверла малого диаметра изготавливают цельными. Инструменты диаметром больше 10-15 мм с целью экономии инструментального материала изготавливают сборными (с напайными или неперетачиваемыми пластинками твердого сплава) или составными (сварными). При изготовлении составных сверл рабочую часть инструмента делают из быстрорежущей стали, а хвостовик – из легированной конструкционной стали. Соединяют отдельные части инструмента сваркой трением или электроконтактной сваркой. Хвостовики составных сверл изготавливают из сталей 40X или 45X. Твердость корпуса 40-50 HRC₃.

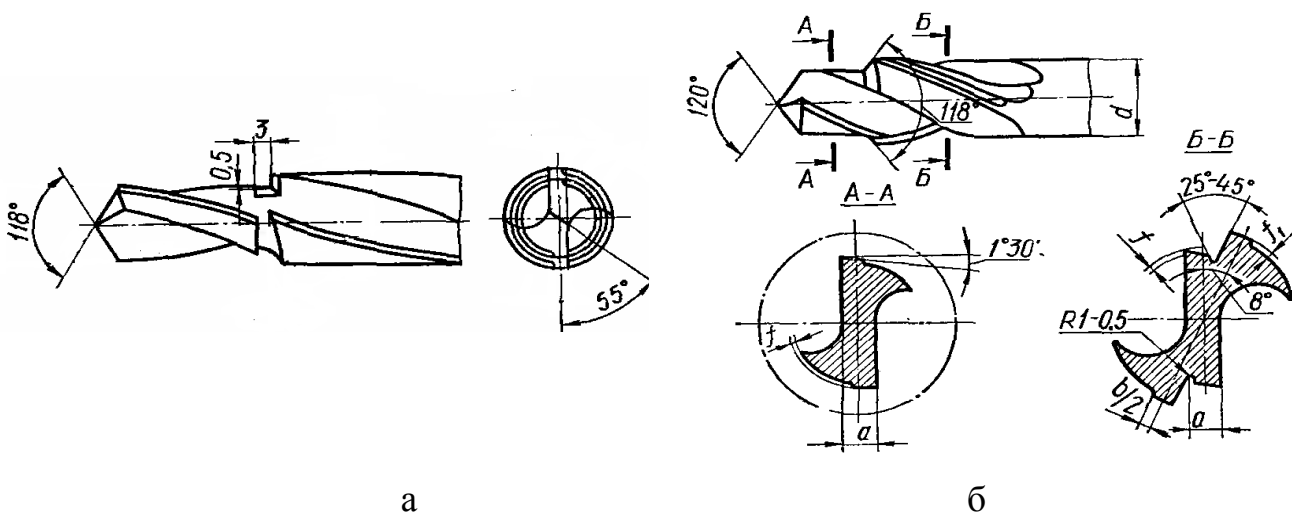


Рисунок 1 - Типы комбинированных сверл

При малом перепаде диаметров ступеней обрабатываемого отверстия комбинированные сверла изготавливаются с общей стружечной канавкой для всех ступеней (рис.1,а). Такие инструменты более просты в изготовлении, но допускают сравни-

тельно небольшое количество переточек, которое ограничено длиной ступени малого диаметра.

Поэтому находят применение сверла с чередующимися зубьями (рис.1,б). У этих инструментов для каждой режущей кромки создается своя винтовая канавка и соответствующая ей ленточка. Такие инструменты допускают значительное число переточек, так как калибрующий участок каждой ступени проходит по всей длине рабочей части.

У инструментов с чередующимися зубьями только калибрующая часть ступени максимального диаметра имеет цилиндрическую ленточку и обратную конусность. Ленточки калибрующих частей других ступеней шириной 0,5-0,6 мм не имеют обратной конусности и затачиваются по всей длине под вспомогательным задним углом в плане равным $5-6^{\circ}$.

В зависимости от диаметра сверла изготавливают с цилиндрическим или коническим хвостовиком. Сверла малого диаметра (до 10 мм) чаще всего делают с цилиндрическим хвостовиком, более крупные - с хвостовиком в виде конуса Морзе. Преимуществом конического хвостовика является лучшее центрирование инструмента и возможность передачи усилия резания за счет сил трения между хвостовиком и посадочным отверстием в шпинделе.

На основании вышеизложенного выбирают тип, конструкцию и материал комбинированного сверла.

