

Л 482

САМАРСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика С. П. КОРОЛЕВА

*В. И. Лепилин*

**РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ  
АВИАЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ  
ПРИ СВЕРЛЕНИИ,  
ЗЕНКЕРОВАНИИ  
И РАЗВЕРТЫВАНИИ**

**САМАРА**

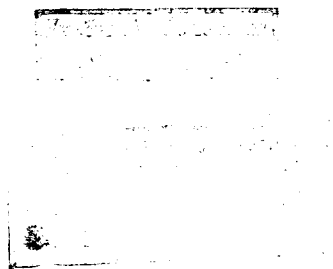
**1993**

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

*В. И. ЛЕПИЛИН* 99

РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ  
АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПРИ СВЕРЛЕНИИ, ЗЕНКЕРОВАНИИ  
И РАЗВЕРТЫВАНИИ



САМАРА 1993

УДК 621.901

**Режимы резания авиационных материалов при сверлении, зенкерования и развертывании:** Учеб. пособие /В. И. Лепилин; Самар. аэрокосм. ун-т. Самара, 1993. 80 с.  
ISBN 5-230-16932-X.

Излагаются общая методика расчета наиболее выгодного режима резания и пример ее использования для оптимизации процессов сверления, зенкерования и развертывания отверстий. Приводятся материалы по выбору оптимальной конструкции и геометрии инструмента, нормативные характеристики обрабатываемости конструкционных материалов и другие сведения, необходимые для расчета режимов резания. Дан конкретный пример расчета режимов резания при сверлении.

Предназначено для студентов, изучающих курс «Резание, станки и инструменты» и выполняющих домашнее задание или курсовую работу, и может быть полезно при выполнении дипломных проектов по технологии механической обработки. Выполнено на кафедре «Резание, станки и режущие инструменты». Табл. 3. Ил. 7. Библиогр.: 13 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева

Рецензент А. В. Тарасов

ISBN 5-230-16932-X

© Самарский аэрокосмический университет, 1993

## Предисловие

Раздел «Физические основы процесса резания» в различных курсах технологии механической обработки заканчивается изложением методик выбора оптимальной геометрии инструмента и расчета наиболее выгодного режима резания, которые затрагивают большой круг вопросов, связанных с физической процессом резания, и в этом смысле являются обобщением наиболее важного раздела курса.

Изложенная здесь методика является не только средством осуществления так называемого «аналитического» расчета режима резания, но и представляет собой теоретическую основу и методологию разработки нормативных сборников по режимам резания, которые периодически издаются центральным бюро промышленных нормативов по труду.

В целях закрепления и углубления знаний по основам резания металлов, приобретения навыков в выборе оптимальной геометрии инструмента и расчете режимов резания программы курсов предусматривают выполнение студентами домашнего задания или курсовой работы. Главной целью учебного пособия и является оказание помощи студентам (особенно вечерней формы обучения) при выполнении этих работ.

Различные расчеты прикладного характера, в том числе и оптимальных режимов резания, в большинстве случаев выполня-

ются с использованием эмпирических зависимостей сил резания и стойкости инструмента от различных факторов. Нахождение этих величин посвящено большое количество исследовательских работ, результаты которых опубликованы в различных статьях, сборниках трудов, монографиях и справочниках. Если для углеродистых и легированных сталей, чугуна, медных сплавов и некоторых других групп конструкционных материалов эти исследования обобщены достаточно полно в нормативах [5—7], то для труднообрабатываемых материалов (коррозионно-стойких, жаростойких и титановых сплавов) в этом направлении сделаны лишь первые шаги [5—10]. Работа автора данного пособия над этим вопросом позволила сделать более полные обобщения, в том числе и результатов исследований, опубликованных в последние годы. В целом приложения 4—8 представляют собой наиболее полную и компактную сводку «нормативных» характеристик обрабатываемости конструкционных материалов и могут быть полезны не только студентам при выполнении курсовых и дипломных заданий, но и технологам машиностроительных предприятий в их практической деятельности.

# 1. МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАИВЫГОДНЕЙШЕГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

## 1.1. НАИВЫГОДНЕЙШИЙ РЕЖИМ РЕЗАНИЯ

Основной целью оптимизации операции любого производственного процесса, в том числе и обработки резанием, обеспечивающей изделию необходимые качества (конфигурацию, размеры, шероховатость и т. д.), является достижение максимальной производительности при минимальной себестоимости выполнения операции. Производительность обработки тем выше, чем меньше так называемое основное технологическое время или, что то же самое, для обработки резанием, — машинное время. Машинное время обработки определяется как

$$T_{\text{маш}} = (L/v_s) i,$$

где  $L$  — путь (мм), который должен пройти инструмент в процессе обработки, складывающийся из участка врезания  $l_1$ , (см. стр. 25), зависящего от типа инструмента, его геометрии и глубины резания  $t$ , из длины обрабатываемой поверхности  $l$  и некоторого перебега инструмента  $l_2$ , необходимого для того, чтобы убедиться, что инструмент закончил процесс резания, т. е.  $L = l_1 + l + l_2$ ;

$v_s = s_m$  — скорость движения инструмента в направлении подачи или, что то же самое, минутная подача  $s_m$  (мм/мин),  $s_m = s n$ , зависящая от подачи  $s$  (мм/об) и частоты вращения  $n$  (об/мин) шпинделя станка;

$i = (\Delta/t)$  — число проходов инструмента, необходимое для удаления всего припуска  $\Delta$  на обработку, если глубина резания при каждом проходе равна  $t$  (мм).

С учетом сказанного машинное время обработки может быть выражено как

$$T_{\text{маш}} = \frac{l_1 + l + l_2}{s \cdot n} i. \quad (1.1)$$

Имея в виду, что частота вращения шпинделя станка может быть выражена через скорость резания  $v$  (м/мин) и диаметр поверхности резания  $D$

$$n = 1000 v / \pi D,$$

формулу (1.1) можно записать и в форме

$$T_{\text{маш}} = \frac{(l_1 + l + l_2) \pi D \Delta}{1000 v s t},$$

где знаменатель представляет собой производительность процесса резания (объем металла в  $\text{мм}^3$ , удаленного с заготовки в течение одной минуты):

$$P_p = 1000 v s t. \quad (1.2)$$

Очевидно, чем больше  $v$ ,  $s$ ,  $t$ , тем выше производительность процесса резания, меньше машинное время и, следовательно, выше производительность операции, а поэтому для достижения наивысшей производительности необходимо, чтобы

$$v s t = \max.$$

В качестве критерия минимальной себестоимости операции можно использовать период стойкости режущего инструмента. Выражение для периода стойкости, обеспечивающего наименьшую себестоимость операции, можно получить, если переменную долю себестоимости операции выразить в функции от скорости резания, найти первую производную и приравнять ее к нулю (т. е. найти минимум функции) [8]:

$$T_s = ((1/m - 1) (T_{\text{см}} - e/E)),$$

где  $T_s$  — экономический период стойкости режущего инструмента, мин;

$m$  — показатель относительной стойкости ( $m = (1/z)$ );

$T_{\text{см}}$  — время на смену износившегося инструмента и его подналадку за период его стойкости, мин;

$e$  — стоимость эксплуатации инструмента за период его стойкости, коп;

$E$  — стоимость станко-минуты, коп.

Для того, чтобы определить  $T_{\text{см}}$ ,  $e$  и  $E$ , а вместе с тем и  $T_s$ , необходимо иметь большое количество экономических показателей конкретного производства. Такие данные, как правило, отсутствуют или они недостаточно полны, что и вызывает серьезные затруднения в расчете  $T_s$ .

Учитывая сказанное, часто пользуются «нормативным» периодом стойкости, который отличается от  $T_s$  только тем, что он отражает условия не конкретного производства, а некоторые

средние для целой отрасли промышленности. Нормативный период стойкости в зависимости от ряда факторов приводится в нормативах [5—7].

Из изложенного следует, что себестоимость операции будет минимальной, если реальная стойкость  $T$  инструмента станет равной экономическому периоду стойкости  $T_3$ .

Так как известно, что

$$T = C_T/v^z s^y t^x, \quad (1.4)$$

то, следовательно, элементы режима резания должны удовлетворять условию

$$v^z s^y t^x = (C_T/T_3) = \text{const.}$$

Таким образом, для достижения наибольшей производительности при минимальной себестоимости операции необходимо, чтобы режим резания ( $v$ ,  $s$  и  $t$ ) удовлетворял одновременно двум условиям:

$$\begin{aligned} v s t &= \text{max}, \\ v^z s^y t^x &= (C_T/T_3) = \text{const.} \end{aligned} \quad (1.5)$$

Сочетание глубины резания  $t$ , подачи  $s$  и скорости резания  $v$ , которое при выполнении всех технических требований на изготовление детали (или ее поверхности) обеспечивает наибольшую производительность при наименьшей себестоимости операции (перехода), называется наивыгоднейшим режимом резания.

Из условий (1.5) видно, что если на производительность процесса (первое условие) все элементы режима резания оказывают одинаковое влияние, то на стойкость инструмента (второе условие) те же элементы влияют в различной степени. При обработке с «прямыми» срезами (т. е. когда  $t \geq s$ ), наиболее часто встречающейся в практике,  $z > y > x$ .

Анализом условий (1.5) при указанном соотношении  $z$ ,  $y$  и  $x$  показывает, что все элементы режима резания должны быть выбраны максимально возможными, но при этом необходимо отдавать предпочтение увеличению глубины резания  $t$  за счет соответствующего снижения скорости резания  $v$  и, если есть в этом необходимость, подачи  $s$ . Из двух других элементов режима резания ( $s$  и  $v$ ) предпочтительнее увеличивать подачу  $s$  за счет соответствующего уменьшения скорости резания  $v$ . Это и определяет порядок выбора элементов режима резания.



## 1.2. ПОРЯДОК И МЕТОДИКА ВЫБОРА ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

Сначала выбирается глубина резания. При выполнении каждой операции или ее перехода глубина резания должна быть равна припуску на обработку, т. е.  $t = \Delta$ .

Величина операционного припуска зависит от целого ряда факторов, расчет ее производится при разработке технологического процесса на стадии проектирования заготовки и является задачей курса технологии машиностроения. На этапе расчета режимов резания операционный припуск обычно уже известен. В тех же случаях, когда операционный припуск не рассчитывался, он может быть выбран по таблицам одного из справочников по технологии механической обработки.

При выполнении домашнего задания глубина резания выбирается в соответствии с рекомендациями, изложенными в методике расчета режима резания для конкретного метода обработки (например, для зенкерования и развертывания, смотри рекомендации на стр. 16).

После выбора глубины резания выбирается максимально возможная подача. Подача может ограничиваться прочностью механизма подачи станка, прочностью инструмента, жесткостью системы СПИД в связи с заданной точностью обработки, шероховатостью обработанной поверхности, допустимой величиной наклепа и остаточных напряжений в поверхностном слое обработанной детали и т. д.

Следовательно, чтобы установить величину подачи, обеспечивающую наибольшую производительность, но в то же время и заданное качество детали, необходимо рассчитать предельные величины подач, допускаемых каждым из ограничивающих факторов, и выбрать из них наименьшую.

Наименьшая из расчетных подач должна быть согласована с величинами, имеющимися на станке. При этом из паспортных величин подач должна быть выбрана равная расчетной или ближайшая меньшая к ней ( $s_0$ ).

Подача, обеспечивающая наибольшую производительность при выполнении всех технологических требований, называется наибольшей технологически допустимой.

После того как выбраны глубина резания  $t$  и подача  $s$ , рассчитывается скорость резания из условия полного использования режущих свойств инструмента при экономическом (нормативном) периоде стойкости  $T$  по формуле типа

$$v = C_v / T^m t^{x_v} s_0^{y_v}, \quad (1.6)$$

где  $C_v$  — коэффициент, характеризующий реальные условия обработки;

$x_v, y_v$  — показатели степени, характеризующие влияние глубины резания и подачи на скорость резания.

Зная скорость резания и диаметр обрабатываемой поверхности (наибольший диаметр поверхности резания), определим частоту вращения шпинделя станка

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi D} \quad (1.7)$$

или, подставив (1.6) в (1.7), получим

$$n = \frac{1000 C_v}{T^m t^{x_v} s_0^{y_v}} \quad (1.8)$$

Определив расчетную частоту вращения заготовки по формуле (1.8), необходимо согласовать ее с возможностями станка, т. е. выбрать из имеющихся на заданном станке такую ближайшую к расчетной скоростную ступень шпинделя, которая будет обеспечивать наиболее полное использование режущих свойств инструмента и, следовательно, наибольшую производительность.

На станке с бесступенчатым регулированием частота вращения шпинделя  $n_{\text{шп}}$  принимается равной  $n$ . Наивыгоднейший режим будет:  $t, s_0$  и  $n$ . При этом режущие свойства инструмента будут использованы полностью.

Большинство же станков имеет ступенчатый ряд частот вращения шпинделя. Поэтому найденная расчетным путем частота вращения будет находиться между какими-то соседними ступенями частот вращения шпинделя —  $n_x$  и  $n_{x+1}$ .

С целью достижения наибольшей производительности желательно принять  $n_{x+1}$ , так как в этом случае будет наибольшая минутная подача  $s_m = s_0 \cdot n_{x+1}$  и, следовательно, наибольшая производительность. Однако применять  $n_{x+1}$ , не изменяя  $s_0$ , нельзя, так как согласно уравнению (1.8) это приведет к уменьшению стойкости  $T$  инструмента по сравнению с оптимальной величиной, а следовательно, и к увеличению стоимости выполнения операции.

