

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СВЕРЛА

Коваленко В.И., Федосов Н.Н. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

*In article the determination of the area of cross section of a drill is considered. It is necessary for calculation of drills on durability and stability. At calculation the rate of core radius of a drill to radius of a total drill, and also change of the area of cross section of a drill is taken into account at moving the calculation area from top of a drill to a rear (range of diameters of drills = 5 - 50 mm).*

## Обзор состояния вопроса.

Проблема точности отверстий, получаемых осевыми режущими инструментами, в том числе сверлами, является актуальной. Уже на стадии проектирования инструмента в ряде случаев необходимо рассчитать величину возможной погрешности, вызываемой инструментом во время работы. Для рациональной эксплуатации осевого режущего инструмента, в частности сверл, требуется их расчет на прочность, а в некоторых случаях (например, при сверлении глубоких отверстий) – также и на устойчивость [1].

При расчете сверл на прочность и устойчивость необходимо знание, в частности, сил резания (определяются по общемашиностроительным справочникам [2] или по специальным методикам [3]) и площадей поперечного сечения сверла. В известной литературе [4 - 6] подобные расчеты выполнены только для сверл, имеющих наиболее употребительные конструктивные характеристики. В то же время в зависимости от конкретных условий обработки могут использоваться нестандартные сверла с конструктивными характеристиками, отличающимися от наиболее употребительных; в этом случае требуется точное определение площади поперечного сечения сверла.

**Целью** работы является определения площади поперечного сечения сверл, имеющих различные конструктивные особенности. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**: предложить общую методику определения площади поперечного сечения сверл; определить площадь поперечного сечения сверл при постоянном отношении радиуса сердцевинки сверла к радиусу сверла; определить площадь поперечного сечения сверл при изменении расчетного сечения от вершины сверла к хвостовику.

## Общая методика определения площади поперечного сечения сверл.

Радиус сердцевинки сверла  $r_c$  определяется в зависимости от радиуса сверла  $r$  по выражению

$$r_c = h \cdot r, \quad (1)$$

где  $h$  – коэффициент радиуса сердцевинки.

На практике сверла выполняют с радиусом сердцевинки, увеличивающимся при перемещении расчетного сечения от вершины сверла к хвостовику по всей длине рабочей части; сердцевину увеличивают по направлению к хвостовику для повышения прочности и устойчивости сверл.

При постоянном радиусе сердцевинки сверла, его значение в любой точке длины рабочей части определяется по зависимости (1). В этом случае площадь поперечного сечения сверла является функцией от  $r$  и  $h$ :

$$S = f(r, h). \quad (2)$$

Определим значение радиуса сердцевины сверла в расчетном сечении, расположенном в любой произвольной точке вдоль оси сверла ( $r_{ck}$ ).

Введем обозначения:

$n = l_p/l$  – коэффициент расчетной длины, где  $l_p$  – расчетная длина (расстояние от конца режущей части сверла т. О до искомой точки, рис. 1);  $l$  – длина рабочей части сверла. Коэффициент  $n$  изменяется в пределах  $n = (0 \div 1)$ . Например,  $n = 0,5$  соответствует расчетной длине, равной половине общей длины сверла.

$k_c$  – коэффициент изменения радиуса сердцевины (радиус сердцевины увеличивается на  $k_c$  мм на каждые 100 мм длины рабочей части сверла).

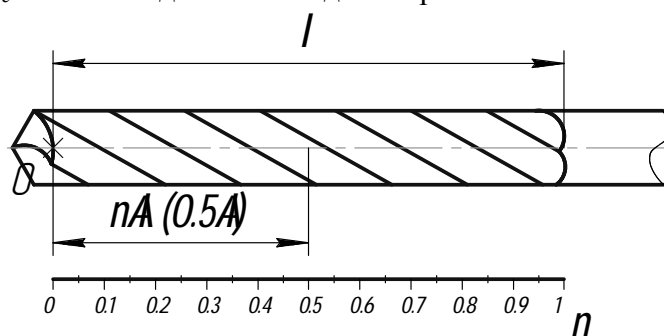


Рис. 1. К определению коэффициента  $n$ .

С учетом введенных коэффициентов, определение значения радиуса сердцевины при его увеличении на определенной длине рабочей части сверла выполняется по следующей зависимости

$$r_{ck} = \frac{n \cdot l}{100} \cdot k_c + r_c. \quad (3)$$

Учитывая выражение (3), функциональная зависимость (2) изменится. В этом случае площадь поперечного сечения является функцией от величин  $r, h, n$ :

$$S = f(r, h, n). \quad (4)$$

Зависимость (4) можно свести к (2) при  $n = 0$ , то есть при рассмотрении сечения сверла в точке  $O$  (см. рис. 1).

