

**И.Т. Глебов, А. Мартинон**

**СВЕРЛЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ**

Монография

Екатеринбург 2016

УДК 674.028.9

Рецензенты:

Уласовец В.Г., доктор техн. наук, профессор кафедры МОД и ПБ ИЛБиДС Уральского государственного лесотехнического университета

Новоселов В.Г., кан. техн. наук, доцент зав. кафедрой ИТОД ИЛБиДС Уральского государственного лесотехнического университета

**Глебов И.Т., Мартинов А.**

*Сверление древесины. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. – 54 с.*

В книге рассмотрены кинематика и динамика процесса сверления, показана зависимость крутящего момента от сил резания и параметров режима сверления.

Рассмотрены поверхности и секущие плоскости сверл, рабочие движения, скорости рабочих движений, угловые параметры сверл в координатных плоскостях. Представлены типы сверл: ложечные, спиральные с конической заточкой, с центром и подрезателями, винтовые сверла, шнековые.

Сделан вывод математической модели сверления, показано влияние на глубину сверления диаметра сверла и подачи на зуб. Показана экспериментальная проверка математической модели. Описан процесс удаления стружки из отверстия по винтовым канавкам сверла.

Учебное пособие предназначено для студентов лесотехнических вузов, бакалавров, магистров, аспирантов.

Ил.21. Библиогр.: 12 назв.

УДК 674.028.9

ISBN

© И.Т. Глебов, 2016

©

**Содержание**

<b>Введение</b> .....	3
<b>Глава 1.</b>	
<b>Кинематика и динамика сверления</b> .....	5
1.1. Характеристика процесса сверления древесины .....	5
1.2. Силы резания и мощность при сверлении .....	7
1.3. Зависимость крутящего момента и сил резания от режимных параметров .....	9
<b>Глава 2.</b>	
<b>Сверла</b> .....	15
2.1. Термины и определения .....	15
2.2. Поверхности, различаемые при сверлении .....	17
2.3. Рабочие движения при сверлении .....	18
2.4. Системы координат .....	19
2.5. Углы резания .....	21
2.6. Винтовая канавка сверла .....	25
2.7. Классификация сверл .....	27
2.8. Типы сверл .....	27
<b>Глава 3.</b>	
<b>Оборудование для обработки крупногабаритных отверстий</b> .....	35
3.1. Обработки глубоких отверстий .....	35
3.2. Способы обработки отверстий большого диаметра .....	36
<b>Глава 4.</b>	
<b>Режимы сверления</b> .....	41
4.1. Понятие о режиме сверления .....	41
4.2. Рекомендуемые параметры режимов сверления .....	41
<b>Глава 5.</b>	
<b>Глубина сверления</b> .....	43
5.1. Транспортирование стружки спиральным сверлом .....	43

5.2. Сверление фанеры .....	49
5.3. Сверление массивной древесины .....	53
5.4. Интенсификация отвода стружки .....	54
<b>Заключение</b> .....	<b>55</b>

## Введение

Сверление древесины, как технологическая операция, в историческом плане выполняется давно. Сверление широко применяется в производстве мебели, столярно-плотницком производстве, изготовлении строительных конструкций, катушечном производстве и др.

Изучением процесса сверления древесины занимались Г. Харниш, В. Озенберг (Германия, 1927 г.), Р. Гудчайлд (Великобритания, 1955), Е.Г. Ивановский (СССР, 1948 г.), Н.А. Модин (СССР, 1962 г.) и др.<sup>1</sup> Исследователи изучали зависимость крутящего момента на сверле от режимных параметров. Е.Г. Ивановский изучал точность обрабатываемых отверстий в производстве шпуль. Для обработки глубоких отверстий шпуль ложечные сверла были заменены на спиральные, которые хорошо отводили стружку, но не обеспечивали требуемой точности и шероховатости.

В Ленинградской лесотехнической академии для продольного сверления древесины Н.А. Модиным и А.Н. Ерошкиным был предложен новый режущий инструмент – сверло-фреза. Такой инструмент состоял из двух частей – спирального сверла длиной  $1 \dots 1,5 D$ , где  $D$  – диаметр сверла, и двузубой фрезы с боковыми режущими кромками, примыкающей к сверлу. Результаты исследования показали, сверло-фреза при работе обеспечивало наилучшие показатели как по затратам мощности, так и по качеству получаемых отверстий.

В современных условиях для обработки древесины используются разнообразные сверла. Проблемы, как и прежде, существуют. Трудности сверления связаны с удалением стружки из обрабатываемого отверстия. На некоторой глубине сверления объем образующейся стружки начинает превышать объем удаляемой стружки из отверстия.

---

<sup>1</sup> Модин Н.А. Сверление отверстий и фрезерование гнезд в древесине / Н.А. Модин, В.Д. Любославский. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 132 с.

Стружка начинает уплотняться, в стружечных канавках сверла образуются брикеты, и сверло заклинивает в отверстии. Затрудненный стружкоотвод приводит к отказам при сверлении, снижению производительности труда и частым поломкам сверл.

Обычно глубину отверстия связывают с его диаметром:  $m = t / d_o$ , где  $m$  – коэффициент отношения;  $t$  – глубина отверстия;  $d_o$  – диаметр отверстия. При обработке отверстий в металле  $m = 3,5 \dots 5$ .<sup>2</sup> При обработке массивной древесины, по данным А.Л. Бершадского, Е.Г. Ивановского,  $m \leq 10$ . Специальные исследования по этому вопросу при сверлении древесины не проводились.

При обработке глубоких отверстий с превышением коэффициента  $m$  сверление производят в несколько приемов. Чтобы предотвратить заклинивание сверло многократно поднимают из отверстия, очищают от стружки и снова опускают в отверстие и сверлят. При такой организации сверления и стружкоотвода можно избежать отказов станка, повысить производительность труда.

Предлагаемая работа рассматривается как монография, предназначенное для студентов магистратуры, выполняющих магистерскую диссертацию по повышению производительности сверления массивной древесины и древесных материалов.

---

<sup>2</sup> Емельянов Д.В. Проектирование и производство спиральных сверл переменной жесткости с измененным углом наклона стружечных канавок. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Д.В. Емельянов. – Казань: КНИТУ, 2014. – 126 с.

## Глава 1.

### Кинематика и динамика сверления

#### 1.1. Характеристика процесса сверления древесины

**Сверление – процесс образования в деревянных деталях сквозных и несквозных цилиндрических отверстий с помощью сверл.**

В зависимости от расположения оси отверстия относительно волокон древесины различают сверление продольное и поперечное.<sup>3</sup>

*При поперечном сверлении* продольная ось сверла перпендикулярна волокнам древесины. Для получения гладких и точных отверстий применяют центровые сверла с боковыми подрезателями по ГОСТ 22053-76 (рис. 1а). Угол между режущими кромками и осью вращения  $\varphi = 90^\circ$ . Лезвия выполняют продольно-поперечное резание. Срезанная стружка легко ломается в плоскости волокон древесины.

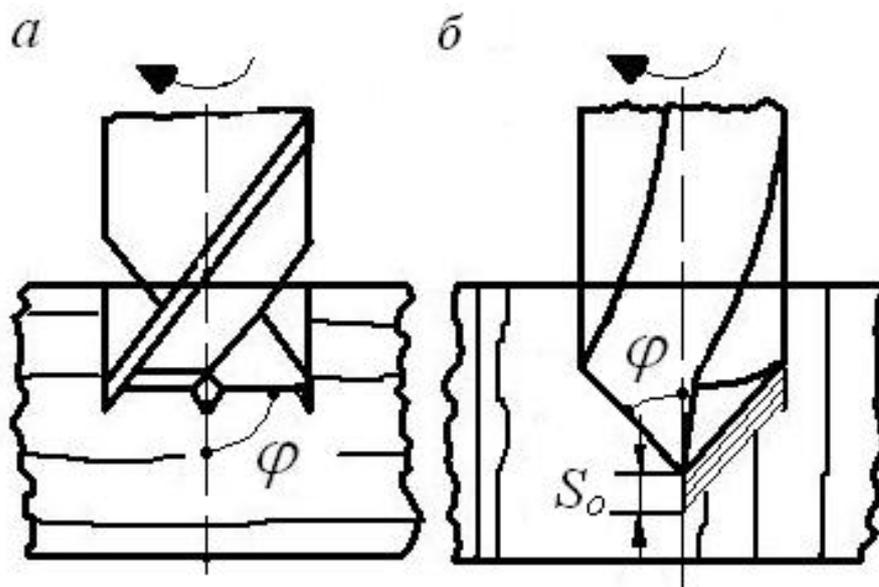


Рис. 1. Сверление древесины:

*a* – поперечное; *б* – продольное

<sup>3</sup> Глебов, И.Т. Резание древесины: Учебное пособие /И.Т. Глебов. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 308 с.

При *продольном сверлении* ось сверла параллельна волокнам древесины. Для продольного сверления применяют сверла с конической заточкой по ГОСТ 22057-76 с главными режущими кромками, расположенными под острым углом ( $\varphi = 30^\circ$ ) к оси сверла (рис. 1б). Лезвия выполняют торцово-поперечное резание. Срезанная стружка при движении по передней поверхности лезвия и взаимодействии со стенками отверстия легко разрушается на мелкие элементы.

**Шероховатость поверхности** стенки отверстия, полученной при сверлении, характеризуется высотой неровностей  $R_z = 60... 320$  мкм при подаче за один оборот сверла  $S_o = 0,7...2,2$  мм в случае сверления мягкой древесины и  $S_o = 0,1...0,5$  мм при сверлении твердой древесины.

При сверлении главное движение  $D_z$  – вращательное. Вращение выполняется сверлом. Движение подачи выполняется сверлом или заготовкой вдоль продольной оси сверла. Скорость главного движения на лезвиях сверла изменяется от нуля на оси вращения до максимального значения на периферии. В расчетах используют среднее значение скорости главного движения, определяемое на середине длины режущей кромки сверла, м/с:

$$V_{cp} = \frac{\pi D n}{120\ 000}, \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр сверла, мм;

$n$  – частота его вращения, мин<sup>-1</sup>.

Движение подачи при сверлении поступательное и выполняется сверлом или заготовкой. Скорость подачи определяется по формуле, м/мин:

$$V_s = \frac{S_z z n}{1000}. \quad (2)$$

Подача на один оборот сверла, мм:

$$S_o = \frac{1000 V_s}{n}. \quad (3)$$

Подача на зуб, мм:

$$S_z = \frac{1000V_s}{zn}. \quad (4)$$

Толщина срезаемого слоя, мм:

$$a = S_z \sin \varphi. \quad (5)$$

Поперечное сечение срезаемого слоя, мм<sup>2</sup>:

$$f = \frac{DS_o}{2z}. \quad (6)$$

Средняя длина срезаемого слоя, мм:

$$l_{cp} = \frac{\pi D}{2}. \quad (7)$$

Объем срезаемого слоя одним зубом, см<sup>3</sup>:

$$v = \frac{\pi D^2 S_o}{4000z}. \quad (8)$$

Секундный объем стружки, срезаемый  $z$  лезвиями (всеми лезвиями), см<sup>3</sup>/с:<sup>4</sup>

$$V_1 = \frac{\pi D^2 S_o n}{4 \cdot 60 \cdot 1000} = \frac{\pi D^2 V_s}{4 \cdot 60}. \quad (9)$$

## 1.2. Силы резания и мощность при сверлении

Удельная работа резания  $K$ , Дж/см<sup>3</sup>, численно равна удельной силе резания  $F_{y\partial}$ , МПа, и для поперечного сверления находится по формуле

$$K = \frac{k + \alpha_\rho p}{S_z}, \quad (10)$$

где  $k$  – касательное давление стружки на переднюю поверхность лезвия, МПа;

<sup>4</sup> Манжос Ф.М. Дереворежущие станки/Ф.М. Манжос. – М.: Издательство «Лесн. пром-сть», 1974. – 456 с.

$p$  – фиктивная сила резания, Н/мм;

$\alpha_p$  – коэффициент затупления режущей кромки зуба.

Значения  $k$  и  $p$  приведены в табл. 1.

Таблица 1

Удельная сила резания  $F_{y\partial}$  при сверлении  
центровыми сверлами\*

$D$ , мм	$F_{y\partial}$ , МПа		
	Сосна	Береза	Дуб
5	$15,3 + 61,2/S_z$	$265 + 104/S_z$	$368 + 147/S_z$
10	$41,2 + 16,5/S_z$	$69,7 + 28/S_z$	$98 + 39,2/S_z$
15	$19,6 + 7,8/S_z$	$33,3 + 13,5/S_z$	$47 + 16,9/S_z$
20	$13,7 + 5,5/S_z$	$22,9 + 9,3/S_z$	$33,4 + 12,8/S_z$
25	$9,8 + 3,9/S_z$	$16,7 + 6,7/S_z$	$23,5 + 9,4/S_z$

\*Для винтовых сверл  $F_{y\partial \text{ винт.}} = 1,5 F_{y\partial}$ .

Значение удельной силы резания  $F_{y\partial}$ , Н/мм<sup>2</sup>, количественно равно удельной работе резания  $K$ , Дж/см<sup>3</sup>. Для других пород древесины, не указанных в табл. 1, можно воспользоваться следующим выражением:

$$F_{y\partial} = \alpha_n F_{y\partial c},$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент на породу древесины ( $\alpha_n = 1$  – для сосны,  $\alpha_n = 0,9$  – для ольхи,  $\alpha_n = 1,5...1,8$  – для березы и бука,  $\alpha_n = 2,4$  – для древесины дуба);

$F_{y\partial c}$  – удельная сила резания для древесины сосны (берется из табл. 1).