3 Проектирование комбинированного сверла

3.1 Определение геометрических параметров режущей части

1. Главный угол в плане φ .

В общем случае главный угол в плане для сверл выбирается в зависимости от свойств обрабатываемого материала. Но для комбинированных инструментов главный угол в плане на второй ступени желательно принимать равным углу переходной фаски между ступенями.

Значение двойного угла в плане для стандартных сверл приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Значения угла 2φ

Обрабатываемый материал	Угол 2φ , град
Сталь конструкционная	116-120
Сталь нержавеющая, жаропрочная, высокопрочная	125-150
Чугун, бронза средней твердости	90-100
Чугун твердый	120-125
Латунь, алюминиевые сплавы	125
Медь	80-100
Пластмасса	

Допуск на угол 2φ составляет $\pm 2^\circ$.

2. Задний угол.

Задний угол α является важным элементом конструкции сверла. Его величина в значительной мере влияет на стойкость инструмента. Задние углы являются переменными; минимальное значение они принимают на периферии сверла.

Для сверл из быстрорежущей стали малых размеров величина заднего угла на периферии принимается порядка 20° , для сверл средних размеров универсального применения рекомендуемые величины задних углов лежат в пределах $10-15^\circ$. При обработке особо твердых материалов высокой прочности величины задних углов снижаются до $7-10^\circ$, а при обработке легких сплавов увеличиваются до 20° .

Для твердосплавных сверл $\alpha=4...6^\circ$.

3. Угол наклона стружечной канавки.

Угол наклона винтовых канавок сверла ω оказывает влияние на прочность и жесткость сверл, а также на стружкоотвод. Угол наклона стружечной канавки ω задается для наружного диаметра сверла.

Для стандартных сверл общего назначения величина угла ω изменяется в зависимости от диаметра сверла (табл. 2).

Таблица 2 – Величина угла наклона стружечной канавки для стандартных сверл

Диаметр, мм	6-8,2	8,3-11,5	11,6-16,5	16,5-22	22,5-33	33,5-44	44,5-80
Угол ω , град	27	28	29	30	31	32	33

Кроме того, величина угла наклона стружечной канавки зависит от обрабатываемого материала. Рекомендуются следующие значения углов: для обработки хрупких материалов (чугун, бронза и др.) $\omega=10-16^\circ$; для обработки материалов средней прочности и вязкости (конструкционные стали) $\omega=25-35^\circ$; для обработки вязких материалов (алюминий, медь) $\omega=35-45^\circ$.

Допуск на угол ω составляет $\pm 2^\circ$.

Иногда, кроме угла ω задается шаг винтовых канавок

$$H_i = \frac{\pi D_i}{\operatorname{tg} \omega}$$

где D_i – диаметр соответствующей ступени сверла, мм.

4. Угол наклона поперечной режущей кромки.

Поперечная режущая кромка с проекциями главных режущих кромок образует угол ψ – угол наклона поперечного лезвия; обычно $\psi=50-55^\circ$.

3.2 Определение размеров поперечного сечения сверла

1 Диаметр ступеней сверла.

Наружный диаметр ступеней сверла D_i принимается равным диаметру соответствующей ступени обрабатываемого отверстия и выполняется с допуском по $h7$ или $h8$

для сверл классов точности А и А1 и В, В1 соответственно.

С целью снижения трения сверла о поверхность обрабатываемого отверстия рабочая часть выполняют с обратной конусностью (уменьшением диаметра по направлению к хвостовику). Для сверл универсального назначения на длине 100 мм величина обратной конусности принимается равной 0,04-0,10 мм для сверл диаметром 6-18 мм и 0,05-0,12 для сверл большего диаметра.

Сверла, оснащенные пластинками из твердого сплава, имеют обратную конусность только на длине пластинки равную 0,03— 0,05 мм — для сверл с $d=5-10$ мм и 0,05-0,8 мм для сверл большего диаметра.

2. Величина ленточки.

Для уменьшения трения сверла о поверхность отверстия на его зубьях по всей длине срезается спинка с оставлением небольшой шлифованной ленточки f_0 (рис.2). Ленточка служит для направления сверла в процессе работы. На величине приблизительно равной половине подачи кромка ленточки, примыкающая к главным режущим кромкам, выполняет роль вспомогательной кромки и формирует поверхность отверстия. На этом участке направляющая ленточка служит вспомогательной задней поверхностью с задними углами, равными нулю.