Для стандартных сверл изменение коэффициента радиуса сердцевины колеблется в пределах  $h = 0,12 \div 0,30$ . В целях исследования влияния радиуса сердцевины на прочность и устойчивость сверл увеличим этот интервал до следующего диапазона значений коэффициента радиуса сердцевины:  $h = 0 \div 1$ .

Определение площади поперечного сечения сверл при постоянном отношении радиуса сердцевины сверла к радиусу сверла.

Площадь поперечного сечения сверла определим для случая, когда радиус сердцевины постоянен по всей длине рабочей части сверла. Этот вариант подходит и для случая при  $n = 0$ ; тогда  $r_{ck} = r_c$ . Полученные зависимости могут быть использованы для этого случая расчета путем подстановки величины  $r_{ck}$  вместо величины  $r_c$ .

Общий вид поперечного сечения спирального сверла представлен на рис. 2. Рассмотрим геометрическое представление элементов стружечной канавки сверла.

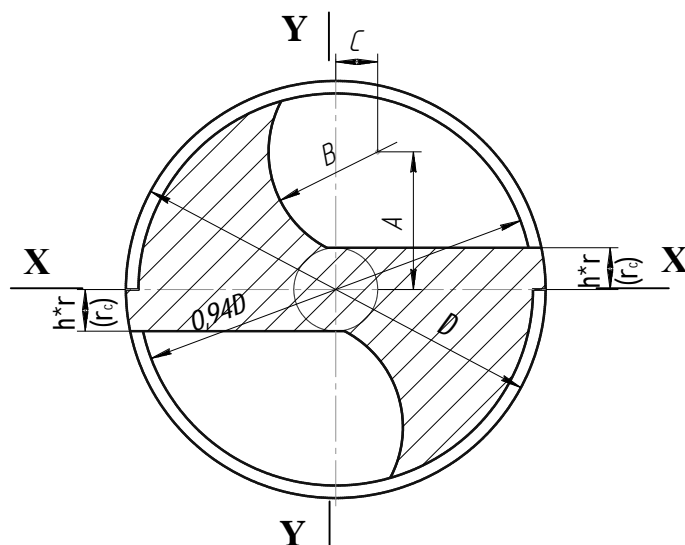


Рис. 2. Общий вид поперечного сечения спирального

По рекомендациям [5] (см. рис. 2) при радиусе сердцевин  $r_c = 0,2 \cdot r$  радиус окружности канавки  $B = 0,26D = 0,52r$ . Центр данной окружности смещен относительно центра сверла на  $A = 0,33D = 0,66r$  по оси  $Y - Y$  и на  $C = 0,1D = 0,2r$  по оси  $X - X$ .

Сделаем следующие допущения:

- величины  $A$  и  $B$  изменяются в зависимости от величины радиуса сердцевин по квадратичному закону, а величина  $C$  - по линейному;

- при  $h = 0$ :  $A = 0,5 \cdot 0,94r = 0,47r$ ,  $C = 0,25 \cdot 0,94r = 0,235r$ ,  $B = 0,525r$ ;

- при  $h = 1$ :  $A = 0,94r$ ,  $C = 0$ ,  $B = 0$ .

Учитывая вышеприведенные допущения, найдем взаимосвязь между коэффициентом радиуса сердцевин  $h$  и величинами  $A$ ,  $C$ ,  $B$ .

Пусть  $A = K_1 r$ . Предположим, что

$$K_1 = a \cdot h^2 + b \cdot h + c. \quad (5)$$

Найдем коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$ :

$$\begin{cases} 0.47 = a(0)^2 + b \cdot 0 + c; \\ 0.66 = a(0.2)^2 + b \cdot 0.2 + c; \\ 0.94 = a + b + c. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = -0.6; \\ b = 1.07; \\ c = 0.47. \end{cases} \quad (6)$$

Тогда

$$K_1 = -0.6h^2 + 1.07h + 0.47. \quad (7)$$

Пусть  $C = K_2 r$ . Предположим, что

$$K_2 = ah + b. \quad (8)$$

Найдем коэффициенты  $a$  и  $b$ :

$$\begin{cases} 0.2 = a(0.2) + b; \\ 0 = a(1) + b. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = -0.25; \\ b = 0.25. \end{cases} \quad (9)$$