Приведенные данные справедливы при глубине сверления  $t \leq 5D$ .

Мощности резания, кВт:

$$P = \frac{K v_1}{1000} = \frac{K \pi D^2 V_s}{4 \cdot 60 \cdot 1000}, \quad (11)$$

где  $v_1$  – секундный объем срезаемой древесины, см<sup>3</sup>/с.

Окружная сила резания, Н:

$$F_x = \frac{1000P}{V_{cp}}. \quad (12)$$

Осевое усилие на сверле, Н:

$$F_y = (0,25 + 0,07D)F_x. \quad (13)$$

При расчете крутящего момента на сверле  $M_{кр}$ ,  $H \cdot м$ , осевого усилия сверления  $F_y$ , Н при сверлении древесины сосны могут быть использованы следующие уравнения:<sup>5</sup>

при  $t \leq 3D$

$$M_{кр} = 396D^{1,28}t^{0,29}S_o^{0,55}$$

$$F_y = 6,87D^{1,05}S_o^{0,3}$$

при  $t > 3D$

$$M_{кр} = 396D^{1,28}t^{0,5}S_o^{0,55}$$

$$F_y = 6,87D^{1,05}t^{0,6}S_o^{0,3}$$

Мощность резания  $P$ , кВт:

$$P = \frac{M_{кр}\omega}{1000}, \quad (13)$$

где  $\omega$  – угловая частота вращения сверла,  $c^{-1}$ ,  $\omega = \frac{\pi n}{30}$ .

### 1.3. Зависимость крутящего момента и сил резания от режимных параметров

Мощность и силы резания зависят от многих параметров, характеризующих режим сверления: от наличия тех или иных элементов сверла, подачи на зуб, диаметра сверла, частоты вращения, плотности обрабатываемого материала.

<sup>5</sup> Амалицкий, В.В. Оборудование и инструмент деревообрабатывающих предприятий / В.В. Амалицкий, В.И. Санев. – М.: Экология, 1992. – 480 с.

**Влияние элементов режущей части сверла.** Исследования по выявлению доли влияния элементов сверла (центра, режущей кромки и подрезателей) проводил Р. Гудчайлд.<sup>6</sup> Для исследований использовалась древесина рамин (произрастает в Индонезии, Малайзии, древесина желтого цвета плотностью 670 кг/м<sup>3</sup>) и смоковницы (известной нам под названием «Инжир», древесина среднетяжёлая, плотность 580...720 кг/м<sup>3</sup>). Условия экспериментов: диаметр сверла  $D = 25,4$  мм, толщина направляющего центра  $r = 2,8$  мм, высота центра над режущей кромкой 5,08 мм, высота подрезателя над режущей кромкой 1,35 мм, частота вращения сверла  $n = 2110$  мин<sup>-1</sup>, скорость подачи  $V_s = 0,546$  м/мин. Углы резания главной режущей кромки: передний  $\gamma = 40^\circ$ , угол заострения  $\beta = 35^\circ$ , задний угол  $\alpha = 15^\circ$ , угол конической заточки сверла  $\varphi = 10^\circ$ . Плотность древесины рамина 790 кг/м<sup>3</sup>, смоковницы 640 кг/м<sup>3</sup>.

Результаты исследования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние элементов сверла на крутящий момент и осевую силу

Порода древесины	Крутящий момент, Н·см	Осевая сила, Н	Крутящий момент, Н·см	Осевая сила, Н	Крутящий момент, Н·см	Осевая сила, Н
	Направляющий центр		Направляющий центр и подрезатели		Направляющий центр, подрезатели, режущая кромка	
Рамин	6,5	114,4	20,0	156,0	35,8	473,0
Смоковница	5,0	95,2	16,2	135,2	30,3	367,5

<sup>6</sup> Петер, Кох Процессы механической обработки древесины. Перевод с английского и редактирование В.В. Амалицкого /Кох Петер. – М.: Издательство «Лесн. прои-сть», 1969. – 328 с.

Из этой серии опытов сделаны следующие выводы:

- на подрезатели приходится примерно 17% общего крутящего момента и 25% общего осевого усилия;
- на направляющий центр приходится 37% общего крутящего момента и 10% общего осевого усилия;
- на главные режущие кромки приходится 46% общего крутящего момента и 65% общего осевого усилия.

**Влияние подачи на зуб.** Р. Гудчайлдом изучалась зависимость крутящего момента, осевого усилия, мощности и удельной силы резания от подачи на зуб при сверлении.

*Зависимость крутящего момента от подачи на зуб при сверлении древесины* ели выражается уравнением прямой линии, Н·см:

$$M_{кр} = (60 + 675S_z), \quad (14)$$

где  $r$  – радиус сверла, см.

Уравнение (14) можно записать так:

$$F_x r = (60 + 675S_z).$$

Отсюда получим уравнение для касательной силы резания, Н:

$$F_x = \frac{1}{r} (60 + 675S_z).$$

Обозначим  $p = 60/r$ , и  $k = 675/r$ , тогда

$$F_x = (p + kS_z). \quad (15)$$

Уравнение (15) уравнение зависимости касательной силы резания для макро срезаемых слоев, общепринятое в теории резания древесины.

*Зависимость удельной работы резания.* Р. Гудчайлдом приведена зависимость энергии резания, кВт·ч/см<sup>3</sup> при сверлении древесины бука от подачи на зуб. Преобразуем размерность энергии резания в размерность удельной работы резания  $K$ , принятую в современной теории.

$$G = \frac{\kappa Вт \cdot ч}{см^3} = \frac{Дж \cdot ч}{с \cdot см^3} = \frac{Дж \cdot 3600с}{с \cdot см^3} = 3600 \frac{Дж}{см^3} = 3600K.$$

График зависимости приведен на рис. 2.

Из графика следует: с увеличением подачи на зуб удельная работа резания убывает по закону гиперболы и стремится к некоторому пределу. Для снижения энергозатрат при сверлении лучше работать с большими значениями подачи на зуб. Приведенная зависимость соответствует современным представлениям теории резания древесины.

Уравнение зависимости

$$K = \frac{2,4345}{S_z^{0,2543}}. \quad (16)$$

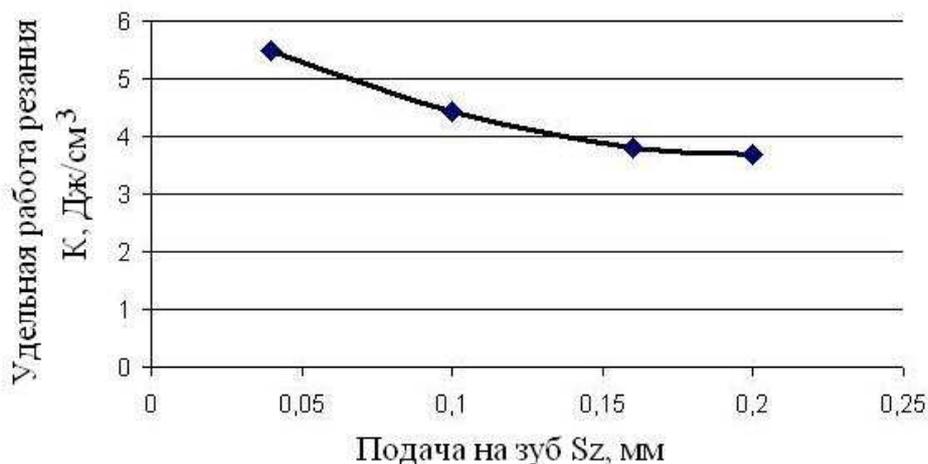


Рис. 2. Зависимость удельной работы резания от подачи на зуб при сверлении древесины бука

**Обработка сверлением древесностружечных плит.** Исследование сверления ДСтП проводил В.В. Амалицкий.<sup>7</sup> В рамках кандидатской диссертации изучено влияние различных факторов режима резания на крутящий момент и осевую силу резания.

<sup>7</sup> Цуканов, Ю.А. Обработка резанием древесностружечных плит/ Ю.А. Цуканов, В.В. Амалицкий. – М.: Издательство «Лесн. пром-сть», 1966. – 96 с.

Отмечено, что для сверления плит следует использовать сверла с центром и подрезателями. Показано, что увеличение частоты вращения сверла может привести к перегреву сверла и прижогу поверхности отверстия. Рекомендуется частота вращения  $2880 \text{ мин}^{-1}$ .

Изучено влияние глубины сверления. С увеличением глубины сверления возникают затруднения отвода стружки из отверстия, увеличиваются силы трения, растет крутящий момент, осевая сила и температура на сверле. До глубины сверления равной  $2D$  стружка удаляется из отверстия хорошо. Далее происходит рост сопротивлений примерно по линейной зависимости.

**Режим сверления древесины:** подача на один оборот сверла  $S_o$  :

- для мягкой древесины  $0,7...2,2 \text{ мм}$ ;
- для твердой –  $0,1...0,5 \text{ мм}$ .

Частота вращения сверла  $3000...12000 \text{ мин}^{-1}$ . Большее значение принимается для сверл малого диаметра.



## Глава 2. Сверла

### 2.1. Термины и определения

Сверло – режущий инструмент, предназначенный для обработки сквозных или несквозных цилиндрических отверстий в деталях. Отверстия используются для соединения деталей винтами, шкантами, шурупами<sup>8</sup>. Сверла применяют для удаления с поверхности деталей сучков и других дефектов, для получения отверстий функционального назначения, например отверстия в катушках для ниток и др.

Для обработки древесины и древесных материалов используются различные сверла, отличающиеся по конструкции режущих элементов, рабочей части и хвостовика (рис. 3).

Рабочая часть сверла представляет собой сердцевину, вокруг которой расположены винтовые стружечные канавки, примыкающие к режущим кромкам. Толщина сердцевины равна  $(0,3...0,4)D$ , угол наклона спирали  $\omega = 20...30^\circ$ . Сердцевина утолщается к хвостовику на  $1,4...1,8$  мм на каждые 100 мм длины сверла (ГОСТ 22057-76)<sup>9</sup>.

Сверла могут быть с подрезателями, которые расположены на периферии сверла и предназначены для перерезания волокон древесины. Такие сверла предназначены для поперечного сверления древесины, они имеют центр. Это пирамидальный выступ в центральной режущей части сверла, предназначенный для направления сверла.

К режущим кромкам на поверхности сверла примыкают узкие ленточки, направляющие сверло при работе с наименьшим сопротивлением трения в отверстии.

<sup>8</sup> Грубе, А.Э. Дереворежущие инструменты /А.Э. Грубе. – М.: Гослесбумиздат, 1958. – 472 с.

<sup>9</sup> ГОСТ 22057-76 Сверла спиральные дереворежущие. Технические условия. – М.: Госкомстандартов, 1976. – 20 с.

Винтовая канавка сверла предназначена для удаления стружки из отверстия, образующейся при резании.

Шейка сверла – промежуточная часть между рабочей частью и хвостовиком. Хвостовик служит для закрепления сверла в патроне станка.

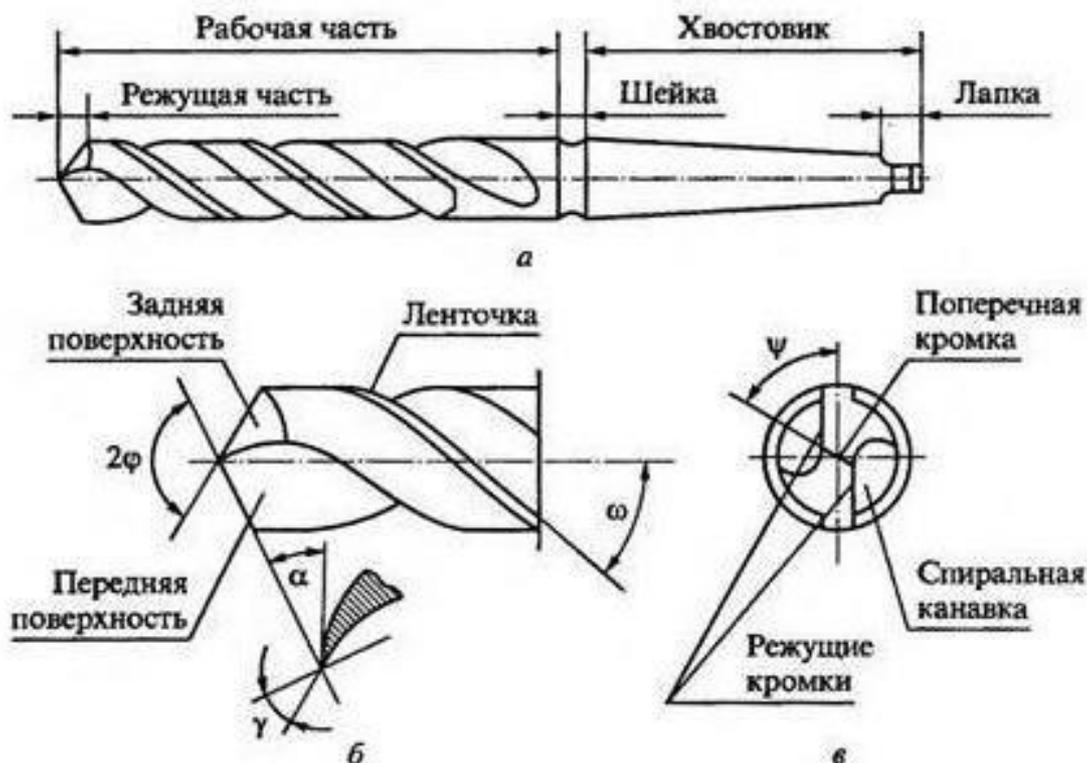


Рис. 3. Элементы спирального сверла:

*a* – конструкция сверла; *б* – конструкция рабочей части; *в* – конструкция режущей части;  $2\varphi$  – угол заточки вершины сверла;  $\omega$  – угол наклона винтовой канавки;  $\alpha$  – задний угол лезвия;  $\gamma$  – передний угол;  $\psi$  – угол наклона поперечной режущей кромки

Главные режущие кромки образованы пересечением задних граней сверла с передними гранями. У винтового сверла две главные режущие кромки, связанные между собой поперечной кромкой. Эта кромка оказывает давление на обрабатываемую деталь, вызывает трение и препятствует процессу сверления. Чем длиннее поперечная кромка, тем больше осевое давление сверла при работе.