Для того, чтобы стойкость сохранилась неизменной при  $n_{x+1}$ , необходимо уменьшить подачу, величина которой может быть найдена из выражения (1.8) при  $n_{x+1}$ :

$$s' \leq \sqrt[3]{\frac{y_v}{T^m t^{x_v} \pi D n_{x+1}}} \cdot \frac{1000 C_v}{\pi D n_{x+1}} \quad (1.9)$$

или по сокращенной формуле

$$s' \leq s_0 \sqrt[3]{\frac{n}{n_{x+1}}} \quad (1.9a)$$

Полученную подачу  $s'$  необходимо согласовать с паспортными

подачами, т. е. выбрать из имеющихся на станке ближайшую меньшую к  $s' - s'_0$ .

Таким образом, на реальном (заданном) станке можно работать на одном из двух режимов  $n_x - s_0$  или  $n_{x+1} - s'_0$ , которые обеспечивают стойкость инструмента, равную оптимальной или несколько больше ее. Выгоднее же работать на том режиме, который обеспечивает большую производительность или, что то же самое, — большую минутную подачу. Поэтому сравним  $s_{m_x} = n_x s_0$  и  $s_{m_{x+1}} = n_{x+1} s'_0$ .

Ступень, для которой минутная подача окажется большей, будет наиболее выгодной. Таким образом, выбраны оптимальные параметры режима резания:  $t, s_0, n_x$  или  $t, s'_0, n_{x+1}$ .

Рассчитанная по формуле (1.8) частота вращения может оказаться больше, чем наибольшая частота вращения шпинделя станка ( $n > n_{\text{шп макс}}$ ). В этом случае за оптимальную скоростную ступень следует принимать  $n_{\text{шп макс}}$ . Следовательно, наиболее выгодным будет режим резания  $t, s_0$  и  $n_{\text{шп макс}}$ . Совершенно очевидно, что при этом режущие свойства инструмента будут недоиспользованы. Для упрощения в последующем изложении там, где это возможно, индексы опущены и оптимальными приняты  $t, s$  и  $n$ .

### 1.3. ПРОВЕРКА ВЫБРАННОГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПО КРУТЯЩЕМУ МОМЕНТУ ИЛИ МОЩНОСТИ НА ШПИНДЕЛЕ СТАНКА

Шпиндель станка получает вращательное движение от электродвигателя через коробку скоростей, с помощью которой изменяется частота его вращения. Часть мощности при этом затрачивается на преодоление сил трения в кинематических парах и на опорах. В коробке скоростей, кроме того, имеются слабые звенья, которые не могут обеспечить передачу всей подводимой мощности. Поэтому различной частоте вращения соответствуют различная мощность и крутящий момент на шпинделе. Крутящий момент и мощность на шпинделе станка определяются с использованием паспорта станка. Для некоторых станков (например, токарных) величины  $M_{\text{шп}}$  приводятся для каждой частоты вращения шпинделя, для других (например, сверлильных) — указывается только мощность двигателя и КПД привода главного движения и, следовательно, необходимо определить мощность на шпинделе как

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{дв}} \eta. \quad (1.10)$$

По указанной причине в первом случае (для токарных станков) проверку выполнимости назначенного режима резания целесообразно

разно производить по условию (1.11), во втором случае (для сверлильных станков) — по условию (1.12).

Очевидно, что выбранный режим резания можно осуществить на станке только при условии, если

$$M_{ср} \leq M_{шп} \quad (1.11)$$

или

$$N_{рез} \leq N_{шп}. \quad (1.12)$$

Момент сопротивления резанию, Н · м, и эффективная мощность резания, Вт, определяются:

для точения

$$M_{ср} = \frac{P_z D}{2 \cdot 1000}, \quad (1.13)$$

$$N_{рез} = \frac{P_z \cdot v}{60}. \quad (1.14)$$

где  $P_z = C_{p_z} t^{x_{P_z}} s^{y_{P_z}}$ ; — касательная составляющая силы резания, Н;

для сверления, зенкерования и развертывания

$$M_{ср} = C_M D^z t^{x_M} s^{y_M}, \quad (1.15)$$

$$N_{рез} = (2\pi/60) M_{ср} n. \quad (1.16)$$

Если условие (1.11) или (1.12) выполняется, то расчет заканчивается.

Однако в ряде случаев условия (1.11) или (1.12) при выбранном  $n$ ,  $t$  и  $s$  не выполняются и, следовательно, для реализации оптимальных режимов резания мощность (или момент) на шпинделе станка недостаточна, т. е. станок «слабее» инструмента. В этих случаях скоростная ступень определяется из условия максимального использования возможностей станка.

Для металлорежущих станков, в паспорте которых указаны моменты на шпинделе для всего ряда частот оборотов (например, для токарных), оптимальные режимы резания устанавливаются следующим образом.

По формуле (1.13) определяется  $M_{ср}$  для  $t$ ,  $s_0$  и  $n_x$  (см. с. 8). Найденная величина  $M_{ср}$  будет находиться между значениями  $M_{шп_{y+1}}$  и  $M_{шп_y}$ , которым соответствуют скоростные ступени  $n_{y+1}$  и  $n_y$ , т. е.

$$M_{шп_{y+1}} < M_{ср} < M_{шп_y}.$$

Работа на ступени  $n_{y+1}$  возможна только при  $s'' < s_0$ . Величину  $s''$  можно определить из уравнения (1.13), приняв  $M_{ср} = M_{шп_{y+1}}$  и решив его относительно  $s''$ :

$$s'' \leq \sqrt[3]{\frac{P_z}{D C_{p_z} t^{x_{P_z}}} \frac{2 \cdot 1000 M_{шп_{y+1}}}{}}. \quad (1.17)$$

Найденную величину  $s''$  нужно сравнить с паспортными значениями и выбрать из них ближайшую меньшую —  $s''_0$ . Для работы на скоростной ступени  $n_y$  должна быть использована величина  $s_0$ . Следовательно, имеем два режима, которые сравниваем по минутным подачам:

$$\begin{aligned} s_{m_y} &= n_y s_0, \\ s_{m_{y+1}} &= n_{y+1} s_0''. \end{aligned}$$

Наивыгоднейшим режимом будет тот, которому соответствует большая минутная подача. При этом режиме резания ( $t, s_0, n_y$  или  $t, s_0'', n_{y+1}$ ) будут полностью использованы возможности станка, но недоиспользованы режущие свойства инструмента.

Для станков, в паспорте которых отсутствуют указания на величины  $M_{шп}$  или  $N_{шп}$ , для каждой из частот вращения шпинделя (например, сверлильные станки) оптимальные режимы резания устанавливаются следующим образом. Определяется скоростная ступень по формуле (1.16) при подстановке в нее  $N_{рез} = N_{шп}$

$$n' = \frac{60N_{шп}}{2\pi M_{ср}} \quad (1.18)$$

и округляется до ближайшего меньшего, имеющегося на станке. Для этой скоростной ступени минутная подача будет

$$s_{m'} = n_0' s. \quad (1.19)$$

С другой стороны, по той же формуле (1.16) для оптимальной  $n$ , приняв  $N_{рез} = N_{шп}$  и  $M_{ср} = C_M D^z M_t^{x_M} s^{y_M}$ , определяется подача

$$s'' = \sqrt[y_M]{\frac{60 N_{шп}}{2\pi n C_M D^z M_t^{x_M}}}. \quad (1.20)$$

Полученная подача согласовывается с паспортными, т. е. округляется до ближайшей меньшей, имеющейся на станке —  $s_0''$ .

Для скоростной ступени  $n$  определяется минутная подача

$$s_{m''} = n s_0''. \quad (1.21)$$

Составляя величины минутных подач (1.19) и (1.21), окончательно решаем вопрос о наивыгоднейшем режиме резания. Наивыгоднейшим будет тот режим, который даст наибольшую величину минутной подачи, или, что то же самое — наибольшую производительность.

#### 1.4. ОСНОВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ (МАШИННОЕ) ВРЕМЯ ОБРАБОТКИ

Время, в течение которого необходимо производить рабочие движения на станке — главное движение резания и движение подачи для осуществления обработки поверхности с размером  $l$  в направлении движения подачи — называется основным технологическим временем и определяется по формуле (1.1).

#### 1.5. КОЭФФИЦИЕНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТА И ЗАГРУЗКИ СТАНКА ПО МОЩНОСТИ

Из изложенного выше следует, что использовать полностью режущие свойства инструмента можно только на станках с бесступенчатым регулированием главного движения и движения подач при достаточной мощности привода главного движения. В большинстве же случаев на металлорежущих станках регулирование рабочих движений ступенчатое, в связи с чем и происходит недоиспользование режущих свойств инструмента.

Коэффициент использования режущих свойств инструмента может быть определен как

$$K_n = s n / s_0 n_p, \quad (1.22)$$

где  $n$  и  $s$  — частота вращения шпинделя и величина подачи, принятые в качестве наиболее выгоднейших;

$s_0$  — величина наибольшей технологически допустимой подачи (та, которая использовалась в формуле (1.8));

$n_p$  — частота (расчетная) вращения шпинделя, соответствующая оптимальной стойкости  $T$  и подаче  $s_0$  (величина, полученная по формуле (1.8)).

Станок, на котором осуществляется обработка детали с наиболее выгоднейшим режимом резания, должен иметь мощность на шпинделе, которая равна или больше эффективной мощности резания (см. (1.12)), а поэтому, как правило, реальный станок всегда будет недогружен.

Коэффициент загрузки станка по мощности

$$K_c = (N_{рез} / N_{шп}) = (M_{ср} / M_{шп}), \quad (1.23)$$

где  $N_{рез}$  — эффективная мощность резания по формуле (1.14) или (1.16) при принятых в качестве наиболее выгоднейших элементах режима резания ( $t$ ,  $s$  и  $n$ );

$M_{ср}$  — момент сопротивления резанию по формуле (1.13) или (1.15) при принятых в качестве наиболее выгоднейших элементах режима резания ( $t$  и  $s$ );

$N_{шп}$  и  $M_{шп}$  — мощность и крутящий момент на шпинделе станка на принятой в качестве наиболее выгоднейшей скоростной ступени ( $n$ ).

## **2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ, ЗЕНКЕРОВАНИЯ И РАЗВЕРТЫВАНИЯ**

Основные положения методики расчета наивыгоднейшего режима резания, изложенной выше, относятся ко всем видам лезвийной обработки. Однако в связи с особенностями конструкции режущего инструмента и применяемых станков имеются и особенности в расчете режимов резания. Ниже рассматривается методика расчета режимов резания применительно к процессам сверления, зенкерования и развертывания отверстий.

### **2.1. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИИ ИНСТРУМЕНТА**

Характеристики инструмента в значительной степени определяют уровень режимов резания и поэтому расчет их начинается с выбора типа, материала, размеров, конструкции и геометрии инструмента.

При выборе конструкции и основных параметров инструмента рекомендуется использовать указания и рекомендации, приведенные в приложении 2. В таблицах приложений перечислены типы сверл, зенкеров и разверток, которые выпускаются инструментальной промышленностью, указаны стандарты, определяющие требования, предъявляемые к данным типам инструментов при их изготовлении, и приводятся предельные величины основных размеров. Таблицы приложения 2 «Сверла спиральные быстрорежущие» и «Сверла спиральные твердосплавные» предназначены для выбора типа инструмента по заданным условиям и параметрам обрабатываемого отверстия. В тех же случаях, когда требуется узнать, имеется ли стандартный инструмент данного типа, конкретного диаметра и длины, необходимо обращаться к справочной литературе [11—13].

Иногда название типа инструмента в табл. приложения 2 прямо указывает на область его оптимального использования, например, «. . . для труднообрабатываемых материалов . . .», «. . . для легких сплавов . . .», в других случаях обращает на себя внимание характерное название типа, например, «. . . сверла шнековые . . .», предназначенные для сверления глубоких отверстий в хрупких материалах.

Инструмент для обработки отверстий в силу своей специфичности обладает сравнительно низкой жесткостью, и поэтому при выборе типа и всех других параметров нужно ориентироваться на такие, которые повышают жесткость и снижают силы резания. Из стандартных предпочтительно выбирать инструменты цельной конструкции с возможно более короткой и усиленной

рабочей и хвостовой частью, с коническим хвостовиком возможно большего номера.

Для обработки отверстий применяют инструменты, рабочая часть которых изготавливается из быстрорежущей стали или оснащается твердым сплавом. Марку быстрорежущей стали или твердого сплава можно выбрать по таблицам приложения 2. При этом следует иметь в виду, что твердые сплавы обеспечивают большую производительность и поэтому в первую очередь целесообразно ориентироваться на их применение, особенно при обработке жаростойких, жаропрочных и других труднообрабатываемых материалов. Однако твердые сплавы обладают и высокой хрупкостью, поэтому их эффективное использование возможно только в условиях достаточно высокой жесткости системы СПИД.

Быстрорежущие стали менее производительны, чем твердые сплавы, но в условиях низкой жесткости системы СПИД могут оказаться более эффективными, особенно при обработке отверстий малого диаметра.

Жесткость системы СПИД определяется, как известно, жесткостью каждого из ее элементов, именно поэтому жесткость детали оказывает очень сильное влияние на стойкость инструмента. Поэтому в тех случаях, когда деталь имеет низкую жесткость, неустойчивую опорную поверхность или коробчатую, с тонкими стенками форму, необходимо предусматривать применение различных приспособлений для повышения ее технологической жесткости.

Геометрические параметры инструмента в значительной мере влияют на успех выполнения операции (перехода), а поэтому они должны быть выбраны оптимальными. Рекомендации по выбору формы заточки и размера ряда параметров геометрии инструментов для обработки отверстий приведены в приложении 2.

После того как выбрана конструкция инструмента, его основные размеры и геометрия, выполняется рабочий чертеж.

## 2.2. ВЫБОР ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ

В соответствии с основными законами наимыгоднейшего резания обработку, в том числе и отверстий, целесообразно проводить в один проход (переход) и глубину резания, мм, назначать равной

$$t = (D - D_1)/2, \quad (2.1)$$

где  $D$  — диаметр отверстия после обработки на данном переходе или, что то же самое, диаметр инструмента, мм;

$D_1$  — диаметр отверстия до обработки на данном переходе операции технологического процесса, мм.