Тогда, учитывая выше сказанное, имеем

$$K_2 = -0.25h + 0.25. \quad (10)$$

Аналогично, пусть  $B = K_3 r$ . Предположим, что

$$K_3 = ah^2 + bh + c. \quad (11)$$

Найдем коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$ :

$$\begin{cases} 0 = a + b + c; \\ 0.52 = a(0.2)^2 + b0.2 + c; \\ 0.525 = a(0)^2 + b0 + c. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = -0.625; \\ b = 0.1; \\ c = 0.525. \end{cases} \quad (12)$$

Тогда

$$K_3 = -0.625h^2 + 0.1h + 0.525. \quad (13)$$

Найдем площадь поперечного сечения спирального сверла с помощью определенного интеграла по оси  $Y - Y$  и  $X - X$ ; выведенные зависимости впоследствии будут использованы для определения осевых моментов инерции. Площадь определим по оси  $Y - Y$  (рис. 3) по следующей зависимости:

$$S_{y-y} = 2 \cdot (F_{1y} - (F_{21y} - F_{22y} - F_{23y}) + (F_{31y} + F_{32y})), \quad (14)$$

где  $F_{1y}$ ,  $F_{21y}$ ,  $F_{22y}$ ,  $F_{23y}$ ,  $F_{31y}$ ,  $F_{32y}$  – площади простых фигур (см. рис. 3 а, б, в), определяемых по следующим зависимостям:

$$F_{1y} = \int_{-0.94 \cdot r}^0 \int_0^{\sqrt{(0.94r)^2 - x^2}} dy dx; \quad (15)$$

$$F_{21y} = 2 \cdot \int_{-(K_3 \cdot r - K_2 \cdot r)}^0 \int_{K_1 \cdot r}^{\sqrt{(K_3 \cdot r)^2 - (x - K_2 \cdot r)^2} + K_1 \cdot r} dy dx; \quad (16)$$

$$F_{22y} = \int_{x_A}^0 \int_{\sqrt{(0.94r)^2 - x^2}}^{\sqrt{(K_3 \cdot r)^2 - (x - K_2 \cdot r)^2} + K_1 \cdot r} dy dx; \quad (17)$$