## 2.2. Поверхности, различаемые при сверлении

Для анализа процесса сверления, определения значений углов резания лезвий и их изменений в процессе резания при сверлении различают следующие основные поверхности.

1. Обработанную поверхность – поверхность полученного отверстия. На эту поверхность проставляются номинальные размеры, предельные отклонения размеров, указывается шероховатость. Обработанная поверхность имеет конкретное функциональное назначение.

2. Поверхность резания – поверхность, образованную режущей кромкой при её движении в процессе резания. Поверхность резания при конической заточке сверла имеет форму конуса. Эта поверхность временная, ее можно наблюдать при сверлении пока отверстие несквозное, в сквозном отверстии этой поверхности нет.

3. Основную плоскость  $P_v$  – координатную плоскость, проведенную через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного (или результирующего движения резания) в этой точке (рис. 4).

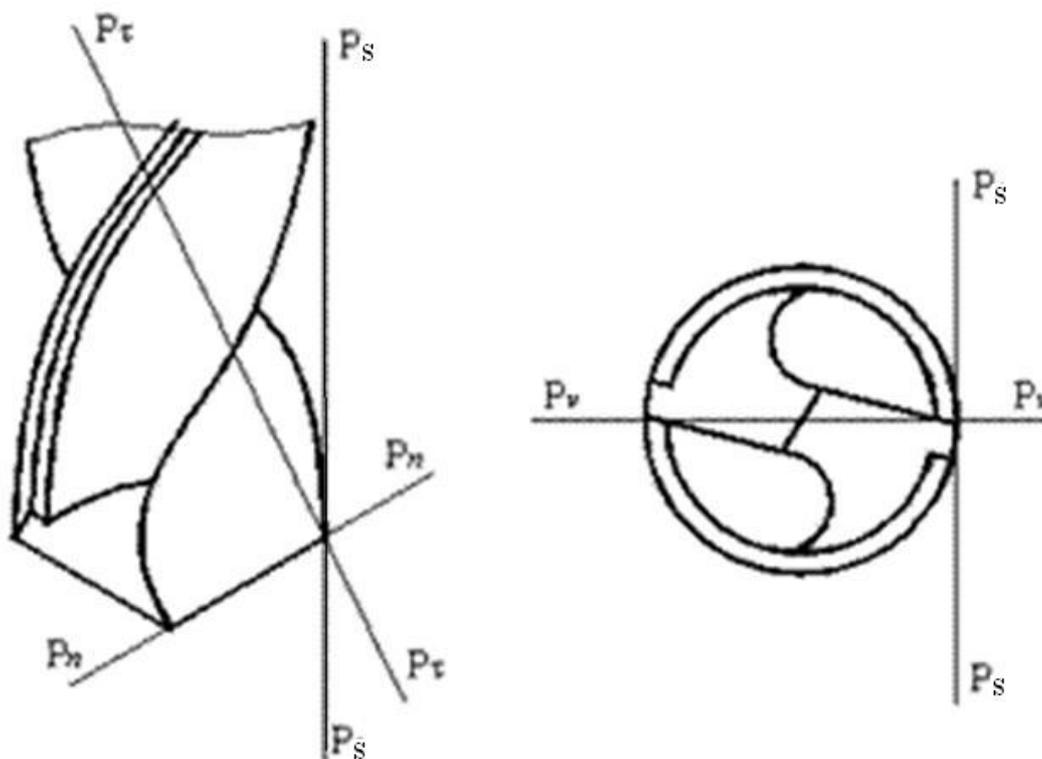


Рис. 4. Координатные плоскости при сверлении

4. Плоскость резания  $P_n$  – координатную плоскость, проходящую через режущую кромку касательно к поверхности резания. Она перпендикулярна основной плоскости. В плоскости резания проходит вектор скорости главного движения.

5. Главную секущую плоскость  $P_\tau$ , координатную плоскость, перпендикулярную линии пересечения основной плоскости и плоскости резания.

6. Рабочую плоскость  $P_s$  – плоскость, в которой расположены направления скоростей главного движения резания и движения подачи. Используется для определения направления скорости результирующего движения сверления.

### 2.3. Рабочие движения при сверлении

Для осуществления процесса сверления необходимо выполнить несколько рабочих движений. К ним относят движения главное, подачи и результирующее (рис. 5).

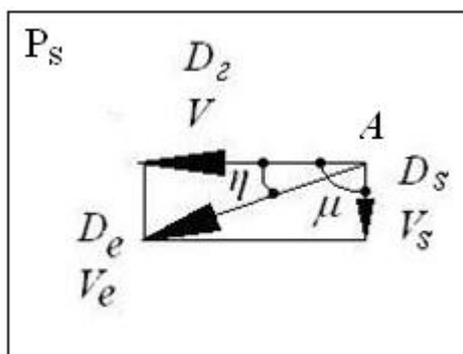


Рис. 5. Схема рабочих движений резания

Для удаления одного срезаемого слоя (одной стружки) каждый зуб сверла должен повернуться вокруг продольной оси сверла на один оборот. Такое движение сверла называют главным движением резания  $D_2$ , оно выполняется со скоростью главного движения  $V$ . Каждый зуб сверла выполняет свое главное

движение резания, и срезает стружку. Для срезания второго слоя стружек к лезвиям надо подвести новые объемы стружек, выполнить движение подачи  $D_s$  со скоростью подачи  $V_s$ , после чего снова можно выполнить главное рабочее движение.

Скорости  $V$  и  $V_s$  приложим в точке  $A$  режущей кромки лезвия в рабочей плоскости  $P_s$ . Угол между направлениями скоростей  $V$  и  $V_s$  называют углом подачи и обозначают  $\mu$ . При сверлении угол подачи  $\mu = 90^\circ$ .

При сверлении рабочие движения главное и подачи выполняются одновременно, в результате чего их скорости геометрически складываются. Образуется новое результирующее рабочее движение  $D_e$ , выполняемое со скоростью результирующего движения  $V_e$ .

Траектория точки  $A$  в результирующем рабочем движении будет винтовая линия, касательная к которой будет продолжением направления скорости  $V_e$ . Угол между направлениями скоростей  $V$  и  $V_e$  – называют *углом скорости резания*  $\eta$ .

Из рис. 5 следует

$$\eta = \operatorname{arctg} \frac{V_s}{V}. \quad (17)$$

В точке  $A$  режущей кромки, приближающейся от периферии к оси вращения сверла скорость  $V$  приближается по величине к нулю, а угол скорости резания  $\eta$  – к  $90^\circ$ . Это приходится учитывать при организации режима сверления.

## 2.4. Системы координат

В зависимости от ориентации основной плоскости различают инструментальную и кинематическую систему координат.

**Инструментальная система координат.** Плоскость резания и вектор скорости резания проходят через режущую кромку зуба сверла касательно к по-

верхности резания. Она применяется при изготовлении и контроле угловых параметров лезвий режущего инструмента, при выполнении чертежей, эскизов сверл, при измерении угловых параметров инструментов, если они находятся в руках человека или на столе.

**Кинематическая система координат.** При работе сверло не только вращается со скоростью главного движения  $V$ , но и перемещается вдоль продольной оси со скоростью подачи  $V_s$ . В результате одновременного действия двух рабочих движений (главного и подачи) каждая точка режущей кромки перемещается по винтовой траектории со скоростью результирующего движения  $V_e$  (рис. 6). Плоскость резания, проходящая через направление  $V_e$ , называется кинематической плоскостью резания. Ее положение определяется углом скоростей  $\eta$ , углом, образованным направлениями скоростей  $V$  и  $V_e$ .

Кинематическая система координат применяется для учета реальных значений угловых параметров лезвий сверла в процессе резания.

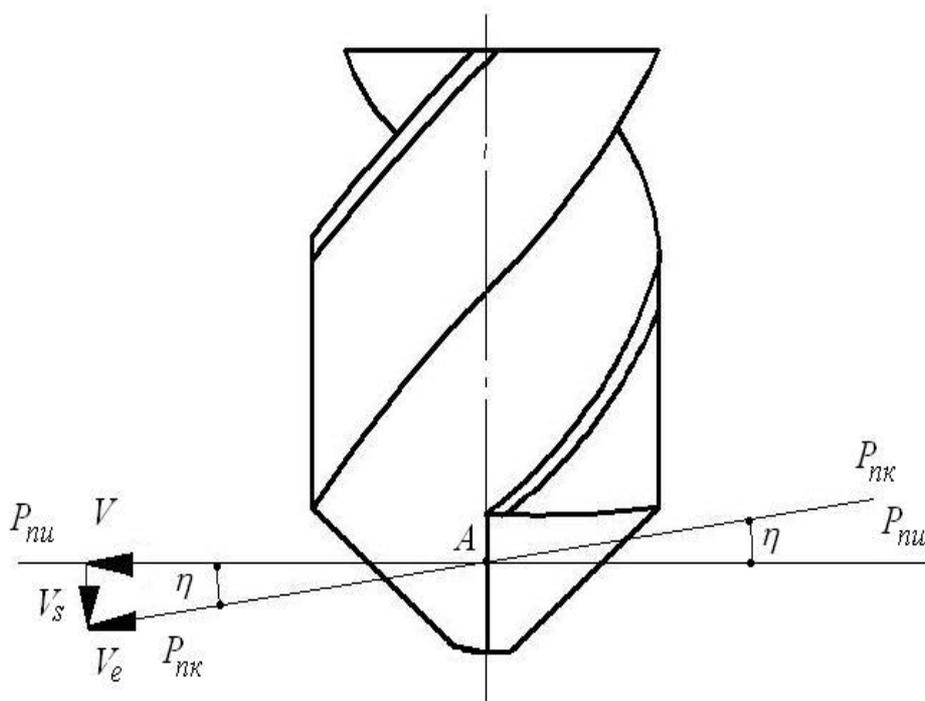


Рис. 6. Положение плоскости резания в инструментальной  $P_{ni}$  и кинематической  $P_{nk}$  системе координат

## 2.5. Углы резания

Форма и положение лезвия на сверле фиксируется углами резания: задним, передним, углом заострения, углом резания.

*Задний угол  $\alpha$*  – угол в секущей плоскости между задней поверхностью и плоскостью резания (рис. 7). При  $\alpha \leq 0$  срезание стружки невозможно, так как режущая кромка лезвия оказывается приподнятой над поверхностью резания и не может врезаться в древесину.

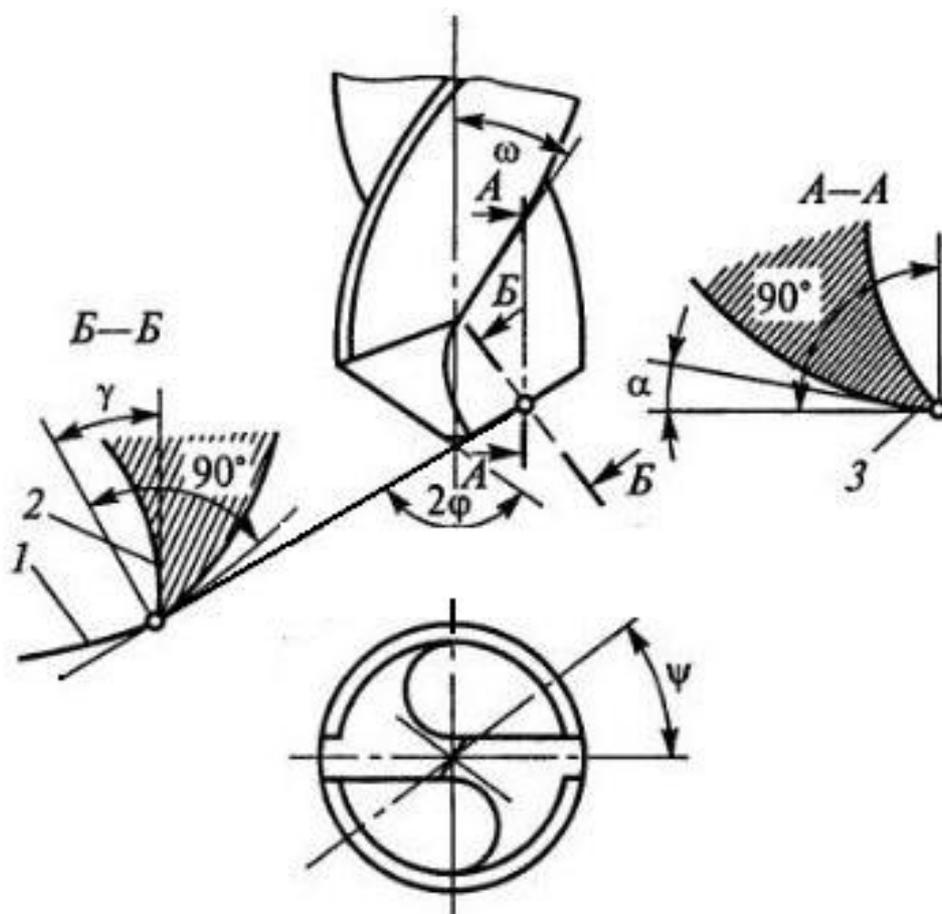


Рис. 7. Углы резания спирального сверла:

1 – задняя поверхность; 2 – передняя поверхность лезвия; 3 – режущая кромка

*Передний угол  $\gamma$*  – угол в секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью (нормалью к плоскости резания).