Так как при сверлении отверстий в сплошном материале  $D_1 = 0$ , то при этом  $t = D/2$ . Однако при сверлении отверстий в сплошном материале возникают большие осевые силы, в связи с чем отверстия диаметром более 30—35 мм необходимо сверлить на станках с большой жесткостью и мощностью. На станках нормальной жесткости такие отверстия рекомендуется обрабатывать в два перехода: сначала сверлить сверлом  $D_1 \approx (0,3 - 0,5) D$ , затем — рассверливать отверстие на требуемый размер  $D$ . В первом случае глубина резания  $t_1 = D_1/2$ , во втором — определяется по формуле (2.1).

Глубина резания при зенкеровании и развертывании определяется величиной припуска, которая рассчитывается по соответствующей методике при разработке технологического процесса.

При выполнении домашнего задания, прежде чем назначать глубину резания для зенкерования и развертывания, необходимо выбрать маршрут обработки отверстия в зависимости от требований, предъявляемых к готовому отверстию по точности размера и шероховатости поверхности с учетом конструктивных особенностей и диаметра отверстия. Этот выбор можно сделать по приложению 3.

После выбора маршрута обработки отверстия определяется для каждого перехода глубина резания по таблице того же приложения 3.

В соответствии с выбранными глубинами резания рассчитываются необходимые диаметры инструментов для каждого (или заданного) перехода, начиная с последнего:

$$D_i = D_{i+1} - 2 t_{i+1}, \quad (2.2)$$

где  $D_i$  — диаметр инструмента для выполнения  $i$ -го перехода обработки отверстия, мм;

$D_{i+1}$  — диаметр инструмента, который будет использоваться при выполнении последующего ( $i + 1$ ) перехода, мм;

$t_{i+1}$  — глубина резания, которая выбрана для обработки на последующем ( $i + 1$ ) переходе, мм.

После округления рассчитанных диаметров инструмент выбирается по действующим стандартам (см. приложение 2) и окончательно устанавливается глубина резания (с учетом коррекции диаметра инструмента по ГОСТу).

### 2.3. ВЫБОР ПОДАЧИ

Для того, чтобы получить наибольшую производительность, необходимо выбрать и наибольшую подачу. Величина подачи может ограничиваться целым рядом факторов, важнейшими из

которых являются: прочность механизма подачи станка, прочность инструмента, жесткость системы СПИД (станок—приспособление—инструмент—деталь), заданная точность и шероховатость обработанной поверхности.

### Подача, допускаемая прочностью механизма подачи станка

Механизм подачи каждого сверлильного станка имеет определенную прочность. Усилие, допускаемое прочностью механизма подачи  $P_{мп}$ , указывается в паспорте станка (см. приложение 1). Совершенно очевидно, что усилие подачи, возникающее при обработке ( $P_0$ ), должно быть меньше допустимого или, в крайнем случае, равно ему, т. е.

$$P_0 \leq P_{мп}. \quad (2.3)$$

Усилие подачи, возникающее при сверлении, рассверливании, зенкеровании и развертывании, можно выразить как

$$P_0 = C_p' D^{z_p} s^{y_p} t^{x_p} K_p, \quad (2.4)$$

где  $D$  — диаметр инструмента, мм;

$s$  — подача, мм/об;

$t$  — глубина резания, мм;

$K_p$  — коэффициент, учитывающий изменение реальных условий обработки по сравнению со «стандартными», для которых найдены  $C_p'$ ,  $z_p$ ,  $y_p$  и  $x_p$ ,  $K_p = K_{m_p} K_{ф_p} K_{h_p}$ ;

$K_{m_p}$  — коэффициент, учитывающий механические свойства обрабатываемого материала;

$K_{ф_p}$  — коэффициент, учитывающий форму заточки инструмента;

$K_{h_p}$  — коэффициент, учитывающий степень износа инструмента;

$C_p'$  — коэффициент для условий, принятых при разработке нормативных материалов;

$z_p, y_p, x_p$  — показатели степени, характеризующие интенсивность влияния соответственно  $D, s$  и  $t$  на величину  $P_0$ .

Величины  $C_p', z_p, y_p, x_p, K_{m_p}, K_{ф_p}$  и  $K_{h_p}$  приведены в приложениях 4—8.

Решив совместно (2.3) и (2.4) относительно  $s$ , получим

$$s_1 \leq \sqrt{\frac{P_{мп}}{C_p D^{z_p} t^{x_p} K_p}}. \quad (2.5)$$

### Задача по прочности инструмента

В процессе сверления, зенкерования и развертывания возникает крутящий момент  $M$  и осевая сила  $P_0$ , поэтому инструмент (особенно сверло) подвергается сложным деформациям. Расчет этих деформаций хотя и возможен, но является достаточно трудоемким. Анализ показывает, что для расчета режимов резания, допускаемых прочностью инструмента, задачу можно существенно упростить, приняв, что инструмент нагружен только одним крутящим моментом, «эквивалентным» полной нагрузке.

Исследованиями установлено, что сверла, зенкеры и развертки стандартных конструкций ломаются при нагружении крутящим моментом:

$$M_{\text{л}} = C_{M \text{ л}} D^{z_{M \text{ л}}}, \quad (2.6)$$

где  $C_{M \text{ л}}$  — коэффициент, зависящий от конструкции и материала режущего инструмента;

$z_{M \text{ л}}$  — показатель степени, характеризующий влияние диаметра инструмента на величину «ломающего» момента.

Момент (Н·м), который возникает при сверлении, рассверливании, зенкерровании и развертывании, может быть выражен как

$$M = C_{M'} D'^{y_{M'}} s^{y_M} t^{x_M} K_M, \quad (2.7)$$

где  $C_{M'}$  — коэффициент, характеризующий условия, при которых разрабатывались нормативные материалы;

$K_M = K_{m \text{ М}} K_{\text{ф М}} K_{l \text{ М}} K_{h \text{ М}}$  — коэффициент, учитывающий реальные условия обработки;

$K_{m \text{ М}}$  — физико-механические свойства обрабатываемого материала;

$K_{\text{ф М}}$  — форму заточки инструмента;

$K_{l \text{ М}}$  — глубину обрабатываемого отверстия;

$K_{h \text{ М}}$  — величину износа инструмента.

Для того, чтобы не произошло поломки инструмента при работе, необходимо выполнить условие

$$M K_3 \leq M_{\text{л}}, \quad (2.8)$$

где  $K_3$  — коэффициент запаса прочности.

Подставив (2.6) и (2.7) в (2.8) и решив полученное относительно  $s$ , будем иметь

$$s_2 = \sqrt[3]{\frac{C_{M \text{ л}} D^{z_{M \text{ л}}}}{K_3 C_{M'} D'^{y_{M'}} t^{x_M} K_M}}. \quad (2.9)$$

По исследованиям различных авторов для сверл из инструментальных сталей  $C_{MЛ} = 0,09 - 0,1$ ,  $z_{MЛ} = 2,3 - 2,65$ , в среднем  $C_{MЛ} = 0,095$ ;  $z_{MЛ} = 2,48$ .

При коэффициенте запаса прочности  $K_3 = 2,5$  величина подачи, допускаемая прочностью сверла, определится как

$$s_2 = \sqrt[y_M]{\frac{0,095 \cdot D^{2,48-2,0}}{2,5 \cdot C_M t^{x_M} K_M}} \quad (2.9a)$$

или при сверлении углеродистых и легированных сталей (см. приложение 4) с  $\sigma_b \leq 750$  Н/мм<sup>2</sup> (МПа) формула (2.9a) будет иметь вид

$$s_2 = \sqrt[0,8]{\frac{0,095 \cdot D^{2,48-2,0}}{2,5 \cdot 0,345 \cdot 1,0 \cdot 1,0}}$$

или 
$$s_2 = 0,063 \cdot D^{0,6} \quad (2.9б)$$

Эта зависимость и положена в основу расчета рекомендуемых подач в нормативах режимов резания [4] при сверлении отверстий  $D \geq 5$  мм.

В общем виде

$$s_2 = C_s D^{z_s} K_s, \quad (2.10)$$

где  $s_2$  — подача, допускаемая прочностью инструмента, мм/об;

$C_s$  — коэффициент, учитывающий конструкцию инструмента и характер обработки;

$D$  — диаметр инструмента, мм;

$K_s$  — поправочный коэффициент, учитывающий реальные условия работы.

Как это следует из (2.9),

$$K_s = \sqrt[y_M]{\frac{1}{K_M}}$$

Анализ показывает, что  $K_M$  в основном зависит от механических свойств обрабатываемого материала, глубины отверстия, износа инструмента, т. е. от  $K_{MМ}$ ,  $K_{lМ}$  и  $K_{hМ}$ . В связи со сказанным можно принять

$$K_s = \sqrt[y_M]{\frac{1}{K_{MМ} K_{lМ} K_{hМ}}} \quad (2.11)$$

Величины  $y_M$ ,  $K_{MМ}$ ,  $K_{lМ}$  и  $K_{hМ}$  приводятся в разделах II и III приложений 4, 5, 6, 7 и 8.

Исследования показывают, что зависимость (2.10) может быть использована для расчета допустимых подач при сверлении, расверливании, зенкерования и развертывании. Особен-

ности конструкции инструмента и характера резания учитываются численными значениями  $C_s$  и  $z_s$ , которые приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Значения  $C_s$  и  $z_s$  при сверлении, рассверливании, зенкеровании и развертывании

Обрабатываемый материал	Характеристика обрабатываемого материала	Инструментальный материал	Сверление		Зенкерование, рассверливание		Развертывание	
			$C_s$	$z_s$	$C_s$	$z_s$	$C_s$	$Z_s$
Сталь углеродистая и легированная. Труднообрабатываемые стали и сплавы	$\sigma_b = 750$ МПа	Быстро-режущая сталь	0,063	0,6	0,098	0,65	0,261	0,45
		Твердый сплав	0,04	0,65	0,08	0,70	0,58	0,2
Чугун, медные и легкие сплавы	Серый чугун НВ = 190	Быстро-режущая сталь	0,125	0,6	0,140	0,65	0,68	0,45
	Ковкий чугун НВ = 150	Твердый сплав	0,065	0,65	0,115	0,70	0,58	0,2

При сверлении отверстий  $D \leq 5$  мм в формулу (2.10) необходимо вводить поправочный коэффициент  $K_d = 0,65$ , учитывающий низкую осевую прочность сверл малого диаметра.

#### Подача по жесткости системы СПИД в связи с заданной точностью и шероховатостью обработанной поверхности

Методы расчета подач по заданной жесткости системы СПИД, точности и шероховатости обработанной поверхности для сверления, рассверливания, зенкерования и развертывания до настоящего времени не разработаны. Но накоплен большой производственный опыт. Статистическая обработка имеющихся данных позволяет все разнообразие условий обработки разбить на три группы, как это показано в табл. 2.

Таблица 2

Группа подач и значения коэффициента  $K_{p,r}$  в зависимости от условий обработки отверстий

Вид обработки	Рекомендуемая группа подач		
	I	II	III
	Значение коэффициента $K_{p,r}$ для всех материалов, кроме труднообрабатываемых		
	1,0	0,75	0,5
Сверление, рассверливание	Значение коэффициента $K_{p,r}$ для труднообрабатываемых материалов (нержавеющие, жаропрочные и титановые сплавы)		
	0,75	0,5	0,25
	Сверление или рассверливание отверстий в жестких деталях без допуска и с допуском до 12 качества (5-го класса) точности под последующую обработку: зенкером или резцом	Сверление или рассверливание отверстий в деталях средней жесткости (тонкостенные детали коробчатой формы, тонкие выступающие части детали и т. п.) без допуска или с допуском до 12 качества точности под последующую обработку: сверлом, зенкером или резцом	Сверление или рассверливание точных отверстий при последующей обработке развертками. Сверление в деталях малой жесткости и с неустойчивыми опорами поверхности; сверление отверстий, ось которых не перпендикулярна плоскости. Сверление или рассверливание для последующего нарезания резьбы метчиком. Сверление центровочными сверлами
Зенкерование отверстий без допуска или с допуском до 12 качества точности; зенкерование под последующую обработку зенкером и разверткой или двумя развертками	Зенкерование отверстий при повышенных требованиях к шероховатости поверхности; зенкерование отверстий по 8—11 качеству точности с малой глубиной резания; зенкерование под последующую обработку одной разверткой; зенкерование под нарезание резьбы	При зенкерании эту группу подач использовать не рекомендуется	
Развертывание	Предварительное (черновое) развертывание под последующий чистовой проход разверткой	Чистовое развертывание отверстий на один проход по 8—11 качеству точности или с шероховатостью поверхности $R_z = 20 - 10$ мкм. Развертывание отверстий под полирование или хонингование	Чистовой проход после чернового развертывания отверстий по 7—8 качеству точности или с шероховатостью поверхности $R_z = 10 - 6,3$ мкм. ( $R_a = 2,5 - 1,25$ мкм)

Допустимая величина подачи для каждого из трех условий обработки может быть определена как

$$s_3 = s_2 K_{гр\ s} , \quad (2.12)$$

где  $K_{гр\ s}$  — коэффициент, учитывающий жесткость системы СПИД и заданную точность и шероховатость поверхности отверстия, значения которого приведены в табл. 2.

### Выбор наибольшей технологически допустимой подачи

Из найденных расчетом значений подач по ограничивающим факторам ( $s_1, s_2$  и  $s_3$ ) необходимо выбрать наименьшую.

При сверлении сквозных отверстий на выходе инструмента из отверстия осевая сила уменьшается и система СПИД упруго возвращается в исходное положение, в связи с чем подача увеличивается, что может привести к поломке инструмента или выкрашиванию режущих кромок. Для предупреждения поломки инструмента перед его выходом из отверстия рекомендуется либо предусматривать выключение автоматической подачи и до-сверливание производить с ручной подачей, либо назначать автоматическую подачу меньше расчетной при сверлении на полную глубину отверстия.