Ширина направляющей ленточки оказывает значительное влияние на работу сверла. С увеличением ширины ленточки улучшается направление сверла, что благоприятно сказывается на его работе. Однако в этом случае возрастает трение ленточки о стенки отверстия, что увеличивает интенсивность износа сверл и понижает их стойкость.

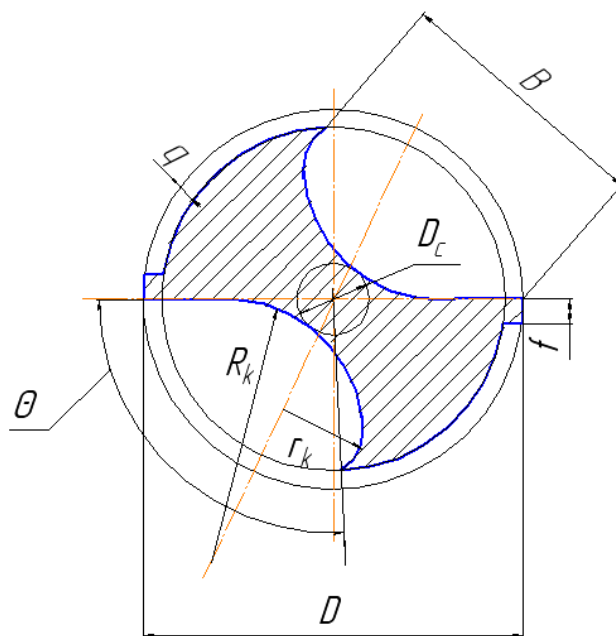


Рисунок 2 - Поперечное сечение сверла

Ширина ленточки определяется зависимостью

$$f = (0,32...0,45)\sqrt{D} .$$

Высота ленточки

$$q = 0,025D .$$

По технологическим соображениям величина $2q$ должна соответствовать условию

$$0,1 < 2q < 2,5, \text{ мм.}$$

3. Сердцевина сверла.

Диаметр сердцевины сверл из быстрорежущей стали принимается равной $K=(0,27-0,2)D$ при $D < 3$ мм; $K=(0,19-0,15)D$ при $D=3-18$ мм и $K=(0,145-0,125)D$ при $D > 18$ мм. Значение K обычно переменное и увеличивается по направлению к хвостовику на 1,4—1,7 мм на 100 мм длины с целью повышения прочности и жесткости сверла.

4. Профиль стружечной канавки.

Форма канавки должна обеспечить достаточную прочность сверла, достаточное место для размещения стружки и ее легкий отвод. Основными параметрами формы канавки являются ширина канавки и кривые сопряжения.

Ширина канавки в нормальном сечении принимается равной ширине зуба, то есть центральный угол $\Theta=90^\circ$. Иногда угол Θ у сверл универсального назначения увеличивают до 92° . У сверл, предназначенных для сверления легких металлов, рекомендуется увеличивать угол канавки до 116° .

Ширина канавки равна

$$B=0,785D.$$

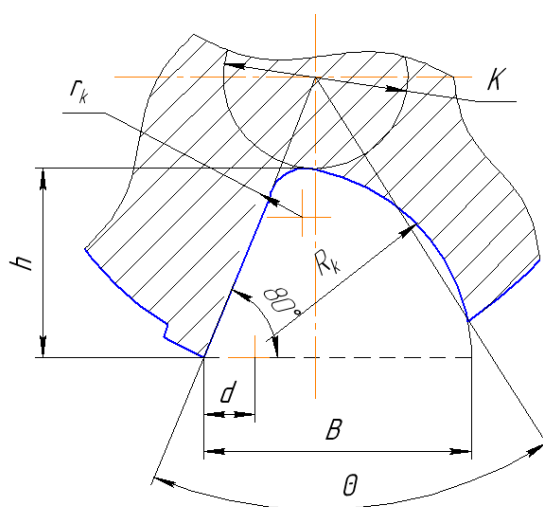


Рисунок 3 - Профиль стружечной канавки

Кривые сопряжения канавки рассматриваются в нормальном сечении калибрующей части сверла и определяют профиль канавочной фрезы. При упрощенном аналитическом способе расчета профиль канавки представляют двумя радиусами сопряжения R_k и r_k .