*Угол заострения (угол заточки)* – угол в секущей плоскости между передней и задней гранями.

Угол резания  $\delta$  – угол в секущей плоскости между передней поверхностью и плоскостью резания, равный сумме углов  $\alpha$  и  $\beta$ .

Сумма углов резания  $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ .

**Задний угол.** Различают *нормальный* задний угол  $\alpha$ , измеряемый в главной секущей плоскости  $P_\tau$ , нормальной к режущей кромке лезвия, и *главный* задний угол, измеряемый в рабочей секущей плоскости  $P_s$ .

*Главный задний* угол  $\alpha$  формируется при заточке сверла. По длине режущей кромки значения заднего угла меняются: минимальный задний угол получаются в точке режущей кромки, расположенной около центра и максимальный – у периферии.

Углы резания, найденные в инструментальной и кинематической системе координат, называются соответственно инструментальными и кинематическими.

При сверлении древесины главное движение резания (вращение сверла) и движение подачи выполняются одновременно (рис. 8). Плоскость резания кинематической системы координат наклонена под углом скорости резания  $\eta$  по отношению к плоскости резания инструментальной системы координат.

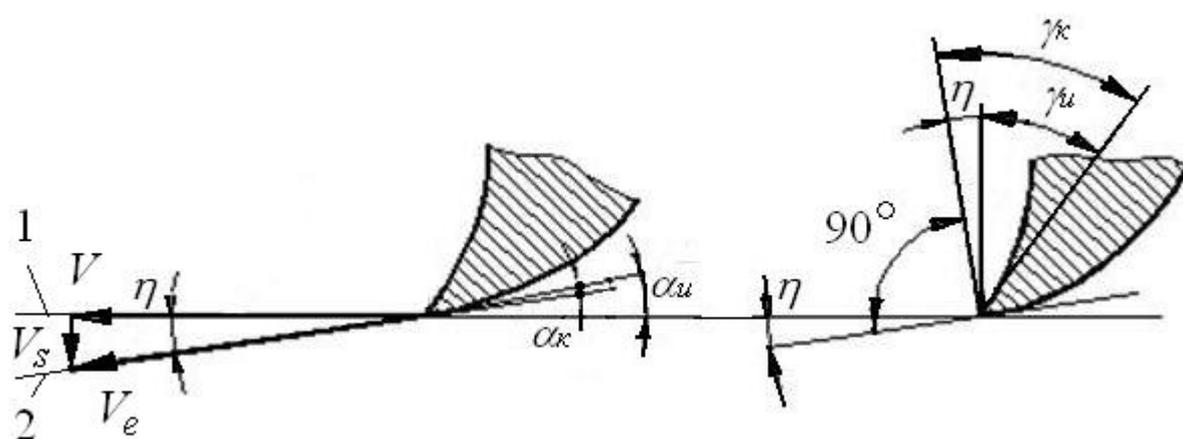


Рис. 8. Инструментальные и кинематические углы сверла:

1 – положение плоскости резания в инструментальной системе координат;

2 – плоскость резания в кинематической системе координат

Углом скорости резания  $\eta$  называют угол в рабочей плоскости между направлениями скоростей результирующего движения резания и главного движения резания. Кинематический задний угол  $\alpha_k$  представляет собой разность углов:

$$\alpha_k = \alpha_u - \eta, \quad (18)$$

где  $\alpha_u$  – инструментальный задний угол лущильного ножа, угол, замеренный после заточки сверла.

Угол скорости резания

$$\eta = \arctg \frac{V_s}{60V}. \quad (19)$$

Скорость подачи, м/мин:

$$V_s = \frac{S_z z n}{1000}. \quad (20)$$

Скорость главного движения на периферии режущей кромки, м/с:

$$V_s = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000}. \quad (21)$$

Подставляя в (5), получим

$$\alpha_k = \alpha_u - \arctg \frac{S_z z}{\pi D}. \quad (22)$$

Таким образом, кинематический задний угол можно определить только расчетным путем.

Из формулы (22) следует, что кинематический задний угол резания убывает по мере увеличения значения подачи на зуб  $S_z$  и может достигнуть нуля, при котором срезание стружки прекращается. Это обстоятельство следует всегда учитывать, особенно при назначении форсированных режимов сверления.

Для получения минимального зазора по задней поверхности лезвия необходимо при заточке обеспечить угол  $\alpha \approx 20 \dots 30^\circ$ . Рекомендуемые номинальные

углы резания: задний угол  $\alpha = 20...30^\circ$ , угол заострения (заточки)  $\beta = 20...25^\circ$ , угол резания  $\delta = 40...50^\circ$ .

**Передний угол.** Различают главный передний угол, измеряемый в главной секущей плоскости  $P_\tau$ , и рабочий передний угол, измеряемый в рабочей секущей плоскости  $P_s$ , параллельной продольной оси сверла.

Передний угол на чертежах сверла не проставляют, так как положение и форму передней поверхности сверла определяет угол наклона винтовой канавки  $\omega$ . Передняя поверхность лезвия сверла винтовая. Угол наклона винтовой канавки уменьшается при приближении к оси сверла, поэтому передний угол лезвия переменная величина. Чем ближе рассматриваемая точка к оси сверла, тем меньше этот угол. На периферии сверла передний угол, замеренный в рабочей секущей плоскости, равен углу наклона винтовой канавки  $\omega$ .

Соотношение передних углов  $\gamma$ , измеренных в главной секущей плоскости, и  $\gamma_p$ , измеренных в рабочей секущей плоскости, следующее:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \gamma_p}{\sin \varphi}, \quad (23)$$

где  $\gamma_p = \omega$ .

На периферии сверла

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi}. \quad (24)$$

Для любой точки  $x$  режущей кромки:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{D_x \operatorname{tg} \omega}{D \sin \varphi}, \quad (25)$$

где  $D$  – наружный диаметр сверла.

Из формулы видно, что при приближении точки  $x$  режущей кромки к оси вращения сверла, когда диаметр  $D_x$  стремится к нулю, передний угол в этой точке лезвия тоже стремится к нулю. Передний угол на периферии сверла  $\gamma = \omega$ . Передний угол задается при изготовлении сверла.

Кинематический передний угол

$$\gamma_k = \gamma_u + \eta. \quad (26)$$

## 2.6. Винтовая канавка сверла

Винтовая канавка сверла предназначена для вывода стружки из просверленного отверстия. Она обеспечивает требуемый передний угол резания лезвия, обеспечивающий с наименьшим энергопотреблением срезать стружку. Чем больше объем винтовой канавки, тем проще отвести стружку из отверстия. Однако, винтовая канавка ослабляет тело сверла, понижает его прочность.

Угол подъема винтовой канавки находится из соотношения (рис. 9)

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi D}{S}, \quad (27)$$

где  $S$  – шаг винтовой канавки, мм.

Отметим на режущей кромке лезвия точки 1, 2, 3, соответствующие диаметрам сверла  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ . Из рис. 9 можно отметить, что при постоянном шаге винтовой линии канавки углы ее наклона в указанных точках получаются разными. Передние углы в указанных точках тоже будут разными, так как  $\gamma = \omega$ .

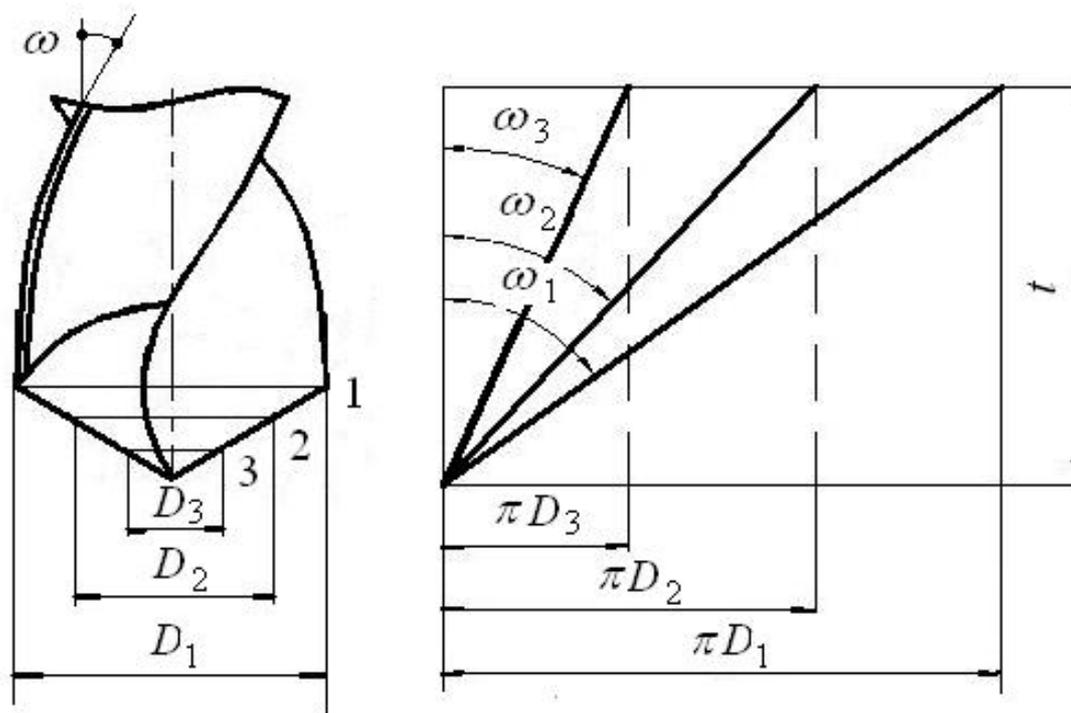


Рис. 9. Изменение угла наклона винтовой канавки

Увеличение угла наклона винтовой канавки  $\omega$  приводит к увеличению рабочего пространства для размещения стружки, к увеличению переднего угла  $\gamma$ , к снижению угла резания  $\delta$ , а это, в свою очередь, приводит к снижению сил и мощности резания. Увеличение угла  $\omega$  от  $22^\circ$  до  $30^\circ$  приводит к уменьшению крутящего момента на 20...30%.

При этом увеличение угла наклона винтовой канавки  $\omega$  приводит к снижению жесткости инструмента, влияет на прочность сверла. Это особенно важно для тонких сверл. В связи с этим для сверл малого диаметра рекомендуется значения угла наклона в пределах  $20^\circ \dots 25^\circ$ .

Кроме того, увеличение угла наклона винтовых канавок  $\omega$  может привести к брикетированию стружки.

При сверлении отверстий в древесине, особенно в автоматизированном производстве, необходимо обеспечить бесперебойный и надежный отвод стружки из зоны резания. Забивание стружечных канавок брикетами стружки приводит к поломке спирального сверла и остановке производственного процесса.

## 2.7. Классификация сверл

По конструкции и назначению сверла делятся на три группы:

– сверла спиральные:

- с конической заточкой;
- с центром и подрезателями;
- оснащенные пластинами твердого сплава;

– сверла чашечные:

- чашечные;
- к станкам СВСА-2 и СВСА-3;
- с твердосплавными пластинами;

– сверла для обработки пробок:

- сверла цилиндрические пустотелые с выталкивателем для обработки пробок;
- сверла для кольцевого сверления пробок;
- пробочники к станкам СВСА-2 и СВСА-3.

## 2.8. Типы сверл

В деревообрабатывающей промышленности применяются разнообразные конструкции сверл. Основные типы дереворежущих сверл приведены ниже.

**Центровые сверла с плоской головкой.** Сверла (перовые сверла или просто перки) применяют для обработки сквозных и несквозных неглубоких отверстий поперек волокон древесины (рис. 8). Выход стружки в них затруднен. Сверло имеет центр, который фиксирует позицию сверла на обрабатываемой заготовке прежде, чем режущие кромки врежутся в древесину. Стружки, получаемые во время сверления, не удаляются из отверстия. Сверла бывают однозубые и двузубые, с подрезателями.



Рис. 8. Центровое сверло с плоской головкой и двумя зубьями

Сверлят такими сверлами на глубину  $H = 2D$ , где  $D$  – диаметр сверла. При сверлении более глубоких отверстий сверло многократно поднимают из отверстия для удаления стружки.

Диаметр сверл – 10...60 мм, длина – до 150 мм.

**Ложечные сверла.** Сверла применяются для продольного сверления древесины, когда продольная ось сверла расположена параллельно волокнам древесины. Рабочая часть сверла имеет одну режущую кромку и продольный желоб для отвода стружки (рис. 9). При сверлении под действием сил резания сверло отгибается от заданного направления, отверстие разбивается, понижается точность его размеров. Для повышения точности обрабатываемых отверстий сверло снабжается центром, и задняя поверхность сверла делается цилиндрической.