На основе производственного опыта можно рекомендовать для сквозных отверстий с глубиной  $l \leq (1,0 - 1,5) D$  назначать автоматическую подачу на 20—25% меньше расчетной; для сквозных отверстий с  $l > (1,0 - 1,5) D$  применять автоматическую подачу, равную расчетной до достижения глубины  $l - l_1$  ( $l_1$  — величина врезания инструмента), а затем заканчивать сверление с подачей на 20—25% меньше расчетной.

Так как на станках предусмотрено ступенчатое изменение подач, то расчетную подачу (или уменьшенную, в связи со сказанным) необходимо согласовать с паспортными данными станка. При этом из паспортных надо выбрать величину ближайшую меньшую к расчетной. Эта подача и будет являться наибольшей технологически допустимой подачей —  $s_0$ .

### 2.4. ВЫБОР СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ (СКОРОСТНОЙ СТУПЕНИ СТАНКА)

Скорость резания, м/мин, рассчитывается из условия полного использования режущих свойств инструмента по формуле

$$v = \frac{C_v' D^z K_v}{T^m t^x v^y s_0^y} . \quad (2.13)$$

Зная скорость резания и диаметр инструмента, можно определить частоту вращения, соответствующую этой скорости, по известной формуле (1.7).

Подставив формулу (2.13) в (1.7), получим

$$n = \frac{1000 \cdot C_v' K_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v} z_v \pi D^{1-z_v}} \quad (2.14)$$

где  $n$  — частота вращения, об/мин;  
 $C_v'$  — коэффициент, характеризующий условия обработки, для которых разрабатывались нормативные материалы (разделы IV, приложения 4, 5, 6, 7 и 8);  
 $K_v = K_{m_v} K_{c_v} K_{n_v} K_{\phi_v} K_{l_v} K_{h_v} K_{o_v}$  — коэффициент, учитывающий реальные условия обработки;  
 $K_{x_v}$  — физико-механические свойства обрабатываемого материала,  
 $K_{c_v}$  — состояние обрабатываемой заготовки,  
 $K_{n_v}$  — марку инструментального материала,  
 $K_{\phi_v}$  — форму заточки инструмента,  
 $K_{l_v}$  — глубину обрабатываемого отверстия,  
 $K_{h_v}$  — величину износа инструмента,  
 $K_{o_v}$  — качество применяемой СОЖ;  
 $T$  — оптимальная стойкость инструмента (см. приложение 2);  
 $m$  — показатель относительной стойкости;  
 $x_v, y_v, z_v$  — показатели степени, характеризующие влияние  $t, s$  и  $D$  на допустимую скорость резания.

Численные значения показателей степеней и поправочных коэффициентов приводятся в разделах IV и V приложений 4, 5, 6, 7 и 8. При отсутствии в нормативных материалах любого из перечисленных поправочных коэффициентов он принимается равным единице, а при отсутствии показателя он принимается равным нулю.

Определив расчетную частоту вращения заготовки, необходимо согласовать ее с возможностями станка (см. с. 9). При этом следует иметь в виду, что формула (1.19) для сверления, зенкерования и развертывания будет иметь вид

$$s' \leq \sqrt{\frac{1000 C_v' K_v}{T^m t^{x_v} \pi D^{1-z_v} n_{x+1}}} \quad (2.15)$$



## 2.5. ПРОВЕРКА ВЫБРАННОГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПО МОЩНОСТИ НА ШПИНДЕЛЕ СТАНКА

Для того, чтобы выбранный режим резания мог быть выполнен на заданном станке, необходимо

$$N_{\text{рез}} \leq N_{\text{шп.}}$$

Далее проверка производится в порядке, изложенном на с. 10—12.

## 2.6. ОСНОВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ (МАШИННОЕ) ВРЕМЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЯ

Основное технологическое время, мин, определяется по формуле (1.1)

$$T_{\text{маш (осн)}} = \frac{l_1 + l_2}{n s},$$

где  $l_1$  — величина врезания инструмента, мм;

$l_2$  — величина перебега инструмента, мм.

При обработке инструментом с одинарным конусом заборной части (форма  $H$ ) —  $2\varphi$  (рис. 1, а)

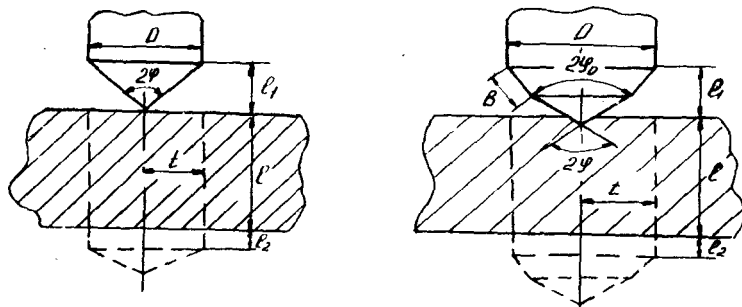


Рис. 1. Схема обработки отверстия

$$l_1 = 0,3 D. \quad (2.16a)$$

Если принять для сверла  $2\varphi = 118^\circ$ , то

$$l_1 = 0,3 D. \quad (2.16a)$$

При сверлении сверлом с двойным конусом заборной части (форма  $D$ ) —  $2\varphi$  и  $2\varphi_0$  (рис. 1, б)

$$l_1 = B \cdot \cos \varphi_0 + (D/2 - B \cdot \sin \varphi_0) \operatorname{ctg} \varphi, \quad (2.16b)$$

где  $B$  — длина переходной режущей кромки с  $2\varphi_0$ .

Если принять, как рекомендуется в приложении 2,  $B = 0,2 D$ ,  $2 \varphi = 118^\circ$ ,  $2 \varphi_0 = 70^\circ$ , то

$$l_1 = 0,3939 D \approx 0,4 D. \quad (2.16в)$$

Величина перебега инструмента дается в нормативах [4], но она может быть определена и по зависимостям:

а) при сверлении сквозных отверстий на проход

$$l_2 = 0,1 D, \quad (2.17)$$

б) при рассверливании, зенкерования и развертывании сквозных отверстий

$$l_2 = 0,06 D, \quad (2.17а)$$

в) при обработке глухих отверстий  $l_2 = 0$ .

### 2.7. КОЭФФИЦИЕНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТА И ЗАГРУЗКИ СТАНКА ПО МОЩНОСТИ

Коэффициент использования режущих свойств инструмента (1.22)

$$K_{II} = \frac{s n}{s_p n_p},$$

где  $s_p$  ( $s_0$ ) — величина наибольшей технологически допустимой подачи (та, которая использовалась в формуле (2.14));

$n_p$  ( $n$ ) — частота вращения инструмента, соответствующая оптимальной стойкости  $T$  и подаче  $s_p$  ( $s_0$ ) (величина, полученная по формуле (2.14));

$n$  и  $s$  — частота вращения инструмента и величина подачи, принятые в качестве наиболее выгодных.

Коэффициент загрузки станка по мощности (1.23)

$$K_c = \frac{N}{N_{шп}},$$

где  $N$  — эффективная мощность при обработке, определяемая по формуле (1.16) для оптимальных  $s$  и  $n$ ;

$N_{шп}$  — мощность на шпинделе станка, определяемая по формуле (1.10).

### 3. ПРИМЕР РАСЧЕТА РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

В жесткой по конструкции детали из стали 1Х18Н9Т необходимо просверлить сквозное отверстие  $\varnothing 20,0$  под последующее

зенкерование. Глубина отверстия 45 мм. Операция производится на вертикально-сверлильном станке 2А135.

### 3.1. ВЫБОР СВЕРЛА, ЕГО ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ И ГЕОМЕТРИИ

По приложению 5 найдем, что обрабатываемый материал относится к труднообрабатываемым коррозионно-стойким хромо-никелевым сталям. В закаленном состоянии сталь 1Х18Н9Т имеет  $\sigma_b > 550$  МПа.

По приложению 2 находим, что при черновой обработке труднообрабатываемых коррозионно-стойких сталей рекомендуется быстрорежущая сталь Р9К5.

Анализируя перечень стандартов на спиральные быстрорежущие сверла, устанавливаем, что для труднообрабатываемых материалов по ГОСТ 20696 изготавливаются укороченные сверла с коническим хвостовиком. Выбираем сверло  $\varnothing 20$  мм из стали Р9К5 с общей длиной  $L = 180$ , длиной спиральной части  $l = 80$  мм и коническим хвостовиком Морзе № 2 (для уточнения размеров инструмента рекомендуется использовать каталог [12] или непосредственно соответствующий стандарт).

В таблице приложения 2 «Форма заточки» для сверления труднообрабатываемых материалов рекомендуется двойная заточка с подточкой перемычки и ленточки — ДПЛ.

Таблица 3

Величины геометрических элементов сверла

Элемент режущей части	Обозначение	Рекомендуемая величина
Угол наклона винтовой канавки	$\omega$	30°
Угол между режущими кромками	2 $\varphi$	118°
Угол между переходными режущими кромками	2 $\varphi_0$	70°
Длина переходных кромок $B = 0,2 D$	$B$	4 мм
Угол наклона поперечной кромки	$\Psi$	55°
Задний угол	$\alpha$	12°
Длина подточенной поперечной кромки $A = 0,1 D$	$A$	2 мм
Длина подточки перемычки $l = 0,2 D$	$l$	4 мм
Ширина фаски на передней поверхности	$f$	0,2—0,4 мм
Длина подточки ленточки $l_1 = 0,1 D$	$l_1$	2 мм
Задний угол на подточенной части ленточки	$\alpha_1$	6—8°
Ширина оставленной ленточки	$f_1$	0,2—0,4 мм

По таблице приложения 2 «Размеры элементов режущей части сверл» находим рекомендуемые величины, которые также сведем в табл. 3:

Выполняем чертёж сверла или его рабочей части (в соответствии с заданием). Пример оформления чертежа дан в приложении 9.

Устанавливаем критерий износа сверла и оптимальный период стойкости. Из приложения 2 следует, что для быстрорежущих сверл при обработке труднообрабатываемых материалов  $h_3 = 0,6-0,8$ ;  $T = 1,5D$  или  $T = 30$  мин.

### 3.2. ВЫБОР ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ

При сверлении  $t = D/2$ , а следовательно, для нашего примера  $t = 10$  мм.

### 3.3. ВЫБОР ПОДАЧИ

Подача, допускаемая прочностью механизма подачи станка

$$s_1 = \sqrt{\frac{P_{мп}}{C_p D^2 z_p t^x K_p}},$$

где  $K_p = K_{мр} K_{фр} K_{hr}$ .

По паспортным данным станка 2А135 (см. приложение 1)

$$P_{мп} = 16000 \text{ Н.}$$

По приложению 5 для стали 1Х18Н9Т находим:

в разделе I —  $K_{мр} = 1,0$ ;

в разделе II —  $C_p = 1100$ ;  $x_p = 0$ ;  $y_p = 0,7$ ;  $z_p = 1,0$ ;

в разделе III —  $K_{фр} = 1,0$ ;  $K_{hr} = 1,0$ .

Следовательно,

$$s_1 = \sqrt[0,7]{\frac{16000}{1100 \cdot 20^{1,0} \cdot 1,0 \cdot 1,0}} = 0,634487 \text{ мм/об.}$$

Подача, допускаемая прочностью инструмента

$$s_2 = C_s D^{z_s} K_s,$$

где

$$K_s = \sqrt[ym]{\frac{1}{K_{мм} K_{м} K_{hм}}}.$$

Из табл. 1 находим, что при сверлении сталей инструментами из быстрорежущей стали  $C_s = 0,063$ ;  $z_s = 0,6$ .

По приложению 5  $K_{мм} = 1,0$ ;  $y_m = 0,8$ ;  $K_{лм} = 1,0$ ; для затупленного сверла ( $h_3 = 0,6-0,8$ )  $K_{hм} = 1,0$ .

Тогда

$$K_s = \sqrt[0.8]{\frac{1}{1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0}} = 1,0,$$

$$s_2 = 0,063 \cdot 20^{0,6} = 0,3801529 \text{ мм/об.}$$

**Подача по жесткости системы СПИД  
в связи с заданной точностью  
и шероховатостью обработанной поверхности**

$$s_3 = s_2 K_{гр.с.}$$

По табл. 2 находим, что при сверлении труднообрабатываемых материалов в жестких деталях без допуска и с допуском до 12 квалитета под последующее зенкерование или расточку резцом  $K_{гр.с.} = 0,75$

$$s_3 = 0,38 \cdot 0,75 = 0,285 \text{ мм/об.}$$

**Выбор наибольшей технологически допускаемой подачи**

Из найденных значений  $s_1 = 0,63$  мм/об;  $s_2 = 0,38$  мм/об и  $s_3 = 0,28$  мм/об выбираем наименьшее и сопоставляем его с имеющимися значениями на станке 2А135. Принимаем ближайшее меньшее из них к меньшему расчетному. Будем иметь  $s_0 = 0,25$  мм/об. Это и есть наибольшая технологически допускаемая подача.

#### **3.4. ВЫБОР СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ (СКОРОСТНОЮ СТУПЕНИ СТАНКА)**

Частота вращения шпинделя станка может быть определена по формуле (2.14):

$$n = \frac{1000 \cdot C_v' K_v}{T^m l^{x_v} s_0^{y_v} \pi D^{1-z_v}},$$

где  $K_v = K_{м.в.}, K_{н.в.}, K_{ф.в.}, K_{l.в.}, K_{о.в.}$ .