$$F_{23y} = \int_{x_B}^0 \int_{r_c}^{r_c} dydx \quad ; \quad (18)$$

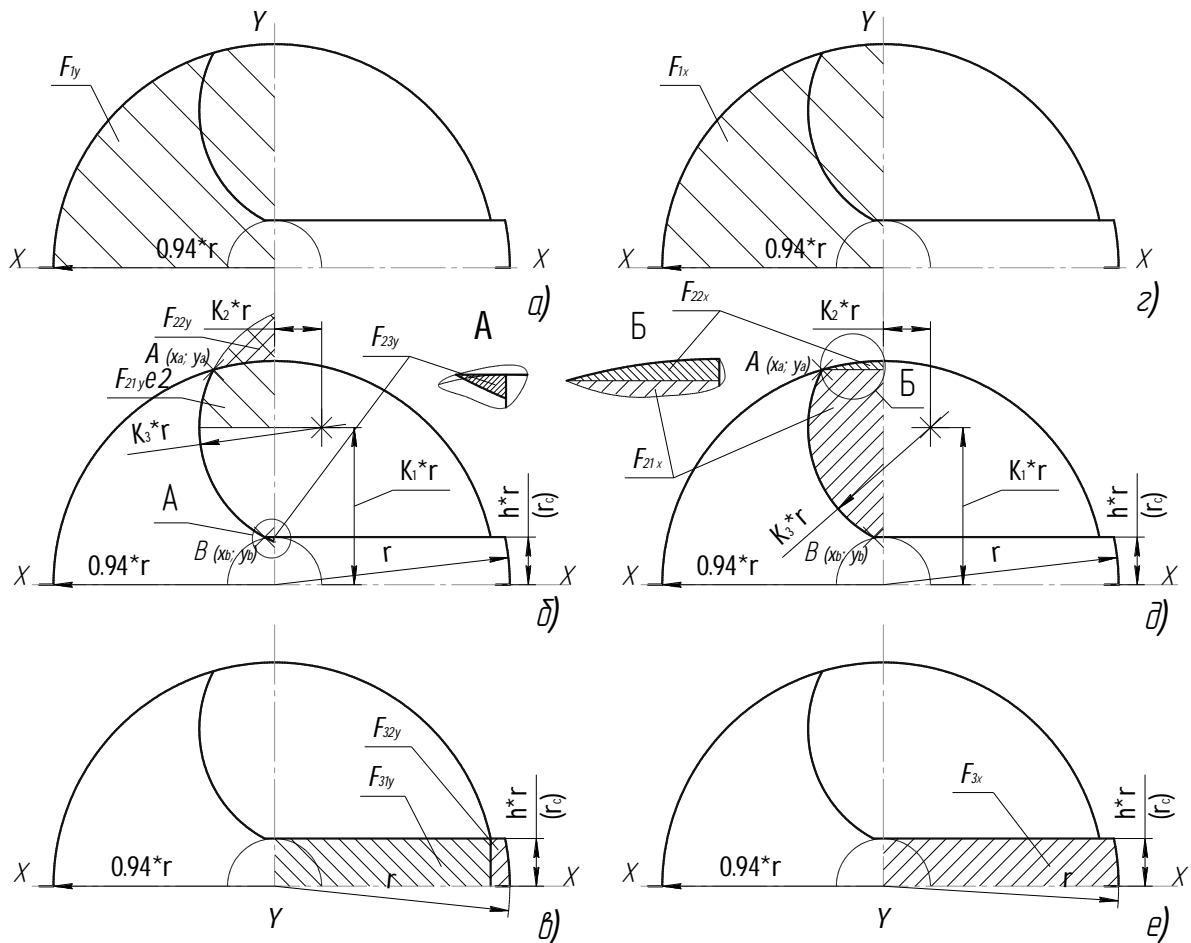


Рис. 3. Схемы расчета площади поперечного сечения спирального сверла: а) – для нахождения площади отдельной части  $F_{1y}$ ; б) – для нахождения  $F_{21y}$ ,  $F_{22y}$ ,  $F_{23y}$ ; в) – для нахождения  $F_{31y}$ ,  $F_{32y}$ ; г) – для нахождения площади отдельной части  $F_{1x}$ ; д) – для нахождения  $F_{21x}$ ,  $F_{22x}$ ; е) – для нахождения  $F_{3x}$ .

$$F_{31y} = \int_0^{\sqrt{r-r_c^2}} \int_0^{r_c} dydx \quad ; \quad (19)$$

$$F_{32y} = \int_{\sqrt{r-r_c^2}}^r \int_0^{\sqrt{r^2-x^2}} dydx \quad , \quad (20)$$

где  $x_A$  – абсцисса точки  $A(x_A; y_A)$  пересечения двух окружностей с радиусами  $r$  и  $B=K_3 r$ ;  $x_B$  – абсцисса точки  $B(x_B; y_B)$  пересечения окружности радиусом  $B=K_3 r$  и прямой  $y=hr$ .

Аналогичным образом определяется площадь сечения спирального сверла по оси X – X (рис. 3 г, д, е).

Выведенные зависимости для определения площади поперечного сечения спирального сверла могут быть использованы при следующих значениях коэффициента радиуса сердцевинки ( $h$ ) и самого радиуса сердцевинки ( $r_{ck}$ ), рассматриваемого в любой точке на всей длине рабочей части сверла:

- $0 < h < 0,94$ ,
- $r_{ck} \leq r$ .

С целью уменьшения погрешности вычислений после определения суммарных площадей поперечного сечения сверла относительно осей Y – Y и X – X, найдем их усредненные (среднеарифметические) значения

$$\bar{S} = \frac{S_{x-x} + S_{y-y}}{2}. \quad (21)$$

Результаты вычислений усредненной площади поперечного сечения для некоторых диаметров сверл (5; 10; 20; 30; 40; 50 мм) из диапазона 5 – 50 мм представлены в табл. 1. Приведенные значения соответствуют исходному сечению сверла, проведенному в точке  $O$  (см. рис.1).

Таблица 1. Площадь поперечного сечения спирального сверла в зависимости от отношения  $r_c / r$ , мм<sup>2</sup>.

Диаметр сверла, мм	$r_c / r$					
	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9
5	7.443	8.781	11.818	14.797	17.237	18.086
10	29.773	35.125	47.274	59.189	68.949	72.345
20	119.093	140.501	189.096	236.754	275.798	289.38
30	267.959	316.126	425.465	532.697	620.545	651.106
40	476.371	562.002	756.383	947.017	1103.191	1157.522
50	744.33	878.129	1181.848	1479.714	1723.736	1808.628

#### **Определение площади поперечного сечения сверл при изменении расчетного сечения от вершины сверла к хвостовику.**

Рассмотрим случай, когда радиус сердцевинки сверла увеличивается по направлению к хвостовику. Например, для сверла диаметром  $d = 5$  мм длиной  $l = 52$  мм с отношением  $r_c / r = 0.2$ , радиус сердцевинки сверла увеличивается по направлению к хвостовику на 0.85 мм на каждые 100 мм длины ( $k_c = 0,85$ ).