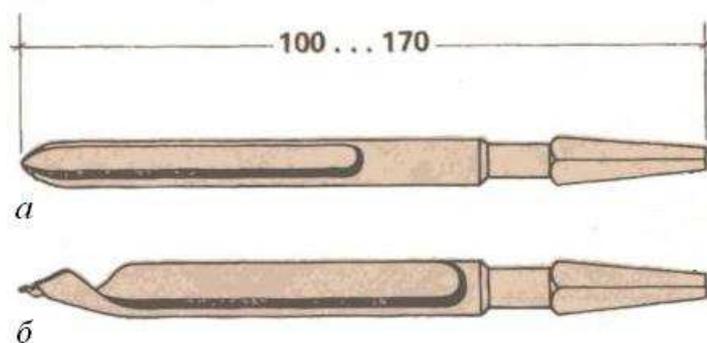


Рис. 9. Ложечные сверла:

$a$  – без центра;  $b$  – с центром

В желобе, при глубоком и форсированном сверлении, стружка спрессовывается в брикет, и поэтому сверло необходимо часто поднимать из отверстия для удаления стружки.

Ложечные сверла имеют следующие размеры: диаметр сверл 6...50 мм, длина рабочей части 110...250 мм, длина хвостовика 50 мм, диаметр хвостовика  $d = 13...20$  мм.

**Спиральные сверла.** Спиральные сверла (рис. 10) с конической заточкой предназначены для сверления древесины вдоль волокон (ГОСТ 22057-76). При работе режущие кромки сверла перерезают волокна древесины в торцово-поперечном направлении, поверхность резания получается гладкой.

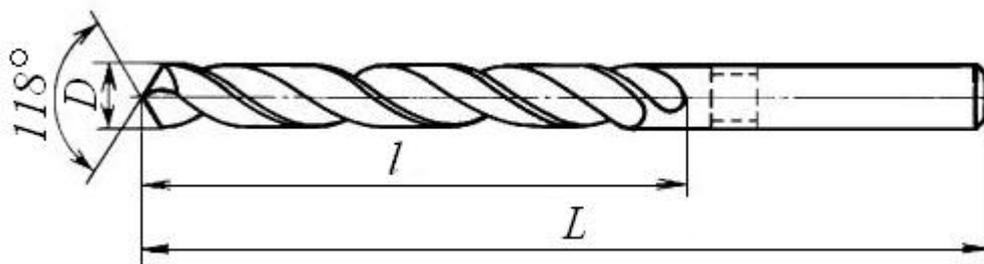


Рис. 10. Сверло спиральное по ГОСТ 22057-76

Сверла выпускаются диаметром  $D=2,0...20,0$  мм, длиной рабочей части  $l = 25...140$  мм и длиной  $L=45...210$  мм. Угол подъема винтовой канавки задается свой для каждого диаметра сверла и изменяется в диапазоне  $\omega = 23^\circ...31^\circ$ . С увеличением диаметра сверла увеличивается и угол подъема канавки.

Пример условного обозначения сверла диаметром  $D=10$  мм длиной серии:

Сверло 3300-0074 ГОСТ22057-76.

Сверла выпускают из легированной инструментальной стали марки Х6ВФ, допускается использование сталей Р6М5, 9ХС.

Твердость рабочей части сверла должна быть HRCэ 55...62. Шероховатость поверхности стружечных канавок  $Rz \leq 10$  мкм.

После изготовления сверла подвергаются испытаниям на работоспособность на станках с механической подачей. Испытания проводятся при режимах резания:

- заготовки из хвойных пород древесины по ГОСТ 9685-61;
- частота вращения сверла,  $\text{мин}^{-1}$ : 3000; 6000;
- подача на оборот, мм/об:
  - при сверле диаметром до 4 мм – 0,1...0,4;
  - при сверле диаметром более 4 мм – 1,0...1,4 ( $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ ) и 0,6...0,8 ( $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$ ).

При испытании на работоспособность должно быть просверлено не менее 25 отверстий **глубиной, равной трем диаметрам сверла**. Поверхности полученных отверстий не должны иметь прижогов.

**Сверла спиральные с центром и подрезателями.** Сверла предназначены для сверления отверстий в древесине поперек волокон при высоких требованиях к качеству обработки (ГОСТ 22053-76).<sup>10</sup> При работе главные режущие кромки сверла волокна древесины не перерезают и совершают продольно-поперечное резание. Волокна перерезают подрезатели.

Сверла изготавливаются двух типов: тип 1 – с широкой ленточкой; тип 2 – с узкой ленточкой (рис. 11).

*Сверла типа 1* выпускаются диаметром  $D=4...12$  мм, длиной рабочей части  $l=43...101$  мм и длиной  $L=75...151$  мм.

Материал сверл – инструментальная легированная сталь марки Х6ВФ, допускается сталь Р6М5 и 9ХС.

Твердость режущей части: из быстрорежущей стали HRCэ 58...61, для других сталей HRCэ 53...57.

<sup>10</sup> ГОСТ 22053-76 Сверла спиральные дереворежущие с центром и подрезателями. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 14 с.

Сверла типа 2 выпускаются диаметром  $D = 4 \dots 32$  мм, длиной рабочей части  $l = 48 \dots 125$  мм и длиной  $L = 80 \dots 200$  мм.

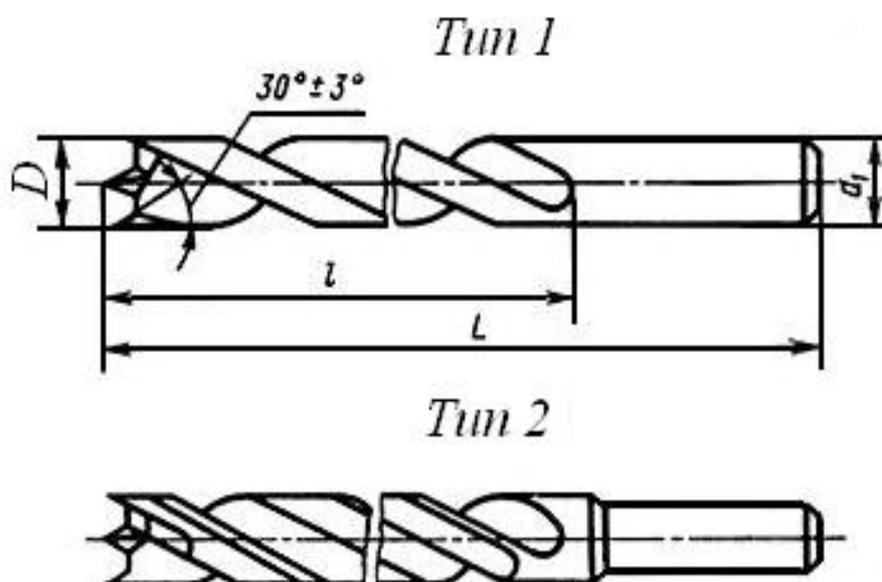


Рис. 11. Сверла спиральные с центром и подрезателями

**Сверла винтовые.** Сверла предназначены для сверления глубоких сквозных отверстий в брусках, деревянных фермах. Сверла диаметром  $D = 10 \dots 50$  мм имеют длину  $L = 400 \dots 1100$  мм.

Различают сверла винтовые, шнековые и штопорные.

*Винтовые сверла.* Сверла снабжены винтовым центром, подрезателями и двумя лезвиями с режущими кромками и винтовой канавкой, сформированной вокруг цилиндрического стержня (рис. 12).

Центр определяет место сверла на обрабатываемой детали прежде, чем лезвия врежутся в деталь. Винтовая поверхность обеспечивает самоподачу сверла. Большая винтовая канавка гарантирует удаление стружки из глубоких отверстий.



Рис. 12. Сверло винтовое с центром

*Шнековые сверла.* Сверло выполнено в виде цилиндрического стержня, вокруг которого по всей длине навивается одна винтовая канавка одного из лезвий и лишь вначале рабочей части в пределах одного витка, сформировано второе лезвие. Сверло имеет центр и подрезатель (рис. 13).



Рис. 13. Шнековые сверла

*Штопорное сверло.* Сверло получается путем навивки одного рабочего пера по винтовой линии. Сердцевина сверла в конструкции отсутствует. Сверло имеет одно лезвие с одной режущей кромкой (рис. 14).



Рис. 14. Сверло штопорное по дереву

Во всех конструкциях длинных сверл (винтовых, шнековых и штопорных) имеется конический хвостовик (конус Морзе). У коротких сверл хвостовик может быть и цилиндрическим.

**Сверла чашечные.** Сверла предназначены для обработки неглубоких отверстий в древесине и древесных плитных материалах, например для высверливания сучков, обработки гнезд под фурнитуру мебели и др.

Диаметр сверла (рис. 15)  $D=15...55$  мм, диаметр хвостовика  $d = 12, 16$  мм, длина фрезы  $L = 120...150$  мм.

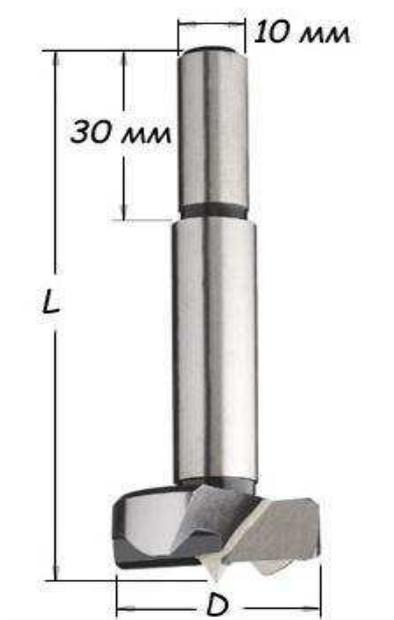


Рис. 15. Сверло чашечное

**Комбинированный чашечный инструмент.** Режущий инструмент предназначен для обработки цилиндрических отверстий большого диаметра (рис. 16).



Рис. 16. Комбинированный чашечный инструмент

## Глава 3. Оборудование для обработки крупногабаритных отверстий

### 3.1. Обработки глубоких отверстий

Отверстия называют глубокими, если их глубина  $H \geq 10D$ , где  $D$  – диаметр сверла. Потребность обработки таких отверстий встречается часто, например, при изготовлении срубов деревянных домов (рис. 17).

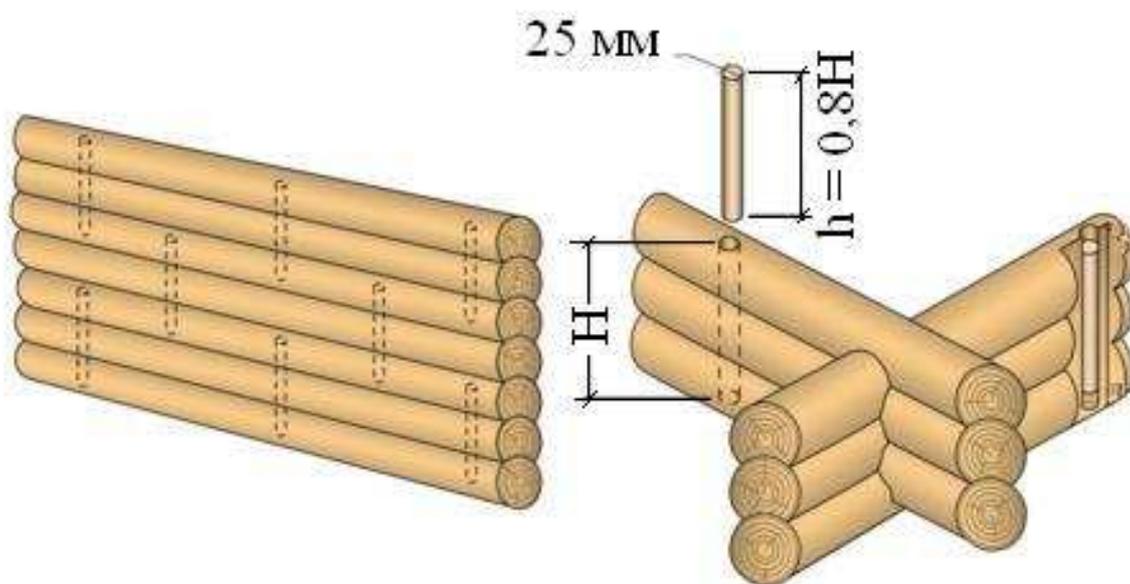


Рис. 17. Способ фиксации бревен нагелями

При сборке сруба бревна необходимо фиксировать. Для этого в бревнах высверливают отверстия диаметром 25...30 мм на глубину до  $3D$  и в них забивают нагели.

Для сверления используют винтовые шнековые сверла длиной  $L = 220, 450, 600$  мм и сверлят при частоте вращения сверла  $800 \text{ мин}^{-1}$ .

Для сверления длинных отверстий часто используют электрические дрели. Сверлильный станок оказывается непригодным, так как у него ограничен ход сверла.

Сверло, закрепленное в патроне, всегда имеет радиальное биение, которое усложняет получение прямолинейного отверстия. Кроме того, при давлении на сверло в процессе сверления, оно изгибается и уходит вбок. Поэтому, если к обрабатываемому отверстию предъявляется требование прямолинейности, то надо позаботиться о направляющей для сверла, поддерживающей его и предотвращающей изгиб сверла. Для снижения осевой силы резания, с целью предотвращения изгиба сверла, сначала следует сверлить тонким сверлом на некоторую глубину, а затем заканчивать работу сверлом заданного диаметра.