В разделе IV и V приложения 5 находим  $C_v' = 0,8$ ;  $x_v = 0$ ;  $y_v = 0,85$ ;  $z_v = 0,75$ ;  $m = 0,25$ ;  $K_{м.в.} = 1,0$ ;  $K_{н.в.} = 1,0$ ;  $K_{ф.в.} = 1,0$ ;  $K_{l.в.} = 1,0$ ;  $K_{о.в.} = 1,0$  — с охлаждением эмульсией.

Подставив все необходимое в формулу, получим

$$n = \frac{1000 \cdot 0,8 \cdot 1,0}{30^{0,25} \cdot 1,0 \cdot 0,25^{0,85} \cdot \pi \cdot 20^{1-0,75}} = 166 \text{ об/мин.}$$

Сопоставляя с паспортными данными станка, находим

$$n_x = 140 \text{ об/мин,}$$

$$n_{x+1} = 195 \text{ об/мин.}$$

Определяем подачу для  $n_{x+1}$ :

$$s' = s_0 \sqrt[0,7]{\frac{n}{n_{x+1}}},$$

$$s' = 0,25 \sqrt[0,85]{\frac{166}{195}} = 0,2065 \text{ мм/об.}$$

Согласовывая с паспортными величинами подач, будем иметь  $s_0' = 0,20$  мм/об.

Решаем вопрос о наивыгоднейшем сочетании  $s$  и  $n$ :

$$s_{m_x} = s_0 n_x = 0,25 \cdot 140 = 35 \text{ мм/мин.}$$

$$s_{m_{x+1}} = s_0' n_{x+1} = 0,2 \cdot 195 = 39 \text{ мм/мин.}$$

Таким образом, за наивыгоднейший режим резания следует принять

$$n = 195 \text{ об/мин.}$$

$$s = 0,2 \text{ мм/об.}$$

Реальная скорость резания

$$v = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 20 \cdot 195}{1000} = 12,246 \text{ м/мин.}$$

### 3.5. ПРОВЕРКА ВЫБРАННОГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПО МОЩНОСТИ НА ШПИНДЕЛЕ СТАНКА

Необходимо, чтобы  $N \leq N_{\text{шп.}}$

$$N = \frac{2\pi}{60} M n \quad \text{и} \quad N_{\text{шп.}} = N_{\text{дв}} \eta.$$

Определим момент, Н·м, возникающий в процессе сверления:

$$M = C_M' D^x_M l^y_M s^z_M K_M,$$

$$K_M = K_{M_M} K_{\Phi_M} K_{l_M} K_{h_M}.$$

В разделе II и III приложения 5 находим

$$C_M' = 0,52; x_M = 0; y_M = 0,8; z_M = 1,9;$$

$$K_{M_M} = 1,0; K_{\Phi_M} = 1,0; K_{l_M} = 1,0; K_{h_M} = 1,0.$$

$$M = 0,52 \cdot 20^{1,9} \cdot 1,0 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 1,0 = 42,538681 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Эффективная мощность при сверлении

$$N = \frac{2\pi}{60} 42,54 \cdot 195 = 868,2414 \text{ Вт.}$$

**Мощность на шпинделе станка**

$$N_{\text{шп}} = 4500 \cdot 0,81 = 3645 \text{ Вт.}$$

Так как  $N_{\text{шп}} > N$ , то выбранный режим сверления выполним на станке 2А135.

### 3.6. ОСНОВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ (МАШИННОЕ) ВРЕМЯ

Время, мин, необходимое на осуществление процесса сверления, определяется по формуле (1.1):

$$T_{\text{маш}} = \frac{l_1 + l + l_2}{n s} .$$

Величина врезания для сверл с двойным конусом заборной части может быть определена по формуле (2.16в):

$$l_1 = 0,4 D,$$

$$l_1 = 0,4 \cdot 20 = 8 \text{ мм.}$$

Величина перебега при сверлении сквозных отверстий  $l_2 = 0,1 D$

$$l_2 = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ мм.}$$

Тогда

$$T_{\text{маш}} = \frac{8 + 45 + 2}{195 \cdot 0,2} = 1,41 \text{ мин.}$$

### 3.7. КОЭФФИЦИЕНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТА И ЗАГРУЗКИ СТАНКА ПО МОЩНОСТИ

Коэффициент использования режущих свойств сверла

$$K_{\text{и}} = \frac{s n}{s_p n_p} ,$$

$$K_{\text{и}} = \frac{0,2 \cdot 195}{0,25 \cdot 166} = 0,939759 \text{ или } \sim 94\% .$$

Коэффициент загрузки станка по мощности

$$K_{\text{с}} = \frac{N}{N_{\text{шп}}} ,$$

$$K_{\text{с}} = \frac{868}{3645} = 0,238 \text{ или } \approx 24\% .$$

Таким образом, в результате расчета получим

$$t = 10 \text{ мм}; s = 0,2 \text{ мм/об}; n = 195 \text{ об/мин}; v = 12,2 \text{ м/мин}; T_{\text{маш}} = 1,41 \text{ мин}; K_{\text{и}} = 0,94; K_{\text{с}} = 0,238 .$$

**ПАСПОРТНЫЕ ДАННЫЕ  
НЕКОТОРЫХ СВЕРЛИЛЬНЫХ СТАНКОВ**

Шифр модели	Наибольший условный диаметр сверления, мм	Мощность двигателя при вводе, кВт	КПД привода	Удельное, допускаемое механ. напряжение, Н	Частота вращения шпинделя, об/мин			Подача, мм/об		
2118	18	1,0	0,8	7000	310	380	465	0,1	0,12	0,13
					575	705	865	0,15	0,17	0,19
					1065	1300	1600	0,22	0,25	0,29
					1970	2420	2975	0,32	0,37	0,42
2118А	18	1,0	0,8	7000	300	372	460	0,1	0,11	0,13
					572	710	880	0,15	0,17	0,19
					1090	1350	1675	0,22	0,25	0,27
					2080	2580	3200	0,31	0,35	0,40
2Б118	18	1,7	0,8	7000	208	255	315	0,10	0,12	0,13
					387	476	585	0,16	0,18	0,21
					720	885	1090	0,24	0,28	0,33
					1340	1648	2030	0,38	0,44	0,51
2А125	25	2,8	0,8	9000	97,5	135	190	0,1	0,13	0,17
					267	380	540	0,22	0,28	0,36
					668	950	1380	0,18	0,62	0,81
					45	69	90	0,1	0,14	0,2
2Н125	25	2,8	0,8	9000	125	180	250	0,28	0,4	0,56
					355	500	711	0,8	1,12	1,6
					1000	1400	2000			
					68	100	140	0,115	0,15	0,20
2А135	35	4,5	0,81	16000	195	275	400	0,25	0,32	0,43
					530	750	1100	0,57	0,72	0,96
								1,22	1,6	
					42	60	87	0,1	0,13	0,17
2А135С	35	6	0,8	16000	122	173	250	0,22	0,28	0,38
					338	482	696	0,5	0,63	0,82
					975	1390	2000	1,05	1,4	
					31,5	45	63	0,1	0,14	0,2
2Н135	35	4,8	0,8	15000	90	125	180	0,28	0,4	0,56
					250	355	500	0,8	1,12	1,6
					710	1000	1440			



Шифр модели	Наибольший условный диаметр сверления, мм	Мощность двигателя привода, кВт	КПД привода	Усилие, допускаемое механизмом, Н	Частота вращения шпинделя, об/мин			Подача, мм/об		
2А150	50	6	0,85	25000	32	47	63	0,12	0,19	0,28
					89	125	185	0,4	0,62	0,9
					250	351	500	1,17	1,8	2,64
					735	996	1400			
2170	75	10	0,85	30000	22	31	44	0,15	0,20	0,26
					62	88	125	0,35	0,46	0,60
					178	252	357	0,79	1,05	1,4
					506	718	1018	1,82	2,40	3,2
2А53	35	25	0,82	15000	50	70	100	0,06	0,08	0,10
					140	200	280	0,14	0,18	0,24
					398	562	795	0,31	0,41	0,54
					1122	1586	2240	0,70	0,93	1,22
2Г53	35	4,5	0,82	15000	30	43	62	0,05	0,07	0,10
					90	130	188	0,14	0,19	0,27
					271	392	565	0,38	0,53	0,74
					815	1178	1700	1,03	1,45	2,02
2А55	50	4,5	0,81	18000	30	43	62	0,05	0,07	0,10
					90	130	188	1,40	0,20	0,28
					271	392	565	0,39	0,55	0,78
					815	1178	1700	1,10	1,55	2,19
2В56	60	5,5	0,81	20000	125	160	200	0,15	0,19	0,24
					260	320	410	0,33	0,42	0,53
					500	650	800	0,75	0,95	1,18
					1050	1300	1650			
257	75	7,0	0,85	25000	11,2	14	17,5	0,04	0,05	0,063
								0,08	0,1	0,126
					22,5	28	35,5	0,16	0,2	0,25
					45	56	71	0,32	0,4	0,5
					90	112	140	0,63	0,8	1,0
					175	225	280			
257	75	7,0	0,85	25000	355	450	560	1,26	1,6	2,0
					710	900	1120			

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ И ГЕОМЕТРИЯ ИНСТРУМЕНТОВ

### I. Инструментальные материалы

#### Быстрорежущие стали

Марка	Примерное назначение и сравнительная характеристика
P9	Обработка мягких и средней твердости сталей, легких сплавов и других легкообрабатываемых материалов
P18	Обработка мягких и средней твердости сталей и чугунов. Обладает несколько большей износостойкостью по сравнению с P9. В связи с высоким содержанием вольфрама целесообразно заменять другими более эффективными марками
P6M5 P6M5K5	Обработка всех нетруднообрабатываемых материалов (конструкционные углеродистые и низколегированные стали, чугуны и др.). По режущим свойствам, особенно при чистовой обработке, практически не уступают стали P18. Рекомендуются и при обработке коррозионно-стойких, теплостойких и жаростойких сталей I—III группы
P9K5 P9K10	Обработка высокопрочных коррозионно-стойких и жаростойких сталей и сплавов, титановых сплавов и других твердых материалов. Обладают повышенной теплостойкостью, особенно P9K10. Благодаря высокой вязкости сталь P9K5 пригодна для работы с ударами
P9Ф5	Выполнение чистовых операций на сталях средней твердости, бронзе, латуни, жаропрочных и титановых сплавах, а также на материалах, обладающих абразивными свойствами (пластмассы и др.)
P14Ф4	Обработка особо прочных материалов (легированные и коррозионно-стойкие стали, жаропрочные сплавы и др.). Обладает более высокой твердостью, износостойкостью и теплостойкостью
P18K5Ф2	Обработка твердых, высокопрочных и труднообрабатываемых материалов (коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы, титановые сплавы и др.). Это стали высокой производительности

## Твердые сплавы

Марка	Примерное назначение и сравнительная характеристика
ВКЗМ	Чистовая обработка с малым сечением среза цементированных и закаленных сталей, весьма твердых чугунов, коррозионно-стойких, жаростойких сталей и сплавов и титановых сплавов
ВК4	Чистовая и получистовая обработка при неравномерном сечении среза и непрерывном резании чугуна, цветных металлов и их сплавов и титановых сплавов
ВК6	Черновая обработка при непрерывном резании; чистовая и получистовая обработка при прерывистом резании чугуна и цветных сплавов
ВК6М	Чистовая и получистовая обработка жаропрочных и коррозионно-стойких сталей и сплавов, твердых чугунов, цветных и титановых сплавов
ВК8	Черновая обработка при неравномерном сечении среза и прерывистом резании чугуна, цветных сплавов, труднообрабатываемых специальных сплавов
ВК8В	Грубая (тяжелая) обработка коррозионных и жаропрочных сталей и сплавов, а также стального литья
ВК60М	Чистовая и получистовая обработка коррозионно-стойких, жаростойких, жаропрочных сталей и сплавов и титановых сплавов
ВК10М ВК100М	Черновая и получистовая обработка коррозионно-стойких, жаростойких, жаропрочных сталей и сплавов и титановых сплавов
ВК150М	Грубая и черновая обработка коррозионно-стойких, жаростойких, жаропрочных сталей и сплавов и титановых сплавов
Т30К4	Чистовая обработка с малым сечением среза (типа алмазной обработки) закаленных и незакаленных углеродистых и легированных сталей
Т15К6	Черновая и получистовая обработка при непрерывном резании; чистовая обработка при прерывистом резании углеродистых и легированных сталей
Т14К8	Черновая обработка при неравномерном сечении среза и непрерывном резании; получистовое и чистовое точение при прерывистом резании углеродистых и легированных сталей
Т5К10	Черновая обработка при неравномерном сечении среза и прерывистом резании углеродистых и легированных сталей, преимущественно в виде поковок, штамповок и отливок по корке и окалине

## II. Основные размеры и геометрия спиральных сверл

### Общие стандарты на сверла

Наименование стандарта	ГОСТ
Сверла спиральные. Диаметры и допуски диаметров	ГОСТ 885-77
Сверла спиральные. Технические условия	ГОСТ 2034-80E
Сверла спиральные с твердосплавными пластинами. Технические условия	ГОСТ 5756-81E

### Градация диаметров спиральных сверл по ГОСТ 885-77

Пределы диаметров	Интервал изменения диаметров	Пример построения ряда диаметров
0,25 — 1,00	С окончанием сотых долей на цифры 0, 2, 5, 8	0,25; 0,28; 0,30; 0,32 и т. д.
1,00 — 3,00	0,05	1,00; 1,05; 1,10; 1,15 и т. д.
3,00 — 14,00	0,10	3,00; 3,10; 3,20; 3,30 и т. д.
14,00 — 32,00	0,25	14,00; 14,25; 14,50 и т. д.
32,00 — 51,00	0,5	32,00; 32,50; 33,00 и т. д.
51,00 — 80,00	1,0	51,00; 52,00 и т. д.