$$R_k = C_R C_K D,$$

где D – диаметр сверла, мм,

$$C_R = \frac{0,026 * 2\varphi^3 \sqrt{2\varphi}}{\omega},$$

C_T – коэффициент, значение которого выбирается из табл.3 в зависимости

от диаметра сердцевины сверла,

ω - угол наклона стружечной канавки, град,

φ – главный угол в плане, град.

$$r_k = 0,015\omega^{0,75} D.$$

Таблица 4 – Значения коэффициента C_r для расчета радиуса скругления стружечной канавки

K равное	$(0,28-0,2)D$	$(0,19-0,15)D$	$(0,14-0,12)D$
C_r	0,9701-0,9844	0,9868-0,9969	1-0,9748

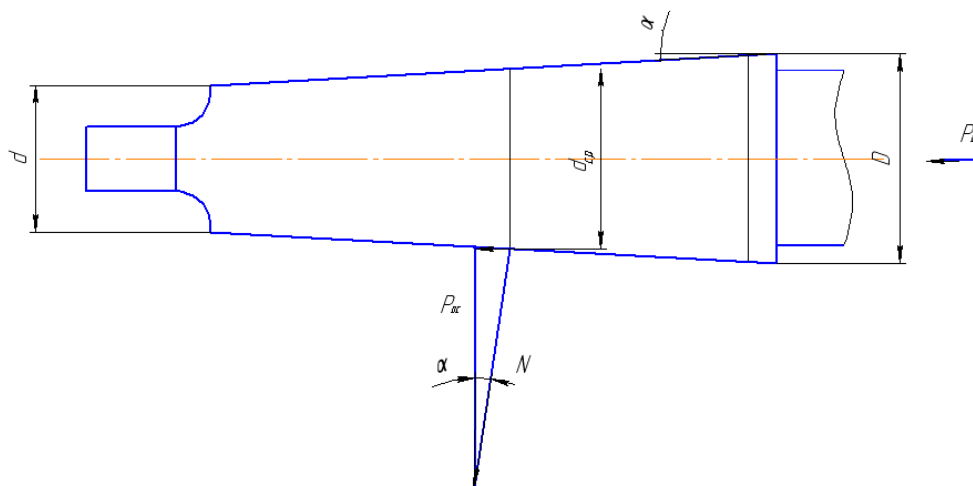
3.3 Хвостовик сверла

Сверла диаметром менее 10-12 мм выполняют с цилиндрическим хвостовиком, диаметр которого принимают равным диаметру второй ступени сверла. Цилиндрический хвостовик изготавливают по h9.

Сверла большего диаметра изготавливают с хвостовиком в виде конуса Морзе. Конус Морзе с углом конуса близко $1^{\circ}30'$ является самотормозящим, то есть крутящий момент от шпинделя станка к инструменту передается за счет сил трения. Инструменты с такими хвостовиками не нужно дополнительно крепить в шпинделе. Конуса Морзе изготавливают с точностью по АТ7 для сверл классов точности А, А1, и с точностью АТ8 для сверл классов точности В, В1.

Диаметр конического хвостовика определяется из условия обеспечения самоторможения. Расчетная схема для определения диаметра хвостовика приведена на рис.4.

Рисунок 4 - Система сил, действующих на конический хвостовик



Условием передачи крутящего момента за счет сил трения является выполнение неравенства

$$M_{тер} \geq \kappa M_{кр},$$

где $M_{тер}$ – момент сил трения, Нм,

κ – коэффициент запаса ($\kappa=4\dots 6$),

$M_{кр}$ – суммарный крутящий момент резания, Нм.

Момент, создаваемый силами трения, определяется зависимостью

$$M_{\text{тр}} = \frac{\mu P_o (D_1 + d)}{4 \sin \alpha} (1 - 0,04 \Delta \alpha),$$

где $\mu = 0,1$ - коэффициент трения,

P_o - суммарная осевая составляющая силы резания, Н,

α - угол конусности хвостовика, град,

$\Delta \alpha = 5'$ - суммарная величина погрешности конуса и конусного отверстия;

$$d_{\text{cp}} = \frac{D_1 + d}{2} - \text{средний диаметр конуса, мм,}$$

D_1 и d - наибольший и наименьший диаметры конического хвостовика соответственно, мм.

Средний диаметр конуса находят по формуле

$$d_{\text{cp}} = \frac{4kM_{\text{кр}} \sin \alpha}{\mu P_o (1 - 0,04 \Delta \alpha)}.$$

Максимальный диаметр конуса Морзе определяется зависимостью

$$D_{\text{max}} = d_{\text{cp}} / 0,18$$

По рассчитанному диаметру хвостовика по справочнику определяют номер конуса Морзе и его размеры.