Надо чаще вынимать сверло из отверстия, не останавливая его вращения, удалять стружку и снова сверлить. В этом случае нагрузка на сверло уменьшается, и оно обеспечивает прямолинейное сверление.

Известна обработка отверстия в древесине длиной 1 м и более с помощью проволоки, расклепанной на конце в форме ромба и заточенной. С использованием направляющей, при небольшой частоте вращения и частой очистке отверстия от стружки удастся получить длинное отверстие.

### 3.2. Способы обработки отверстий большого диаметра

Отверстия большого диаметра имеют диаметр от 100 мм до 1000 мм и более. Обработка таких отверстий выполняется на сверлильном станке с использованием балеринки или на станке с числовым программным управлением (ЧПУ).

**Балеринка** (рис. 18) включает поперечину, на которой с возможностью раздвижения на заданный размер, насажены патроны с резцами и патрон с хвостовиком и сверлом, устанавливаемый в пиноли сверлильного станка. При работе сверлильного станка балеринка вращается и надвигается пинолью на деталь. В результате просверливается сверлом отверстие, которое далее выступает в роли поддерживающего центра. Далее вступают в работу резцы, они врезаются в поверхность заготовки, вырезают кольцевую канавку вокруг направляющего центра, формируют цилиндрическую поверхность отверстия. Обычно с од-

ной стороны детали отверстие обрабатывается на половину, затем деталь переворачивается, сверло заводится в направляющее отверстие, и отверстие обрабатывается окончательно.

В кольцевой канавке скапливается стружка, отвод ее из зоны резания затруднен, поэтому канавка делается неглубокой. Делая канавку с двух сторон заготовки, удастся сделать канавку сквозной без уплотнения стружки. При правильно выбранном режиме резания поверхность отверстия получается высокого качества.

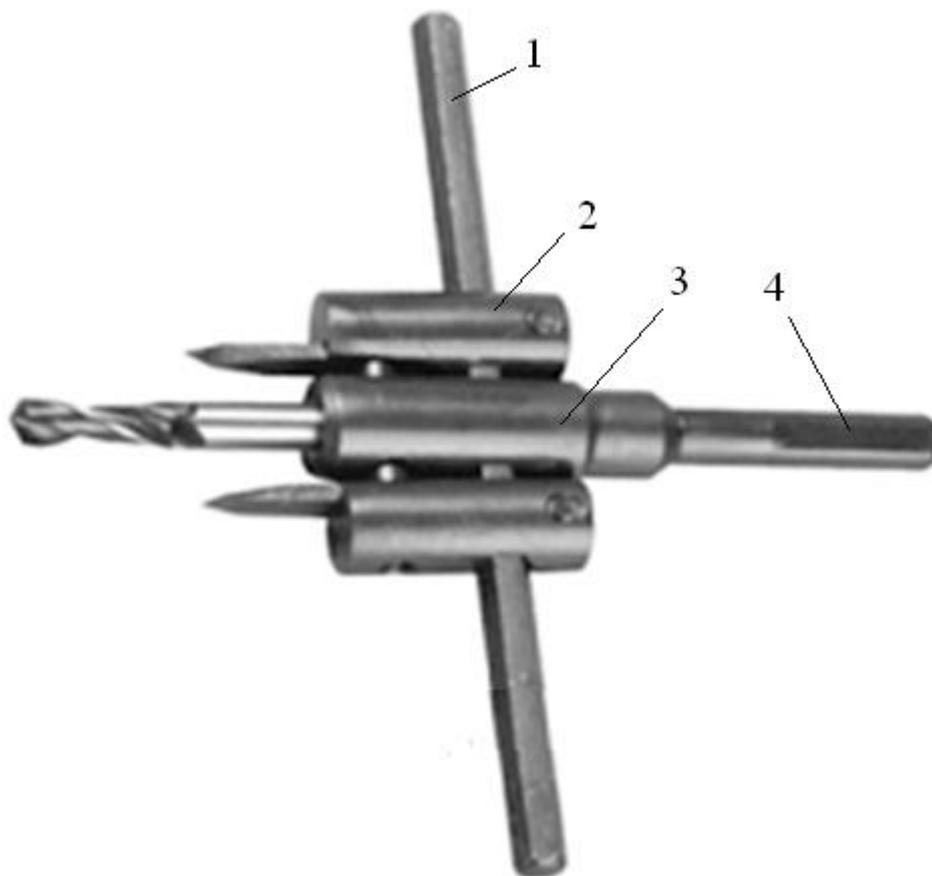


Рис. 18. Балеринка для обработки отверстий:

1 – поперечина; 2 – патрон раздвижной с закрепленным резцом;

3 – патрон для сверла; 4 – хвостовик

**Отверстия большого диаметра** могут быть обработаны на станке с ЧПУ. Станок с ЧПУ включает стол, на котором фиксируется обрабатываемая деталь, и суппорт, перемещаемый над столом по трем координатным осям X, Y, Z вин-

товыми парами с шаговыми электродвигателями (или серводвигателями). На суппорте смонтирован электродвигатель механизма главного движения резания с патроном и концевой фрезой.

Изготовитель снабжает станок базовой программой, включающей множество подпрограмм (более 100), которые включаются кодами. Например, код G01 включает соответствующую ему подпрограмму, обеспечивающую перемещение вращающейся фрезы от одной точки к другой по прямой линии и заданной скоростью подачи. Код G02 обеспечивает перемещение фрезы по траектории дуги окружности в направлении часовой стрелки. Код M02 означает конец управляющей программы, а код M03 – вращение шпинделя главного двигателя по часовой стрелке.

Для управления кодами нужна управляющая программа, которая составляется на каждую обрабатываемую деталь.

Пусть в заготовке толщиной 40 мм требуется обработать сквозное отверстие диаметром 800 мм (рис. 19). Для обработки используется цилиндрическая концевая фреза диаметром 12 мм. Частота вращения шпинделя станка  $n = 6000$  мин<sup>-1</sup>, скорость подачи  $V_s = 500$  мм/мин.

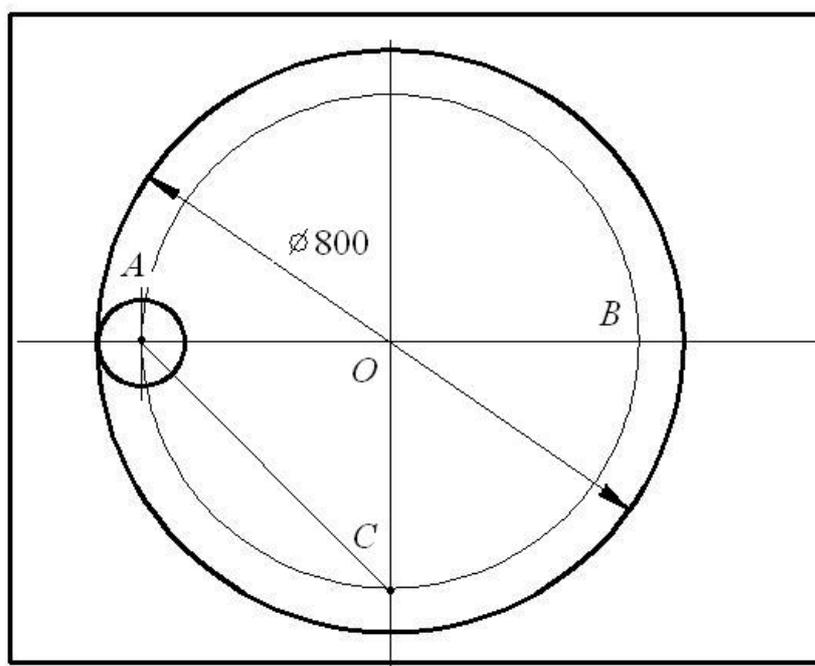


Рис. 19. Эскиз отверстия детали

При обработке отверстия концевая фреза будет двигаться по эквидистантной (равноудаленной) траектории ABC. Назначим начало координат детали в точке O. Выделим на эквидистантной траектории узловые точки A и C. Найдем их координаты: A(-394, 0); C(0, -394).

Управляющая программа пишется кадрами, на каждое перемещение от точки к точке записывается отдельный кадр. В кадре для дуги окружности указывается радиус с соответствующим знаком (+ или -). Для определения знака поступают так. Проведем хорду AC, которая поделит окружность на два сегмента: ABC и CA. Центр окружности для сегмента ABC находится внутри сегмента, следовательно, радиус круга следует ставить со знаком – (минус); для сегмента CA центр окружности находится вне сегмента и знак радиуса должен быть + (плюс).

Для работы на столе станка крепится заготовка. Вручную, перемещая суппорт с электродвигателем и фрезой, коснемся фрезой поверхности заготовки в точке, где должен быть центр отверстия и начало координат детали. Обнулим на компьютере точку начала координат. Сейчас компьютер знает, где находится начало координат и обеспечит все перемещения по управляющей программе.

Ниже приведена управляющая программа для станка с ЧПУ для обработки цилиндрического отверстия с пояснениями.

%	Начало программы.
O 001	Название, номер программы.
N1 G21 G40 G49 G54 G80 G90	Строка безопасности, приводится всегда.
N2 G01 Z15 S6000 F500 M03	Подъем над центром на 15 мм, $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$ , $V_s = 500 \text{ мм/мин}$ .
N3 G01 X-394 Y0	Перемещение в точку A.
N4 G01 Z-45	Заглубление в заготовку на глубину 45 мм.
N5 G02 X0 Y-394 R-394	Движение по дуге ABC в точку C, радиус -394.
N6 G02 X-394 Y0 R+394	Движение по дуге CA в точку A, радиус +394.

N7 G01 Z15

Подъем над заготовкой на 15 мм.

N8 G01 X0 Y0

Перемещение в исходную точку для смены заготовки, установки новой заготовки.

N9 M2

Конец программы с остановкой двигателя.

%

Управляющая программа без комментариев набирается в программе «Блокнот», переносится на компьютер станка с ЧПУ и многократно используется.

## **Глава 4. Режимы сверления**

### **4.1. Понятие о режиме сверления**

Режимом сверления называется совокупность числовых значений параметров процесса резания, относящихся к древесине, режущему инструменту и станку, от которых зависят технико-экономические показатели.

Совокупность параметров процесса резания дает множество режимов. Изменение численного значения хотя бы одного из параметров делает режим резания другим. Таким образом, для сверления отверстий с заданной формой, размерами и гладкостью можно подобрать много разнообразных режимов резания. Все они обеспечат обработку отверстий в деталях. Но для производства важно не просто обработать детали, а обработать их с наименьшими затратами материалов, электроэнергии, труда.

*Режимы резания называются рациональными, если численные значения их режимных параметров позволяют получить высокие технико-экономические показатели.*

Режимные параметры взаимосвязаны, и поэтому нельзя произвольно изменять значения одних без соответствующего корректирования значений других параметров. При выборе режимов резания производят соответствующее согласование всех параметров с учетом возможности их реализации на станке.

### **4.2. Рекомендуемые параметры режимов сверления**

Производительность и качество сверления зависит от частоты вращения сверла. Многолетние наблюдения за обработкой древесины и древесных материалов методом сверления позволяют рекомендовать следующие частоты вращения сверл (табл. 2).

Рекомендуемая частота вращения сверл, мин<sup>-1</sup>

Диаметр сверла $D$ , мм	Породы древесины:	
	мягкие	твердые
Сверла спиральные		
2...6	3000	3000
6...10	3000	1500
10...16	1500	750
16...25	750	500
Сверла спиральные с центром и подрезателями		
3...6	1800	1200
6...10	1800	1000
10...12	1800	750
12...16	1800	750
16..19	1800	500
19...22	1400	250
22...25	1200	250
25 и более	1000	250
Сверла перовые		
6...16	2000	1500
16... 25	1750	1500
25...40	1500	1000
Сверла перовые с подрезателями		
10...25	2000	1800

Для получения при сверлении поверхностей с шероховатостью  $R_{z \max} = 60...320$  мкм по ГОСТ 7016-82 необходимо работать с подачей на один оборот  $S_o = 0,7...2,2$  мм при сверлении мягких пород древесины и  $S_o = 0,1...0,5$  мм при сверлении твердых пород.

Допустимая глубина сверления за один проход  $t \leq (1...5)D$ . Для тонких сверл допустимая глубина сверления меньше.

## Глава 5. Глубина сверления

### 5.1. Транспортирование стружки спиральным сверлом

При сверлении отверстий в массивной древесине образовавшаяся стружка по канавкам сверла отводится из зоны резания, однако механизм удаления стружки остается непонятным.

Спиральное сверло представляет собой стержень со сложным поперечным сечением формы, который одновременно нагружен сжимающей (осевой) силой и крутящим моментом. При этом рост крутящего момента обусловлен движением стружки по стружечным канавкам спирального сверла и трением их по стенкам отверстия. В результате этого наибольшее касательное напряжение в сверле зачастую превосходит допускаемое, и сверло разрушается.

Конструктивно рабочая часть сверла включает сердцевину толщиной  $(0,3...0,4)D$ , два зуба с режущими кромками и винтовые канавки с углом наклона  $\omega = 20...30^\circ$  для отвода стружки из зоны резания. Чем больше наклон канавок, тем меньше их угол подъема и лучше отводится стружка, но жесткость и прочность сверла понижаются, так как на длине рабочей части сверла увеличивается объём канавки.

Рассмотрим схему транспортирования стружки из отверстия при сверлении (рис. 20).