Сверла спиральные быстрорежущие  
(основные размеры)

Тип сверла	ГОСТ или ТУ	Предельные размеры			Конус Морзе
		диаметр	общая длина	длина спиральной части	
Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Короткая серия	ГОСТ 4010-77	0,5 —	20 —	3 —	—
		— 20	— 131	— 60	—
Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Средняя серия	ГОСТ 10902-77	0,3 —	19 —	3 —	—
		— 20	— 205	— 140	—
Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком	ГОСТ 886-77	1,0 —	56 —	33 —	—
		— 20	— 254	— 166	—
Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Сверхдлинная серия	ТУ 2-035-600-77	6,1 —	290 —	100 и 160	—
		— 10	— 500	200 и 350	—
Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком	ТУ 2-035-402-75	2,0 —	120 и 140	50 и 55	—
		9,00 —	280 и 300	110 и 120	—
Сверла спиральные с коротким цилиндрическим хвостовиком. Длинная серия	ГОСТ 12122-77	1,0 —	48 —	25 —	—
		— 9,5	— 155	— 110	—
Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком для станков с ЧПУ	ОСТ 2И20-1-80	3,0 —	61 —	33 —	—
		— 20,0	— 205	— 140	—
Сверла спиральные малоразмерные диаметром 0,1—1,5 мм с утолщенным цилиндрическим хвостовиком	ГОСТ 8034-76	0,1 —	14 —	0,6 и 1,2	—
		— 1,0	— 32	9	—
Сверла спиральные с коническим хвостовиком	ГОСТ 10903-77	5,0 —	133 —	52 —	1
		— 80	— 514	— 260	6

## Продолжение прил. 2

Тип сверла	ГОСТ или ТУ	Предельные размеры			Конус Морзе
		диаметр	общая длина	длина спиральной части	
Сверла спиральные удлиненные с кони- ческим хвостовиком	ГОСТ 2092-77	6,0 —	225 —	145 —	1
		— 30,0	— 395	— 275	3
Сверла спиральные длинные с коничес- ким хвостовиком	ГОСТ 12121-77	6,0 —	160 —	80 —	1
		— 30,0	— 350	— 230	3
Сверла спиральные с коническим хвостови- ком для станков с ЧПУ	ОСТ 2И20-2-80	6,0 —	138 —	57 —	1
		— 30,0	— 296	— 175	3
Сверла спиральные с термомеханическим упрочнением с кони- ческим хвостовиком	ТУ 2-035-779-80	32,0 —	334 —	185 —	4
		— 60,0	— 427	— 240	5
Сверла спиральные с цилиндрическим хвос- товиком. Для трудно- обрабатываемых ма- териалов. Средняя се- рия	ГОСТ 20695-75	3,0 —	60 —	32 —	—
		— 10	— 135	— 90	—
Сверла спиральные с коническим хвостови- ком для труднообра- батываемых материа- лов. Короткая серия	ГОСТ 20696-75	6,0 —	105 —	30 —	1
		— 20	— 180	— 80	2
Сверла спиральные с коническим хвостови- ком для труднообра- батываемых материа- лов. Средняя серия	ГОСТ 20697-75	6,00 —	140 —	60 —	1
		— 20,00	— 240	— 140	2
Сверла спиральные с цилиндрическим хвос- товиком для обработ- ки глубоких отвер- стий в труднообраба- тываемых сталях	ТУ 2-035-731-80	4,5 —	139 —	87 —	—
		— 10	— 205	— 140	—
Сверла спиральные с коническим хвостови- ком и удлиненной ра- бочей частью, в том числе с подводом СОЖ	ТУ 2-035-721-80	10 —	210 — 400	130 — 220	1
		— 55	450 — 600	265 — 415	5

## Продолжение прил. 2


Тип сверла	ГОСТ или ТУ	Предельные размеры			Конус Морзе
		диаметр	общая длина	длина спиральной части	
Сверла спиральные с износоустойчивым покрытием	ТУ 2-035-813-81	с размерами по		ГОСТ 4010-77 ГОСТ 10902-77 ГОСТ 10903-77 ГОСТ 12121-77 ГОСТ 2092-77 ГОСТ 886-77 ГОСТ 12122-77	
Сверла шнековые с цилиндрическим хвостовиком	ТУ 2-035-425-75	5,0 — — 10	130 — — 185	85 — — 120	— —
Сверла шнековые с коническим хвостовиком	ТУ 2-035-426-75	10,0 — — 14,0	250 — — 265	170 — — 185	1 1
Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Для легких сплавов. Средняя серия	ГОСТ 19543-74	1,0 — — 12,0	34 — — 150	12 — — 10	— —
Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком. Для легких сплавов. Длинная серия	ГОСТ 19544-74	1,95 — — 12,0	85 — — 205	55 — • 140	— —
Сверла спиральные с коническим хвостовиком. Для легких сплавов	ГОСТ 19546-74	6,0 — — 30,0	140 — — 325	60 — — 175	1 4
Сверла спиральные удлиненные с коническим хвостовиком. Для легких сплавов	ГОСТ 19547-74	6,0 — — 30,0	225 — — 420	145 — — 275	1 4
Сверла спиральные твердосплавные (основные размеры)					
Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком, оснащенные пластинками твердого сплава	ГОСТ 22735-77	5,00 — — 16,00	70 и 85 138 и 178	36 и 62 80 и 120	— —

Продолжение прил. 2






Тип сверла	ГОСТ или ТУ	Предельные размеры			Конус Морзе
		диаметр	общая длина	длина спиральной части	
Сверла спиральные цельные твердосплавные укороченные с увеличенным диаметром стального хвостовика	ГОСТ 17273-71	1,5 — — 6,50	35 — — 65	5 — — 25	— —
Сверла спиральные цельные твердосплавные с цилиндрическим хвостовиком. Короткая серия	ГОСТ 17274-71	1,00 — — 12,00	32 — — 100	6 — — 50	— —
Сверла спиральные цельные твердосплавные. Средняя серия	ГОСТ 17275-71	3,00 — — 12,00	55 — — 120	24 — — 70	— —
Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком для труднообрабатываемых материалов. Короткая серия	ГОСТ 20694-75	3,00 — — 10,00	45 — — 90	16 — — 45	— —
Сверла спиральные с коническим хвостовиком, оснащенные пластинками из твердого сплава	ГОСТ 22736-77	10,00 — — 30,00	140 — 168 275 — 324	60 — 87 125 — 175	1 4
Сверла спиральные цельные твердосплавные с коническим хвостовиком	ГОСТ 17276-71	6,00 — — 12,0	120 — — 170	10 — — 70	1 1

Геометрические параметры сверл

Форма заточки

Наименование заточки	Обозначение	Эскиз	Назначение и область применения
Одноряная (нормальная)	Н		Применяется для сверл диаметром до 12 мм



Наименование заточки	Обозначение	Эскиз	Назначение и область применения
Двойная с подточкой перемычки	ДП		Применяется для сверл диаметром свыше 12 мм при обработке материалов высокой прочности ( $\sigma_b > 500$ МПа), в том числе и чугуна. По сравнению с заточкой Н дает возможность повысить скорость резания на 15—20%
Двойная с подточкой перемычки и ленточки	ДПЛ		То же, что и ДП. Особенно рекомендуется при сверлении труднообрабатываемых материалов (без корки)
Двойная с подточкой перемычки по методу В. И. Жирова	ЖДП		Применяется для сверл диаметром более 12 мм при обработке малопластичных материалов типа чугуна, бронзы, легких сплавов. За счет уменьшения осевых сил имеется возможность повышения подачи
Одинарная с подточкой перемычки	НП		Применяется для сверл диаметром более 12 мм при сверлении вязких материалов с $\sigma < 500$ МПа
Одинарная с подточкой перемычки и ленточки	НПЛ		То же, что и НП. Рекомендуется при сверлении труднообрабатываемых материалов. Уменьшает силы резания

Размеры элементов режущей части сверл

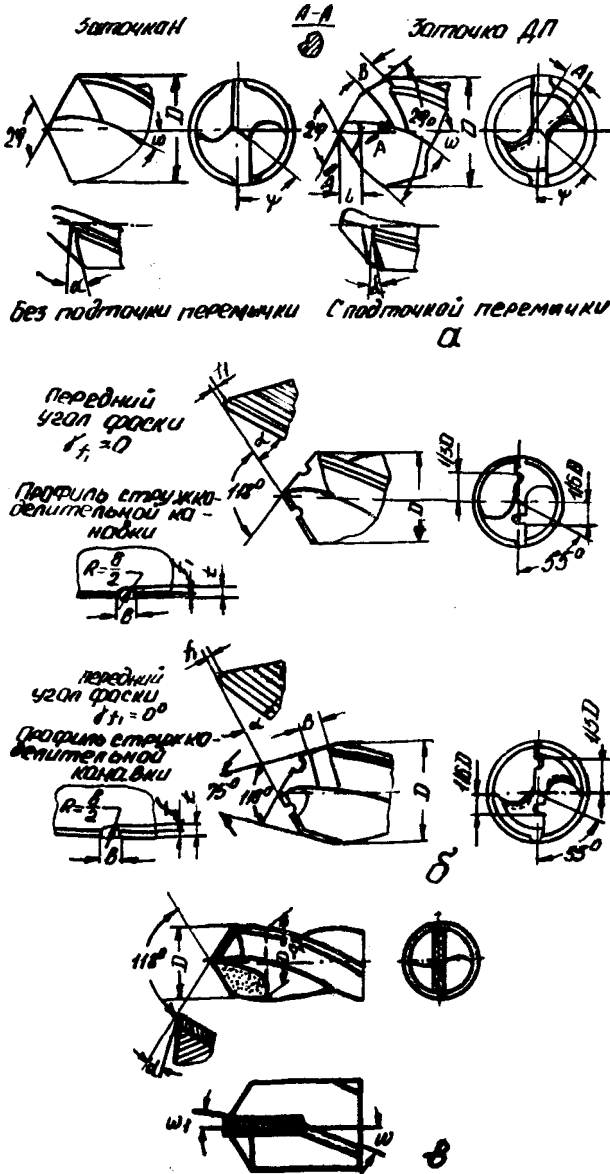


Рис. П2.1

Угол наклона винтовой канавки

Диаметр сверла, мм	2,0—2,9	3,0—3,4	3,5—4,4	4,5—6,4	6,5—8,4	8,5—9,9	10—80
Угол наклона винтовой канавки $\omega$ , град.	23	24	25	26	27	28	30
Угол наклона винтовой канавки для сверл, оснащенных пластинками из твердого сплава	—	—	—	15		20	
Угол наклона твердосплавной пластины $\omega_1$				6°			

Элементы заточки и подточек

Элементы заточки и подточек	Обозначение элементов и их величина	Примечание
Углы между режущими кромками	$2\varphi = 118^\circ$   $2\varphi_0 = 70-75$	Допуск $+ 2^\circ$
Угол наклона поперечной кромки	$\psi = 55^\circ$	
	$\psi = 47^\circ$ — при заточке по В. И. Жирову	
Передний угол при заточке по В. И. Жирову	$\gamma_1 = 0-5^\circ$	
Половина угла клина при заточке по В. И. Жирову	$\mu/2 = 28-32^\circ$	
Задний угол	$D \leq 15$   $\alpha = 14-11^\circ$	
	$D = 15-30$   $\alpha = 12-9^\circ$	
	$D > 30$   $\alpha = 11-8^\circ$	
Задний угол на подточенной части ленточки	$\alpha_1 = 6-8^\circ$	
Длина второй кромки (переходного лезвия)	$B = 0,2 D$	Округлять величины и исполнять
Длина подточенной поперечной кромки	$A = 0,1 D$	

Продолжение прил. 2

Элементы заточки и подточек	Обозначение элементов и их величина	Примечание
Ширина «вилки» при заточке по В. И. Жирову	$a = 0,1 D$	при заточке с точностью до 0,5 (+ 0,5)
Длина подточки перемычки	$l = 0,2 D$	
Длина подточки ленточки	$l_1 = 0,1 D$	
Ширина фаски у подточенной ленточки	$f = 0,2 - 0,4$	Округлять и выполнять с точностью до 0,1
Ширина фаски на передней поверхности при сверлении труднообрабатываемых материалов	$f_1 = 0,2 - 0,4$	
Размеры стружкоразделительных канавок при сверлении труднообрабатываемых материалов	$b = 0,75 - 1,0$ $t = 0,025 D$	

III. Основные размеры и геометрия зенкеров

Общие стандарты на зенкеры

Наименование стандарта	ГОСТ
Зенкеры быстрорежущие. Технические условия	ГОСТ 1677-75
Зенкеры, оснащенные пластинками из твердого сплава. Технические условия	ГОСТ 12509-75

Зенкеры быстрорежущие

Тип зенкера	ГОСТ или ТУ	Предельные размеры			Конус Морзе и диаметр отверст.
		диаметр	общая длина	длина спиральной части	
Зенкеры цельные с цилиндрическим хвостовиком (трехзубые)	ОСТ 2И22-1-80	10,0—	133—	87—	—
		—20,0	—205	—140	
Зенкеры цельные с коническим хвостовиком (трехзубые)	ОСТ 2И22-1-80	10,0—	168—	87—	1
		—40,0	—349	—200	4
Зенкеры цельные с коническим хвостовиком	ГОСТ 12489-71	10,0—	160—	80—	1
		—40,0	—350	—200	4
Зенкеры цельные насадные	ГОСТ 12489-71	32—52	—	30—42	$d_{отв} = 13$ $d_{отв} = 22$

Зенкеры твердосплавные

Тип зенкера	ГОСТ или ТУ	Предельные размеры			Конус Морзе и диаметр отверст.
		диаметр	общая длина	длина спиральной части	
Зенкеры с коническим хвостовиком, оснащенные пластинками из твердого сплава	ГОСТ 3231-71	14,0—	180—	85—	2
		—50,0	305—	—110 160— —210	4
Зенкеры насадные, оснащенные пластинками из твердого сплава	ГОСТ 3231-71	32,0—	—	40—65	$d_{отв} = 13$
		—80	—		$d_{отв} = 32$