В табл. 2 представлены результаты вычислений площади поперечного сечения спирального сверла для диапазона диаметров  $d = 5 - 50$  мм, с отношением радиуса сердцевинки к радиусу сверла  $r_c / r = 0,2$  и при увеличении радиуса сердцевинки сверла по направлению к хвостовику на 0,85 мм на каждые 100 мм длины. Для соответствующего диаметра указана максимальная длина рабочей части сверла  $l$  по ГОСТ 10903-77.. Значения величин площадей определены в сечениях, равноудаленных друг от друга по всей длине рабочей части сверла ( $n = 0 \dots 1$ , шаг 0.2).

Таблица 2. Площадь поперечного сечения спирального сверла при увеличении радиуса сердцевинки по направлению к хвостовику, мм<sup>2</sup>.

d, мм	l, мм	n						
		0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1
5	52	8.781	8.997	9.213	9.64	10.063	10.482	10.894
10	87	35.125	35.849	36.57	38.004	39.426	40.835	42.23
20	140	140.501	142.83	145.152	149.778	154.375	158.94	163.47
30	175	316.126	320.494	324.852	333.538	342.181	350.776	359.319
40	200	562.002	568.659	575.303	588.553	601.747	614.881	627.95
50	220	878.129	887.283	896.422	914.653	932.818	950.913	968.932

Выполненные расчеты дают возможность определять площадь поперечного сечения сверл с учетом отношения радиуса сердцевинки к радиусу сверла  $r_c / r$  и при увеличении радиуса сердцевинки сверла по направлению к хвостовику. Приведем пример пользования таблицами 1 и 2.

Предположим, что необходимо определить площадь поперечного сечения сверла, имеющего следующие параметры: диаметр  $d = 20$  мм; общая длина сверла  $l = 140$  мм; расположение расчетного сечения по длине сверла  $n = 0,5$ ; отношение радиуса сердцевинки к радиусу сверла  $r_c / r = 0,2$ ; увеличение радиуса сердцевинки сверла по направлению к хвостовику - 0.85 мм на каждые 100 мм длины ( $k_c = 0,85$ ).

По табл. 1 для  $d = 20$  мм и  $r_c / r = 0,2$  находим исходную площадь поперечного сечения сверла (в точке O, см. рис.1)  $S_0 = 140,501$  мм<sup>2</sup>. В табл. 2 это же значение соответствует параметрам таблицы:  $d = 20$  мм и  $n = 0$ . Далее по табл. 2 находим (интерполируя) искомую площадь поперечного сечения сверла  $S = 152,1$  мм<sup>2</sup> для  $d = 20$  мм и  $n = 0,5$ .

#### Выводы.

Результаты выполненной работы дают возможность быстрого определения площади поперечного сечения сверл в диапазоне размеров 5 – 50 мм. Указанное определение площадей возможно как для случая постоянного отношения радиуса сердцевинки к радиусу сверла, так и при перемещении расчетного сечения от вершины сверла к хвостовику. Полученные данные необходимы для последующих расчетов сверл на прочность и устойчивость.

**Список литературы:** 1. Малышко И.А., Коваленко В.И., Кизименко Т.М. К вопросу устойчивости осевого инструмента. Машиностроение и техносфера XXI века // Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2004. Т2. С. 194 - 196. 2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2. Под ред. А.М. Дальского. - М.: Машиностроение -1, 2001. - 944 с. 3. Малышко И.А., Коваленко В.И. Расчет тангенциальной составляющей силы резания при сверлении с учетом соотношения подачи на зуб и осевого биения сверла. Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний сб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, РВА ДонНТУ, 2005. - Вип. 29. С. 116-121. 4. Соппротивление материалов/Под ред. Писаренко Г.С. – 5-е изд. – К: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 775с. 5. Проектирование металлорежущих инструментов./ Под ред. И.И. Семенченко. – М: Машиностроение, 1963. – 895с. 6. Пономарев С.Д. Основы современных методов расчета на прочность в машиностроении./ М: Машгиз, 1952. – 864с.

Сдано в редакцию 15.01.07