При работе сверло заглубляется в древесину со скоростью подачи  $V_s$ . При заглублении на небольшую глубину  $dt$  сверло диаметром  $D$  срезает слой древесины объемом  $dO = \frac{\pi D^2}{4} dt$  см<sup>3</sup> массой  $dm = 0,001 \frac{\pi D^2 \rho}{4} dt$  кг, где  $\rho$  –

плотность древесины, г/см<sup>3</sup>. В каждую винтовую канавку попадает половина указанной массы стружки, кг:

$$dm_0 = 0,001 \frac{\pi D^2 \rho}{8} dt. \quad (15)$$

Стружка, попавшая в канавки, вращается вместе со сверлом и под действием центробежных сил  $dF_{ц}$  прижимается к внутренней цилиндрической поверхности отверстия, Н:

$$dF_{ц} = \frac{dmV^2}{r},$$

где  $r$  – радиус сверла, м;

$V$  – максимальная окружная скорость вращения сверла, м/с:

$$V = \frac{\pi Dn}{60000},$$

где  $D$  – наружный диаметр сверла, мм;

$n$  – частота вращения сверла, мин<sup>-1</sup>.

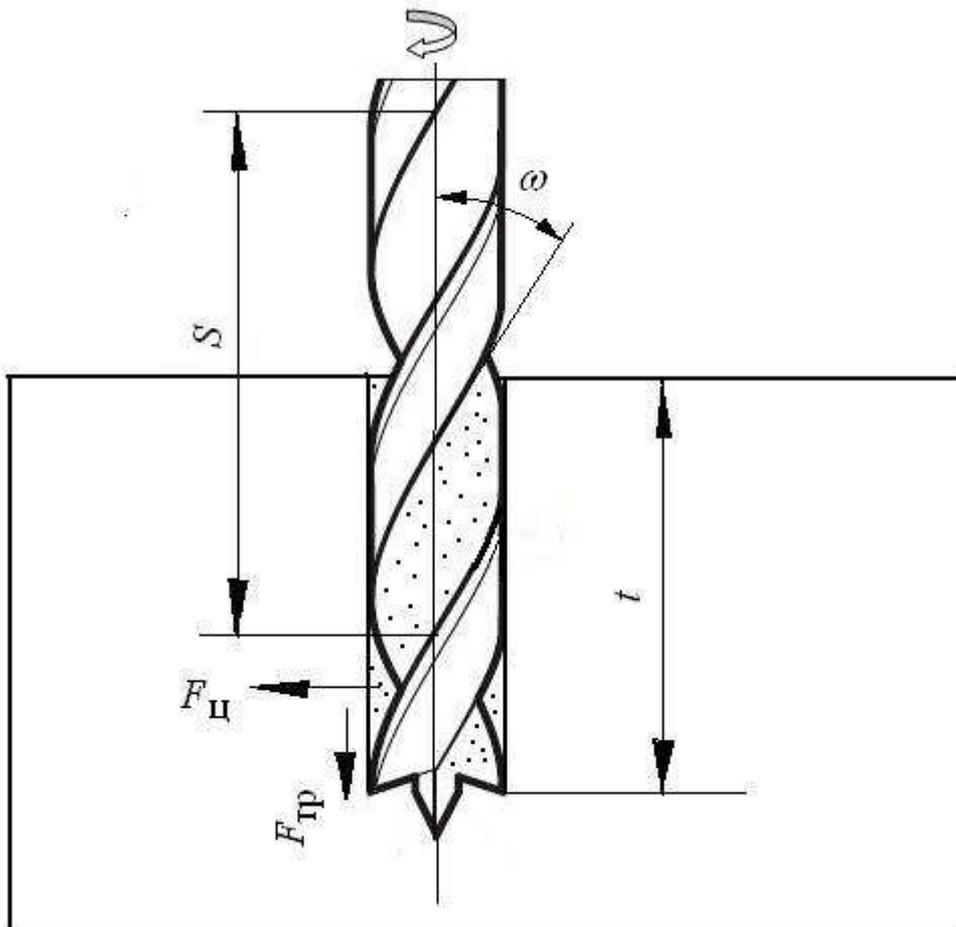


Рис. 20. Схема удаления стружки и конструкция сверла

Заметим, что на периферии сверла окружная скорость вращения равна  $V$ , на средней цилиндрической поверхности (в точке на середине режущей кромки)  $0,5 V$ , в точке режущей кромки, расположенной около центра – близка к нулю (рис. 21). По такой же закономерности изменяются и центробежные силы. В пространстве, расположенном в промежутке между периферией сверла и цилиндрической поверхностью с диаметром  $D/2$  центробежные силы отбрасывают стружку к стенке отверстия. В пространстве внутреннего цилиндра, особенно около сердцевинки, окружные скорости вращения сверла близки к нулю и центробежные силы небольшие по величине, неспособные преодолеть сопротивления трения, чтобы отбросить стружку к периферии. Здесь стружка только вращается вместе со сверлом.

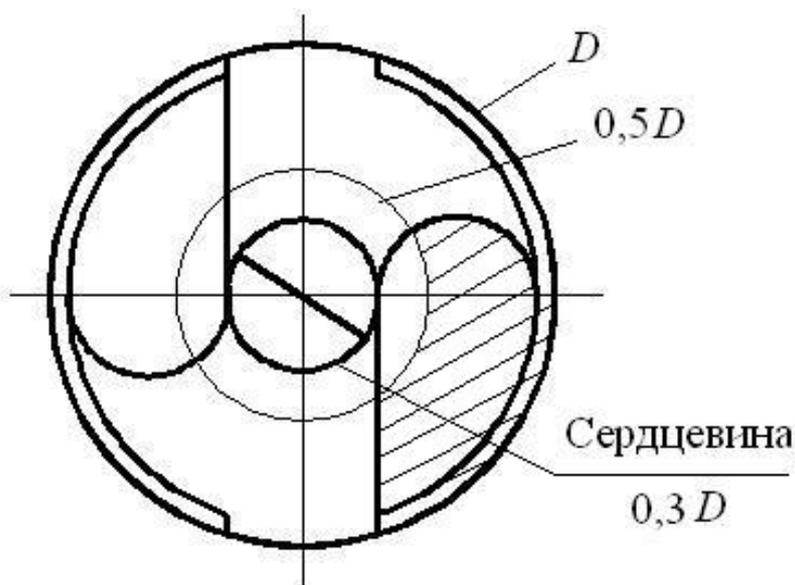


Рис. 21. Поперечное сечение спирального сверла

Найдем массу стружки, срезаемой в периферийной зоне между цилиндрическими поверхностями с диаметрами  $D$  и  $0,5D$ , кг:

$$dm_1 = 0,001 \frac{(\pi D^2 - \pi (0,5D)^2) \rho}{8} dt = 0,003 \frac{\pi D^2 \rho}{32} dt. \quad (16)$$

Масса стружки между сердцевинкой и цилиндрической поверхностью с диаметром  $0,5D$ , кг:

$$dm_2 = 0,001 \frac{\pi D^2 \rho}{32} dt. \quad (17)$$

На цилиндрической поверхности отверстия стружка тормозится силами трения, Н:

$$dF_{mp} = dF_{\mu} f = \frac{dm_1 V^2}{r} f = 0,003 \frac{\pi D^2 \rho}{32} dt \frac{V^2}{r}, \quad (18)$$

где  $f$  – коэффициент трения скольжения древесной стружки по деревянной поверхности отверстия;  $f = 0,5$ .

Сила трения создает тормозной вращательный момент, а также препятствует перемещению стружки в осевом направлении сверла. Стружка стремится остановиться около поверхности отверстия. Однако, винтовая поверхность канавки сверла подхватывает стружку, и преодолевая торможение, вращает ее. В результате на поверхности канавки касательно к ней возникает усилие  $F_{\kappa}$ , создающее скольжение стружки по канавке к выходу,

$$dF_{\kappa} = dF_{mp} \sin(\omega + \rho_1) = 0,003 \frac{\pi D^2 \rho}{32} dt \frac{V^2}{r} \sin(\omega + \rho_1), \quad (19)$$

где  $\rho_1$  – угол трения стружки по стальной поверхности канавки сверла;

$$\omega - \text{угол подъема винтовой поверхности канавки; } \operatorname{tg} \omega = \frac{S}{\pi d},$$

где  $S$  – шаг винтовой канавки.

Стружка, словно гайка на вращающемся винте, скользит по канавке и выходит из отверстия.

При оптимальном режиме сверления количество удаляемой разрыхленной стружки должно равняться количеству образующейся разрыхленной стружки. Производительность удаления стружки зависит от глубины сверления, частоты вращения сверла и параметров сверла: диаметра и шага винтовой канавки. Чем больше глубина сверления, тем больше силы трения стружки в отверстии, препятствующие выносу стружки. С увеличением частоты вращения производительность выноса стружки увеличивается.

Производительность вновь образующейся стружки зависит от подачи на зуб при сверлении. При малых значениях подачи на зуб образуется небольшое количество разрыхленной стружки, и сверло беспрепятственно удаляет ее из отверстия. При больших значениях подачи на зуб образуется много разрыхленной стружки, и сверло не успевает удалить ее из зоны сверления. В отверстиях в канавках образуются брикеты уплотненной стружки.

Сравнивая формулы (16) и (17), отметим, что  $\frac{3}{4}$  образовавшихся стружек, расположены в периферийной зоне сверла, и они нормально удаляются по канавкам сверла из отверстия. При этом  $\frac{1}{4}$  часть стружек расположена в центральной зоне сверла, около его сердцевины, и эта часть стружек плохо удаляется из отверстия. Стружка не отбрасывается к стенкам отверстия, угол подъема винтовой линии канавки около сердцевины сверла близок к  $90^\circ$ , и канавка оказывает большое сопротивление продвижению стружки. Стружка в этой зоне выталкивается вновь образующейся стружкой. Здесь стружка уплотняется, здесь зарождаются плотные брикеты.

По мере увеличения глубины сверления или с форсированием подачи объем брикетов быстро распространяется на весь объем канавки. Вынос стружки из отверстия прекращается. Дальнейшее сверление становится невозможным, так как брикеты заклинивают поворот сверла в отверстии.

Для любого режима сверления можно выделить критическую глубину, превышение которой недопустимо. При достижении этой глубины сверло надо поднять из отверстия, очистить от брикета стружки и продолжить сверление до следующей критической глубины. Глубина сверления массивной древесины за один проход рекомендуется  $t \leq 10d$ .<sup>11</sup> Это слишком неопределенно.

Срезанная стружка, перемещаясь по винтовым канавкам сверла, ломается, разрыхляется. Примем коэффициент полнодревесности разрыхленновоздушной стружки  $K_v = 0,03125$ .

<sup>11</sup> Ивановский Е.Г. Резание древесины / Е.Г. Ивановский. – М.: Издательство «Лесн. пром-сть», 1975. – 200 с.

В этом случае разрыхленные стружки в воздухе будут занимать объем в 32 раза больше объема массивной древесины. Найдем объем разрыхленновоздушных стружек, поступающих в одну канавку в периферийной зоне за 1 мин работы сверла, мм<sup>3</sup>/мин:

$$Q_c = 3 \frac{\pi D^2}{32 K_v} S_z n, \quad (20)$$

где  $S_z$  – подача на 1 зуб сверла, мм.

Осевая скорость подъема стружки, мм/мин:

$$V_{oc} = 0,5V \sin 2\omega = 0,5\pi D n \sin 2\omega, \quad (21)$$

где  $\omega$  – угол между продольной осью сверла и касательной к поверхности винтовой канавки

$$\omega = \arctg \frac{\pi d}{S}.$$

Найдем живое сечение (поперечное сечение) канавки в периферийной зоне сверла (см. рис. 21, заштрихованная зона), приблизительно приняв его как разность площади сектора и площади прямоугольника, мм<sup>2</sup>:

$$s \approx \frac{1}{4} \cdot \frac{\pi D^2}{4} - \frac{D}{2} \cdot \frac{0,3D}{2} = 0,12D^2.$$

Производительность канавки, мм<sup>3</sup>/мин:

$$\Pi_k = s V_{oc} = 0,12 D^2 \cdot 0,5 \pi D n \sin 2\omega.$$

$$\Pi_k = 0,06 D^3 \pi n \sin 2\omega \quad (22)$$

Приравнивая  $Q_c$  и  $\Pi_k$ , получим

$$3 \frac{\pi D^2}{32 K_v} S_z n = 0,06 D^3 \pi n \sin 2\omega$$

Отсюда при  $K_v = 0,03125$  находится максимально допустимая величина подачи на зуб, мм:

$$S_z = 0,64 DK_v \sin 2(\arctg \frac{\pi D}{S}). \quad (24)$$

*Пример.* По полученной формуле ниже для заданных сверл получены допустимые значения подачи на зуб. На практике подача на зуб при сверлении древесины изменяется в диапазоне 0,1...2,0 мм.

Диаметр сверла, мм	4	6	10	12
Шаг спирали сверла, мм	30	37	60	80
Допустимая подача на зуб, мм	0,057	0,097	0,164	0,185

## 5.2. Сверление фанеры

Для проверки теоретических исследований были проведены лабораторные испытания процесса сверления фанеры.<sup>12</sup> Для сверления были выпилены из фанеры толщиной 9 мм 5 заготовок 120×120 мм и саморезами объединены в блок толщиной 45 мм. Сверление выполняли спиральным сверлом диаметром 6 мм на станке с ЧПУ. На станке изменялась глубина сверления, частота вращения шпинделя и скорость подачи. Результаты экспериментов приведены в прилагаемой табл. 3

Из данных таблицы найдем зависимости коэффициента  $m$  от подачи на зуб  $S_z$ . Коэффициент  $m = t/D$ , где  $t$  – глубина сверления, мм;  $D$  – диаметр сверла, мм. Получены следующие зависимости.