3.4 Длина сверла

Общая длина комбинированного сверла равна сумме длин всех его ступеней и длине хвостовика. Для двухступенчатого сверла длина рассчитывается по формуле

$$L = L_1 + L_2 + l_{\text{хв}} + l_{\text{ш}},$$

где L_1 - длина первой ступени, мм,

L_2 - длина второй ступени, мм,

$l_{\text{хв}}$ - длина хвостовика, мм,

$l_{\text{ш}} = 10-15$ мм - длина переходной шейки.

Переходная шейка делается между рабочей частью инструмента и хвостовиком для удобства шлифования ленточки сверла и конуса. Диаметр переходной шейки равен диаметру рабочей части инструмента или может быть немного меньше.

Длина первой ступени равна

$$L_1 = l_1 + l_k + l_{\text{пер}} + l_{\text{зам}},$$

где l_1 - длина первой ступени обрабатываемого отверстия, мм,

l_k - длина режущей части, мм,

$l_{\text{пер}} = 2-3$ мм - величина перебега сверла,

$l_{\text{зам}} = 1,7D_1$ - запас на переточку, мм

D_1 - диаметр первой ступени сверла, мм.

Длина второй ступени равна

$$L_2 = l_2 + l_k + l_r + l_{\text{зам}},$$

где l_1 – длина первой ступени обрабатываемого отверстия, мм,
 l_k – длина режущей части, мм,
 $l_r=0,5D_2$ – величина стружечной канавки неполной глубины, необходимая для выхода фрезы,
 $l_{зам}=1,7D_2$ – запас на переточку, мм
 D_2 - диаметр второй ступени сверла, мм.

4 Проверка сверла на устойчивость

В процессе работы сверло можно рассматривать как вертикальный стержень, на который действует осевая сила. Под действием этой силы сверло может потерять устойчивость, то есть ось сверла отклонится от вертикали. Потеря устойчивости сверла приводит к ухудшению точности обработанного отверстия или к поломке инструмента. Осевая сила, которую выдерживает сверло без потери устойчивости, называется критической сжимающей силой $P_{кр}$.

Должно выполняться условие

$$P_{кр} > kP_o,$$

где P_o – суммарная осевая сила резания, Н,
 k – коэффициент формы перемычки, $k=1$ – при наличии подточки перемычки, $k=1,3$ – при отсутствии подточки перемычки.

Критическая сжимающая сила зависит от площади поперечного сечения сверла и его вылета и определяется по формуле

$$P_{кр} = \eta \frac{EI_{min}}{(l_1 + l_2)^2},$$

где $E=2 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости материала сверла,
 $I_{min}=0,039D_1^4$ – минимальный момент инерции сечения сверла, мм⁴,
 l_1 и l_2 – длины ступеней сверла, мм,
 η - коэффициент критической нагрузки (табл.5).

Таблица 5 – Значение коэффициента η для двухступенчатого инструмента

η	$\frac{P_{o1} + P_{o2}}{P_{o1}}$				
	1,00	1,25	1,50	1,75	≥ 2
1,00	9,87	10,9	11,9	12,5	13,0
1,25	8,79	9,77	10,5	11,2	11,8
1,5	7,87	8,79	9,49	10,1	10,7
1,75	7,09	8,01	8,62	9,13	9,77
≥ 2	6,42	7,33	7,87	8,46	8,40

Сведения о точности изготовления сверл приведены в приложении 1.

Таблица 1 - Допуск радиального биения сверл из быстрорежущей стали, мм

Диаметр сверла, мм	Сверла с цилиндрическим хвостовиком		Сверла с коническим хвостовиком	
	точного исполнения	обычного назначения	точного исполнения	обычного назначения
3-10	0,06	0,08	0,08	0,12
Св. 10	0,08	0,12	0,12	0,15

Таблица 2 - Допуск осевого биения режущих кромок сверл

Вид сверла	Диаметр сверла, мм	Допуск, мм
Быстрорежущие	до 6	0,05/0,12
	6-10	0,10/0,18
	св.10	0,20/0,30
С пластинками твердого сплава	5-10	0,06/0,12
	св.10	0,08/0,15

В числителе даны значения для сверл точного исполнения, в знаменателе – для сверл общего назначения.