Геометрические параметры зенкеров

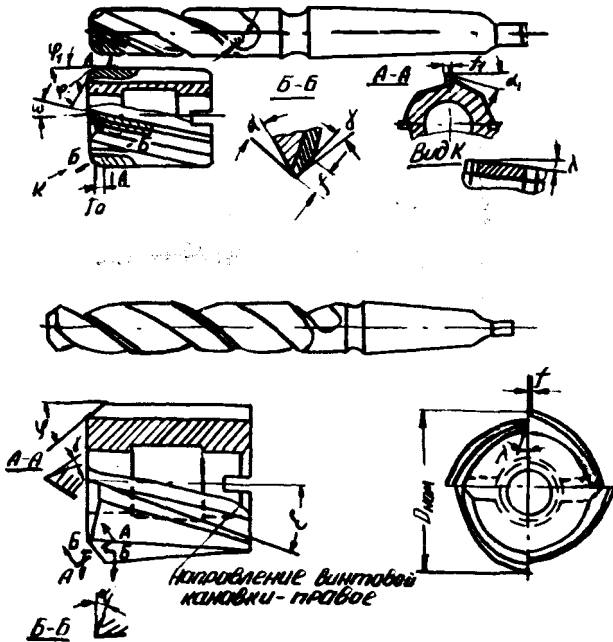


Рис. П2.2

Тип зенкера		Диаметр, $D$	Число зубьев $Z$	Угол наклона винтовой линии $\omega$	Угол врезания пластин- ки $\omega_1$	Длина переход- ной кромки $f_0$
С коничес- ким хвосто- виком	цельные	10—40	3	20	—	—
			4	13		
	с пластинками твердого сплава	14—35 26—50	3 4	15 10	15 10	0,3—0,5
Насадные	цельные	25—80	4 6	13	—	—
			4	10	10	0,5—0,8
	с пластинками твердого сплава	32—80	4	10	10	0,5—0,8
Сборные регулируемые насад- ные (быстрорежущие)		40—100	4	13	—	—
			6			

## Элементы заточки зенкеров

Элементы заточки		Обозначение элементов	Величина
Передний угол		$\gamma$	Функция $\omega$ и $\varphi$
Задний угол	Для быстрорежущих зенке- ров	$\alpha$	6—8°
	Для твердосплавных зенке- ров	$\alpha$	10°
		$\alpha_1$	8°
Угол в плане	Для быстрорежущих зенке- ров	$\varphi$	45°
	Для твердосплавных зенке- ров	$\varphi$	60°
		$\varphi_1$	30°
Угол наклона режу- щего лезвия	Для быстрорежущих зенке- ров		0—5°
	Для твердосплавных зенке- ров	$\lambda$	12°

Элементы заточки		Обозначение элементов	Величина
Ширина ленточки	Для быстрорежущих зенкоров	$f$	1,0 — 2,5
	Для твердосплавных зенкоров		0,8 — 1,2
Ширина упрочняющей фаски	Для твердосплавных зенкоров	$f$	0,2 — 0,3
Угол заточки фаски		$\gamma_1$	0 — (-5)°

#### IV. Основные размеры и геометрия разверток

Общие стандарты на развертки

Наименование стандарта	ГОСТ
Развертки машинные быстрорежущие. Технические условия	ГОСТ 1523-81
Развертки машинные твердосплавные. Технические условия	ГОСТ 5735-81
Развертки машинные цельные из твердого сплава. Технические условия	ГОСТ 16088-70

#### Развертки быстрорежущие

Тип развертки	ГОСТ	Предельные размеры			Число зубьев	Конус Морзе
		диаметр	общая длина	длина рабочей части		
Развертки машинные цельные с цилиндрическим хвостовиком	ГОСТ 1672-80	2,0—	49—	11—	—	—
		—16,0	—170	—52		
Развертки машинные цельные с коническим хвостовиком	ГОСТ 1672-80	5,5—	138—	26—86	6	1
		—50	—344		12	4
Развертки машинные цельные насадные	ГОСТ 1672-80	25—	—	32—	8	$d_{\text{отв}}=13$
		—50	—	—45	12	$d_{\text{отв}}=22$

Продолжение прил. 2

Тип развертки	ГОСТ	Предельные размеры			Число зубьев	Конус Морзе
		диаметр	общая длина	длина рабочей части		
Развертки машинные с коническим хвостовиком и удлиненной рабочей частью	ГОСТ 11172-70	7,0—	134—	54—	6	1
		—50	—380	—210	12	4
Развертки машинные со вставными ножами из быстрорежущей стали	ГОСТ 883-80	32—50	292—	38—45		3
			—317	344		4
Развертки машинные насадные со вставными ножами из быстрорежущей стали	ГОСТ 883-80	40—	—	40—56		$d_{отв} = 16$
		—100	—			$d_{отв} = 40$
Развертки твердосплавные						
Развертки машинные с коническим хвостовиком, оснащенные пластинками из твердого сплава	ГОСТ 28321-89	10,0—	140—	16—	4	1
		—32,0	—240	—22	6	3
Развертки машинные насадные, оснащенные пластинками из твердого сплава	ГОСТ 28321-89	32,0—	—	32—	6	$d_{отв} = 16$
		—50	—	—32	10	$d_{отв} = 22$
Развертки машинные цельные из твердого сплава с коническим хвостовиком типа 1 (прямозубые), типа 2 (спиральнозубые)	ГОСТ 16087-70	6,5—	120—	18—	4	1
		—12	—150	—22	6	1



Геометрические параметры разверток

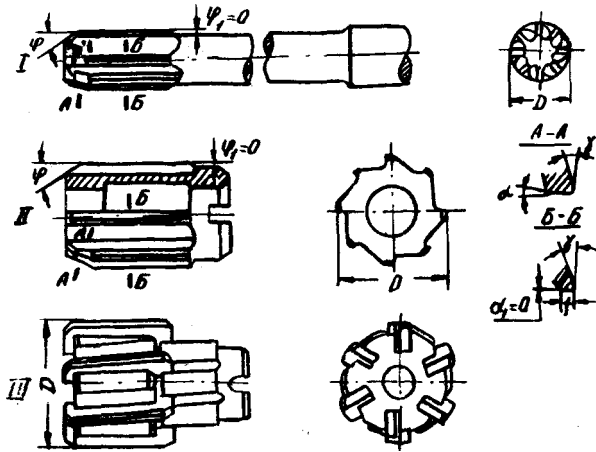


Рис. П2.3

Элементы заточки

Элементы заточки	Обозначение	Материал развертки	Условия обработки	Размер	
Главный угол в плане (угол заборного конуса), град.	$\varphi$	Быстрорежущая сталь	Сквозные отверстия	Сталь Чугун	12—15 3—5
			Глухие отверстия	Сталь Чугун	60
		Твердый сплав	—	45	
Передний угол, град.	$\gamma$	Быстрорежущая сталь	—	0	
		Твердый сплав	сталь чугун	5 0	
Задний угол по заборному конусу, град.	$\alpha$	Быстрорежущая сталь и твердый сплав	$D > 10$		6—8
			$D < 10$		15
Ширина ленточки, мм	$f$	Быстрорежущая сталь	—	0,05—0,3	
		Твердый сплав	—	0,15—0,25	

V. Средние величины допустимого износа  
и периодов стойкости инструмента диаметром более 5 мм

Режущ. инструм.	Материал инструмента	Обрабатываемый материал	Величина допусти- мого износа $h_3$ , мм	Период стойкости $T$ , мин.*
Сверла	Быстрорежу- щая сталь	Углеродистые и легиро- ванные стали	0,02 $D^{1,2}$	(1,0—1,5) $D$
		Алюминиевые, медные сплавы и чугуны	0,6—0,8	(1,5—3,0) $D$
		Труднообрабатываемые сплавы и стали, тита- новые сплавы	0,6—0,8	1,5 $D$
	Твердый сплав	Углеродистые и легиро- ванные стали	0,02 $D^{1,2}$	1,5 $D$
		Алюминиевые, медные сплавы и чугуны	0,4—0,6	2,0 $D$
		Труднообрабатывае- мые сплавы и стали, титановые сплавы	0,4—0,6	1,5 $D$
Зенкеры	Быстрорежу- щая сталь	Углеродистые и легиро- ванные стали	0,35 $D^{0,35}$	(1,0—1,5) $D$
		Алюминиевые, медные сплавы и чугуны	0,1—0,6	(1,5—3,0) $D$
		Труднообрабатываемые стали и сплавы, тита- новые сплавы	0,1—0,6	1,5 $D$
	Твердый сплав	Углеродистые и легиро- ванные стали	0,35 $D^{0,35}$	1,5 $D$
		Алюминиевые, медные сплавы и чугуны	0,35 $D^{0,35}$	2,0 $D$
		Труднообрабатываемые стали и сплавы, тита- новые сплавы	0,4—0,6	1,5 $D$
Развертки	Быстрорежу- щая сталь	Углеродистые и легиро- ванные стали	0,5—0,7	1,6 $D$
		Алюминиевые, медные сплавы и чугуны	0,4—0,5	2,6 $D$
		Труднообрабатываемые сплавы и стали, тита- новые сплавы	0,4—0,5	1,5 $D$

Режущ. инструм.	Материал инструмента	Обрабатываемый материал	Величина допустимого износа $h_{3,}$ мм	Период стойкости $T$ , мин.*
Развертки	Твердый сплав	Углеродистые и леги- рованные стали	0,5—0,7	2,25 $D$
		Алюминиевые, медные сплавы и чугуны		3,0 $D$
		Труднообрабатываемые стали и сплавы, тита- новые сплавы	0,4—0,5	1,5 $D$

\* Округлять до целых минут с окончанием числа на 0, 2, 5, 8.

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ГЛУБИНЫ РЕЗАНИЯ**

**1. Варианты маршрута обработки отверстий**

Диаметр обрабатываемого отверстия D, мм	Квалитеты точности		Шероховатость R <sub>a</sub> , мкм	Сверление	Зенкирование	Сверление вальце черновое	Сверление Развертывание	Сверление вальце черновое	Развертывание	получистовое
	11	10								
12	11	10	9	8						
40...20	20	10	10...5	5	2,5					
4...18	Сверление	Сверление вальце черновое	Зенкирование	Сверление вальце черновое	Сверление вальце черновое	Сверление вальце черновое	Сверление вальце черновое	Сверление вальце черновое	Развертывание	получистовое
18...30	Сверление по лучистовое	Зенкирование	Зенкирование	Сверление вальце черновое	Зенкирование вальце черновое	Сверление вальце черновое	Зенкирование вальце черновое	Сверление вальце черновое	Развертывание	получистовое
30...50	Сверление по лучистовое	Зенкирование	Зенкирование	Сверление вальце черновое	Зенкирование вальце черновое	Сверление вальце черновое	Зенкирование вальце черновое	Сверление вальце черновое	Развертывание	получистовое

		Квалитеты точности	
Диаметр обраба- тываемого от- верстия, $D$ , мм	8		7
		Шероховатость $R_a$ , мкм	
	2,5	1,25	0,6
4...18	Сверление, Зенкерование получистовое	Развер- тывание	Сверление, Развертывание получистовое
18...30	Сверление, Зенкерова- ние получистовое, Зенк- рование чистовое, Раз- вертывание получистовое	Сверление, Зенкрово- ание получистовое, Раз- вертывание получистовое	Сверление, Зенкерование получистовое, Зенкрово- ание чистовое, Разверты- вание получистовое, Раз- вертывание чистовое
30...50	Сверление, Рассверлива- ние, Зенкерование полу- чистовое, Зенкерование чистовое, Зенкерование получистовое	Сверление, Рассверлива- ние, Зенкерование полу- чистовое, Развертывание чистовое, Развертывание получистовое	Сверление, Рассверлива- ние, Зенкерование полу- чистовое, Зенкерование получистовое, Развертывание получистовое, Разверты- вание чистовое

## II. Глубина резания при зенкеровании и развертывании

Диаметр отверстия $D$ , мм, до	Выполняемый переход					
	Зенкерование			Развертывание		
	черновое	получис- товое	чистовое	черновое	получис- товое	чистовое
Глубина резания $t$ , мм						
6	—	0,44	—	0,18	0,09	—
10	—	0,46	—	0,20	0,10	—
12	1,15	0,48	—	0,21	0,10	—
16	1,44	0,70	0,41	0,23	0,10	0,06
30	2,34	0,74	0,43	0,24	0,10	0,06
50	3,48	0,79	0,48	0,26	0,10	0,07

Поправочные коэффициенты на глубину резания в зависимости от последовательности переходов маршрута обработки

Предшествующий переход	Выполняемый переход					
	Зенкерование		Развертывание			
	получис- товое	чистовое	черновое	получис- товое	чистовое	
Коэффициент $K_t$						
Сверление	1,1	1,75	2,45	4,5	—	—
Рассверливание	1,09	—	—	—	—	—
Зенкero- вание	черновое	1,0	1,55	—	—	—
	получистовое	—	1,0	1,6	2,4	—
	чистовое	—	—	1,0	2,8	—
Разверты- вание	черновое	—	—	—	1,0	—
	получистовое	—	—	—	—	1,0

**НОРМАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО РЕЖИМАМ РЕЗАНИЯ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ**