1. При отсутствии брикета стружки в канавках:

$S_z$ , мм	0,042...0,083	0,125	0,167...0,250
$m = t/D$	6,7	5	3,3

<sup>12</sup> Глебов, И. Т. Удаление стружки при сверлении / И. Т. Глебов, Г. Амет // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века : труды X международного евразийского симпозиума / [под науч. ред. В. Г. Новоселова]. – Екатеринбург, 2015. – С. 137–142.

Исследуемые режимы сверления фанеры

Частота вращения шпинделя $n$ , мин <sup>-1</sup>	Скорость подачи сверла $V_s$ , мм/мин	Глубина сверления $t$ , мм	Наличие брикета (да, нет)	Длина брикета $l$ , мм	Подача на зуб $S_z$ , мм	
3000	1000	20	Нет	0	0,167	
		25	Да	5		
		30	Да	10		
		40	Да	15		
	750	20	Нет	0	0,125	
		25	Да	5		
		30	Да	10		
		40	Да	15		
	500	20	Нет	0	0,083	
		25	Нет	0		
		30	Нет	0		
		40	Да	5		
	250	20	Нет	0	0,042	
		25	Нет	0		
		30	Нет	0		
		40	Нет	0		
	1000	20	Нет	0	0,25	
		30	Да	5		
		40	Да	Заклинило		
			20	Нет	0	0,188
			30	Да	5	

2000	750	40	Да	15	0,125	
	500	20	Нет	0		
		30	Нет	0		
	250	40	Да	5	0,063	
		20	20	Нет		0
			30	Нет		0
1000	1000	20	Да	Заклинило		0,5
		30	Да	Заклинило		
		40	Да	Заклинило		
	750	20	Да	5	0,375	
		30	Да	Заклинило		
		40	Да	Заклинило		
	500	20	Да	5	0,250	
		30	Да	10		
		40	Да	15		
	250	20	Нет	0	0,125	
		30	Нет	0		
		40	Да	5		

*Вывод.* При сверлении фанеры с подачей на зуб  $S_z < 0,1$  мм можно беспрепятственно сверлить на глубину 6,7 диаметров сверла. При подаче на зуб  $S_z = 0,167...0,250$  мм допустимая глубина сверления равна 3,3 диаметра сверла.

2. Сверление фанеры с допустимым брикетом  $l = 5$  мм:

$S_z$ , мм	0,083...0,125	0,167	0,188	0,250...0,375
$m = t / D$	6,7	4,2	5	3,3

*Вывод.* При сверлении фанеры с допустимой длиной образующегося брикета  $l = 5$  мм возможно:

– при подаче на зуб  $S_z < 0,125$  мм можно сверлить отверстия за один проход на глубину 6,7 диаметров сверла;

– при подаче на зуб  $S_z \geq 0,167$  мм допустимая глубина сверления равна 4,2 диаметра сверла.

3. Сверление фанеры с допустимым брикетом  $l = 10$  мм:

$$S_z, \text{ мм} \quad 0,167 \dots 0,250$$

$$m = t / D \quad 5$$

Такое сверление опасно, может привести к заклиниванию сверла, к его поломке.

#### **Выводы.**

Из полученных данных можно сделать следующие общие выводы.

1. При подаче на зуб сверла  $S_z < 0,1$  мм брикет стружки при сверлении не образуется. Удаление стружки из отверстия происходит без помех. Допустимая глубина сверления за один проход равна 6,7 диаметра сверла.

Значение подачи на зуб, обеспечивающей максимальную глубину сверления за один проход можно рассчитать по формуле (24). Сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований удовлетворительная.

2. При подаче на зуб сверла  $S_z = 0,167 \dots 0,250$  мм брикет стружки не образуется, но глубина сверления убывает до 3,3 диаметров сверла.

3. При форсированных режимах сверления можно допустить образование брикета стружки длиной 5 мм. Тогда при подаче на зуб сверла  $S_z \leq 0,3$  мм глубина сверления выбирается в зависимости от подачи на зуб и принимается в диапазоне 3,3...6,7.

### 5.3. Сверление массивной древесины

При сверлении массивной древесины сосны и березы в поперечном направлении была выявлена важная закономерность удаления стружки из отверстия. В начале сверления стружка транспортируется из отверстия по канавкам сверла быстро. На некоторой глубине сверления подъемные силы винтовых канавок уравниваются с силами сопротивления (трения) подъему стружки. Выход стружки на поверхность заготовки прекращается. Заглубление сверла еще продолжается, но стружка не выходит на поверхность, она уплотняется в канавках в брикеты (рис. 22). Силы трения сверла с брикетами в отверстии резко возрастают, крутящий момент на сверле круто увеличивается, что может привести к поломке сверла и отказу станка.

Глубину сверления, при которой прекращается выход стружки на поверхность заготовки, назовем *критической*. Момент достижения критической глубины можно определить визуально. Критическая глубина сверления  $t_K$  зависит от породы древесины, ее влажности, диаметра сверла, частоты вращения и скорости подачи. Значения режимных параметров для достижения критической глубины  $t_K$  приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Режимы сверления древесины при  $V_s \approx 0,5$  м/мин

Порода древесины, влажность $W$ , %	Плотность кг/м <sup>3</sup>	Диаметр сверла $D$ , мм			
		$D = 4,5$ мм		$D = 6$ мм	
		Глубина $t_K$ , мм	$t_K = kD$	Глубина $t_K$ , мм	$t_K = kD$
$n = 385$ мин <sup>-1</sup>					
Сосна $W = 8\%$	516	24,7	$t_K = 5,5D$	36,5	$t_K = 6,1D$
Сосна $W = 30\%$	577	14,2	$t_K = 3,2D$	14,8	$t_K = 2,5D$
Береза $W = 8\%$	679	16,1	$t_K = 3,6D$	30,9	$t_K = 5,2D$
Береза $W = 30\%$	917	10,9	$t_K = 2,4D$	18,3	$t_K = 3,1D$

$n=2714 \text{ мин}^{-1}$					
Сосна $W = 8\%$	516	27	$t_k = 6,0D$	51,6	$t_k = 8,6D$
Сосна $W = 30\%$	577	18,8	$t_k = 4,2D$	38,9	$t_k = 6,4D$
Береза $W = 8\%$	679	30,5	$t_k = 6,8D$	52,4	$t_k = 8,7D$
Береза $W = 30\%$	917	18,7	$t_k = 4,2D$	43,1	$t_k = 7,2D$

При проведении эксперимента делалась выборка глубин сверления. Объем выборки равен 10. Находилось среднее значение выборки ( $t_k$  приведено в таблице), среднее квадратическое отклонение, которое изменялось в диапазоне 1,51...2,55.

Критическая глубина сверления  $t_k$  связана с диаметром спирального сверла  $D$  выражением  $t_k = kD$ , где  $k$  – коэффициент пропорциональности. С увеличением влажности древесины и уменьшением диаметра сверла значение  $k$  убывает.

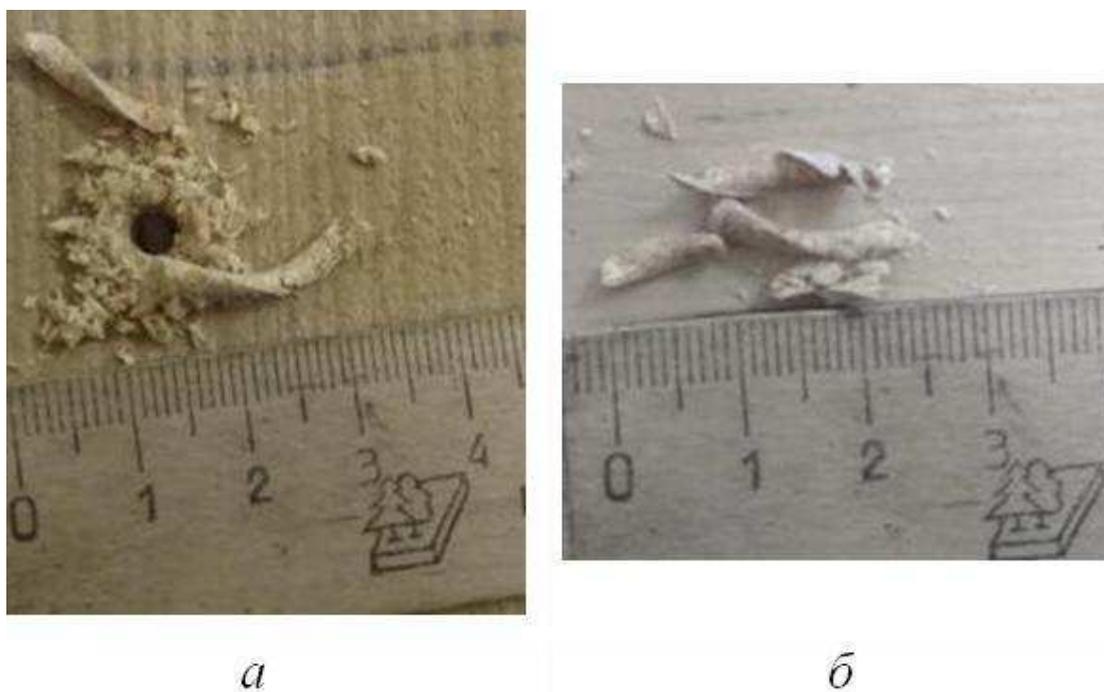


Рис. 22. Брикеты стружки, получаемые при сверлении сухой древесины:

$a$  – сосны;  $b$  – березы

Из таблицы следует.

1. При сверлении древесины сосны критическая глубина получается больше, нежели для березы при частоте вращения сверла  $385 \text{ мин}^{-1}$ .
2. При увеличении влажности древесины критическая глубина сверления убывает.
3. С увеличением частоты вращения сверла критическая глубина сверления увеличивается.
4. Для обработки глубоких отверстий более критической величины сверло следует поднять из отверстия, очистить канавки сверла от стружки и продолжить сверление.

#### **5.4. Интенсификация отвода стружки**

Сверление глубоки отверстий за один проход невозможно из-за трудностей удаления стружки по спирали сверла.

В начале сверления из отверстия обильно извлекается стружка, но на некоторой глубине удаление стружки из отверстия прекращается. Например, при сверлении сухой сосны удаление стружки прекращается при диаметре сверла  $D = 6 \text{ мм}$  на глубине  $6,1D$ , при диаметре сверла  $D = 4,5 \text{ мм}$  на глубине  $5,5D$ , для сухой березы и диаметре сверла  $D = 4,5 \text{ мм}$  на глубине  $3,6D$ . После извлечения сверла из отверстия обнаружено, винтовые канавки сверла полностью забиты брикетами стружки. Вытолкнуть брикеты в процессе сверления по канавкам трудно, можно только дополнительно уплотнить их. Чтобы режущие кромки могли врезаться в массив древесины надо брикеты отжать от дна отверстия. Осевая сила резания резко возрастает по величине. Силы трения брикета по стенке отверстия увеличиваются и способствуют дальнейшему уплотнению брикета. Дальнейшее сверление может привести к заклиниванию сверла в отверстии. Возрастает риск поломки сверла. Геометрия отверстия искажается.

Сверление отверстия следует прекратить до момента образования сплошного брикета.

Удаление стружки осуществляется либо многократным отводом инструмента из отверстия, что приводит к понижению производительности станка, либо принудительно, например, отсасыванием воздухом из зоны резания. Стружка в этом случае должна быть мелкой, полученной с подачей на зуб  $S_z \leq 0,08$  мм. Однако принудительное удаление стружки из зоны резания приводит к усложнению конструкции сверлильного станка.

В металлообработке, например, при обычном сверлении установлена глубина сверления  $3,5...5D$ . Однако, применяя принудительное удаление стружки из отверстия, достигнута возможность обработки отверстий глубиной до 15 диаметров сверла.

Принудительный способ удаления металлической стружки заключается в дроблении сливной стружки на мелкие элементы путем создания осевых колебаний сверла, а также вымыванием мелких стружек напором смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), нагнетаемой под напором в зону резания.

### Заключение

Основной трудностью сверления отверстий в древесине, особенно при сверлении отверстий небольшого диаметра, является отвод стружки из зоны резания. В современных режимах сверления установлена рекомендуемая глубина сверления, равная  $1D$  для ложечных сверл,  $10 D$  для спиральных сверл. Для сверления глубоких отверстий сверло следует часто поднимать из отверстия и очищать от стружки.

На практике глубокие отверстия получают при работе винтовыми, шнековыми сверлами. Специальных исследовательских работ по определению глубины сверления в древесине и древесных материалах не обнаружено.

В работе рассмотрены вопросы кинематики и динамики процесса сверления. Разобраны типы дереворежущих сверл, угловые параметры их лезвий. На

основании общего представления о сверлении в работе сделана попытка вывода математической модели сверления. Показано влияние на глубину сверления подачи на зуб. С уменьшением подачи на зуб глубину сверления можно несколько увеличить. Например, при сверлении фанеры с подачей на зуб  $S_z=0,083$  мм глубина сверления  $t = 6,7D$ , при  $S_z=0,25$  мм глубина сверления  $t = 3,3D$ .

Для повышения производительности процесса сверления необходимо разрабатывать режимы сверления с принудительным удалением стружки.