**1. Механические свойства конструкционных углеродистых  
и легированных сталей**

Группа сталей	Марка	В состоянии поставки		После термической обработки	
		Вид обработки	<i>HВ</i>	Вид обработки	$\sigma_b$ , МПа
Углеродистая обыкновенного качества ( $C \leq 0,6$ )	Ст. 0	Г	1500		
	Ст. 1	Г	1500		
	Ст. 2	Г	1400—1600		
	Ст. 4	Г	1600—1850		
	Ст. 5	Г	1800—2100		
	Ст. 6	Г	2000—2350		
Углеродистая качественная ( $C \leq 0,6$ )	0,8	Г	1310	Н	300
	10	Г	1370	Н	340
	15	Г	1430	Н	380
	20	Г	1560	Н	420
	25	Г	1700	Н	460
	30	Г	1790	Н	500
	35	Г	1870	Н	540
	40	Г(ГО)	2170(1870)	Н	580
	45	Г(ГО)	2410(1970)	Н	610
	50	Г(ГО)	2410(2070)	Н	640
	55	Г(ГО)	2550(2170)	Н	660
60	Г(ГО)	2550(2290)	Н	990	
Автоматная	A12	Г(X)	1600(2170)		
	A20	Г(X)	1680(2170)		
	A30	Г(X)	1850(2230)		
	A40Г	Г	2070		
Никелевая	40Х				
	45Н				
	50Н				

## Продолжение прил. 4

Группа сталей	Марка	В состоянии поставки		После термической обработки	
		Вид обработки	<i>HV</i>	Вид обработки	$\sigma_b$ , МПа
Хромоникелевая	20ХН	ОП	1970	30	800
	40ХН	ОП	2170	30	1000
	45ХН	ОП	2070	30	1050
	50ХН	ОП	2070	30	1100
	13Н2ХА	ОП	2070	30	600
	12ХН2	ОП	2070	30	800
	12ХН3А	ОП	2170	30	950
	12Х2Н4А	ОП	2690	30	1150
	20ХН3А	ОП	2410	30	950
	20Х2Н4А	ОП	2690	30	1300
	30ХН3А	ОП	2410	30	1000
Хромистая	15Х	ОП	1790	30	700
	15ХА	ОП	1790	30	600
	15ХР	ОП	1870	30	750
	15ХРА	ОП	1870	30	750
	20Х	ОП	1790	30	800
	30Х	ОП	1870	30	900
	30ХРА	ОП	2410	30	1600
	35Х	ОП	1970	30	950
	35ХРА	ОП	2170	30	950
	38ХА	ОП	2070	30	950
	40Х	ОП	2170	30	1000
	40ХР	ОП	2290	30	1000
	45Х	ОП	2290	30	850
	45ХЦ	ОП	2170	30	850
	50Х	ОП	2290	30	900
Марганцовистая	10Г2	ОП	1970	3	430
	35Г2	ОП	2070	3	630
	40Г2	ОП	2170	3	670
	50Г2	ОП	2290	3	750
	15Г	Г	1630	Н	420
	20Г	Г	1970	Н	460
	25Г	Г	2070	Н	500
	30Г	Г(ГО)	2170(1870)	Н	550
	35Г	Г(ГО)	2290(1970)	Н	570
	40Г	Г(ГО)	2290(2070)	Н	600



Группа сталей	Марка	В состоянии поставки		После термической обработки	
		Вид обработки	НВ	Вид обработки	$\sigma_b$ , МПа
Марганцовистая	45Г	Г(ГО)	2410(2170)	Н	630
	60Г	Г(ГО)	2690(2290)	Н	710
	65Г	Г(ГО)	2850(2290)	Н	750
	70Г	Г(ГО)	2850(2290)	Н	800
Хромоникелевольфрамовая, хромоникселемолбденная	30ХНВА	ОП	2410	30	1000
	38ХНВА	ОП	2690	30	1100
	40ХНВА	ОП	2690	30	1000—1100
	30Х2НВА	ОП	2690	30	1000—1200
	30ХНЗВА	ОП	2690	30	1100
	18Х2Н4ВА	ОП	2690	30	1150
	25Х2Н4ВА	ОП		30	1100
40ХНМА	ОП	2690	30	1000—1100	
Хромолибденная, хромовольфрамовая, хромованадиевая, никселемолбденная, хромоникселемолбденная, хромоалюминиевая	15ХМ	ОП	1790	30	450
	30ХМ	ОП	2290	30	950
	30ХМА	ОП	2290	30	950
	35ХМ	ОП	2410	30	1000
	38ХВА	ОП	2290	30	1000
	15ХФ	ОП	1870	30	750
	20ХФ	ОП	1970	30	800
	40ХФА	ОП	2410	30	900
	25НМ	ОП	1970	30	850
	20ХМ	ОП			
	30ХН2ВФА	ОП	2690	30	900
	30Х2НВФА	ОП	2690	30	1050
	38ХНЗВФА	ОП	2690	30	1200
	20ХН4ФА	ОП	2690	30	900
	38НЗМФА			30	1200
	38ХЮ	ОП	2290	30	900
	38МЮА	ОП	2290	30	1000
38ХВФЮ	ОП	2290	30	1000	
38ХВФЮА	ОП	2290	30	1000	
	18ХГ	ОП	1870	30	900
	18ХГТ	ОП	2170	30	1000
	20ХГР	ОП	1970	30	1000
	30ХГТ	ОП	2290	30	1500

Группа сталей	Марка	В состоянии поставки		После термической обработки		
		Вид обработки	НВ	Вид обработки	σ, МПа	
Хромомарганцевая, хромокремнистая, кремнемарганцевая, хромомарганцево-никелевая, хромо-кремненикелевая	40ХГ	ОП	2290	30	1000	
	40ХГР	ОП	2410	30	1000	
	35ХГ2	ОП	2290	30	850	
	33ХС	ОП	2410	30	900	
	38ХС	ОП	2550	30	950	
	40ХС	ОП	2550	30	1250	
	27СГ	ОП	2170	30	1000	
	35СГ	ОП	2290	30	900	
	36Г2С	ОП	2290	30	750	
	20ХГСА	ОП	2070	30	800	
	25ХГСА	ОП	2170	30	1100	
	30ХГС	ОП	2290	30	1100	
	30ХГСА	ОП	2290	30	1100	
	30ХГСНА	ОП	2550	30	1650	
	35ХГСА	ОП	2410	30	1650	
	15ХГНТ	ОП	2690	30	950	
	15ХГНТА	ОП	2690	30	950	
	15Х2ГН2Т	ОП	2690	30	1000	
	15Х2ГН2ТА	ОП	2690	30	1000	
	15Х2ГН2ТРА	ОП	2690	30	1050	
	18ХГН	ОП	2250	30	850	
	20ХГНР	ОП				1300
	25Х2ГНТА	ОП	2690	30	1500	
	30ХГНА	ОП	2290	30	1100	
	30ХГН	ОП	2290	30	900	
	30Х2ГН2	ОП	2550	30	1500	
	16ХСН	ОП	1970			
	18ХСНРА	ОП	1970	30	1300	

Условные обозначения: Х — холоднокатаная; Г — горячекатаная; ГО — горячекатаная отожженная; Н — нормализованная; З — закаленная; 30 — закаленная и отпущенная; ОП — отожженная или отпущенная. Модуль упругости  $E$  для углеродистых сталей составляет 200000—220000, для легированных 210000—220000 МПа.

### II. Значение коэффициентов и показателей степени в формулах для крутящего момента и осевой силы

Вид обработки	Материал инструмента	Крутящий момент, Н·м				Осевая сила, Н			
		$C_M$	$x_M$	$y_M$	$z_M$	$C_P$	$x_P$	$y_P$	$z_P$
Сверление	Быстрорежущая сталь P18	0,345	0	0,8	2,0	680	0	0,7	1,0
	Твердый сплав	0,616	0	1,0	2,0	510	0	0,8	1,4
Расверливание	Быстрорежущая сталь P18	0,90	0,9	0,8	1,0	378	1,3	0,7	0
	Твердый сплав	0,765	0,8	0,95	0,75	—	—	—	—
Зенкование	Быстрорежущая сталь	1,05	0,74	0,75	1,0	35	0,95	0,7	0,5
	Твердый сплав T15K6	9,43	0,8	0,95	0,75	—	—	—	—
Развертывание	Быстрорежущая сталь	0,88	0,64	0,85	1,15	80	1,0	0,7	0,7
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—	—	—

### III. Поправочные коэффициенты на крутящий момент и осевую силу

1. Механические свойства обрабатываемого материала	$K_{M P} = K_{M M} = \left( \frac{\sigma_s}{750} \right)^{0.75}$				
2. Форма заточки	обозначение формы	Н	ДП НП	ДПЛ НПЛ	ДП
	на крутящий момент $K_{\Phi M}$	1,00	1,0		1,0
	на осевую силу $K_{\Phi P}$	1,33	1,0		—
3. Глубина обрабатываемого отверстия	Величина в диаметрах $K_{l M}$	3D	5D	7D	10D
		1,0	1,09	1,2	1,26
4. Величина износа инструмента	Состояние		острое	затупленное	
	На крутящий момент $K_{h M}$		0,87	1,0	
	На осевую силу $K_{h P}$		0,90	1,0	

**IV. Значения коэффициентов и показателей степени в формулах для скорости резания**

Вид обработки	Условия обработки		$C_v$	$x_v$	$y_v$	$z_v$	$m$
	материал инструмента	$s$ , мм/об, и др.					
Сверление	Быстрорежущая сталь	$s \leq 0,2$	8,9	0	0,7	0,4	0,2
		$s > 0,2$	12,4		0,5		
	Твердый сплав	$s \leq 0,12$	15,4	0	0,3	0,6	0,25
		$s > 0,12$	10	0	0,5	0,6	
Разверливание	Быстрорежущая сталь	—	20,7	0,2	0,5	0,4	0,2
	Твердый сплав	—	13,86	0,2	0,3	0,6	0,25
Зенкерование	Быстрорежущая сталь	—	16,3	0,2	0,5	0,3	0,3
		Незакаленные стали	18	0,2	0,3	0,6	0,25
	Твердый сплав	Закаленные стали $\sigma_s = 1600-1800$ МПа $HRC = 49-54$	10	0,3	0,6	0,6	0,15
		—	—	—	—	—	—
Развертывание	Быстрорежущая сталь	—	10,5	0,2	0,65	0,3	0,4
		Незакаленные стали	100	0	0,65	0,3	0,7
	Твердый сплав	Закаленные стали $\sigma_s = 1600-1800$ МПа $HRC = 49-54$	14	0,75	1,06	0,4	0,85
		—	—	—	—	—	—

**V. Поправочные коэффициенты на скорость резания для измененных условий работы**

1. Форма заточки	Обозначение формы	ДП		ЖДП		Н	
	Коэффициент $K_{r_v}$	1,0				0,87	
2. Глубина обрабатываемого отверстия	Размер в диаметрах	3D	4D	5D	6D	8D	10D
	Коэффициент $K_{r_v}$	1,0	0,85	0,75	0,70	0,60	0,5

3. Марка инструментального материала	Марка	стали				твердого сплава								
		P9K5 P10K5Ф5	P18	9ХС	У10А	свер-ла BK8	зенке-ры T15K6	развер-тки T5K10						
	Коэффициент $K_{Mz}$	1,15	1,0	0,6	0,5	0,9	1,0	0,65						
4. Состояние обрабатываемого материала	Состояние стали	прокат		термообработка										
		холодно-тянутый	горяче-катаный	нормализация	отжиг	улучшение								
	Коэффициент $K_{c\sigma}$	1,1	1,0	0,95	0,9	0,8								
5. Марка, механические свойства обрабатываемого материала	$K_{Mz} = \left( \frac{750}{\sigma_a} \right)^{0,9}$													
6. Наличие охлаждения	Коэффициент $K_{o\sigma}$	Инструмент	с охлаждением		без охлаждения									
		сверла зенкеры развертки	1,0		0,77—0,7 0,91—0,86									
7. Величина допустимого износа	Диаметр сверла, мм													
	10—12		13—18		19—25		26—30							
	Величина износа, мм													
	0,2	0,3	0,4	0,25	0,35	0,45	0,6	0,3	0,5	0,7	1,0	0,4	0,6	0,9
Коэффициент														
0,81	0,92	1,0	0,78	0,85	0,92	1,0	0,7	0,81	0,92	1,0	0,7	0,8	0,9	1,0
8. Конструкция инструмента (зенкера, развертки)	Инструменты	цельные			насадные									
	Коэффициент $K_{K\sigma}$	1,0			0,9									

**НОРМАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО РЕЖИМАМ РЕЗАНИЯ  
ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ  
(КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ, ЖАРСТОЙКИХ  
И ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ)**

**I. Механические свойства труднообрабатываемых материалов**

Группа сталей (сплавов)	Марка	Термообработка	$\sigma_b$ , МПа	$K_{M,1}$	$K_{M,II}$	$K_{\sigma}$
Теплостойкие	34XНЗМ	О	600	0,85		1,8
	34XНЗМФ	3О	$\geq 900$	0,85		1,2
	20XЗМВФ (ЭИ415, ЭИ579)	3О	$\geq 900$	1,1		1,2
	X6CM (ЭСX6M)	О	$\geq 650$			1,8
Коррозионно-стойкие, нержавеющие	12X13 (1X13)	3О	$\geq 600$	0,96		1,4
	25X13Н2 (ЭИ474)	О	700—1000	0		1,4
	1X12Н2ВМФ (ЭИ961)	3О	900	1,1		1,3
	1X12ВНМФ (ЭИ802, ЭИ952)	3О	750			
	20X13 (2X13)	3О	$\geq 700$	1,09		1,3
	30X13 (3X13)	3О	$\geq 850$	1,27	1,25	1,2
	40X13 (4X13)	НО	950	1,27	1,25	1,0
	14X17Н2 (1X17Н2, ЭИ268)	3О	1100	1,26	1,25	1,0
	09X16Н4Б (ЭП56)	3О	1000—1300	1,12—1,4	1,25	1,1—0,6
	20X15НЗМА (ДИ1)					
	07X16Н6 (X16Н6, ЭИ288)	НО	$\geq 1100$			1,0
	23X13НВМФА (ЭП65)	О, 3О	$> 850 > 1550$	1,1—1,8	1,6	1,2—0,5
	ЭП311 (ВНС-6)	3О	1750			0,3
Коррозионно-стойкие и жаростойкие	1X18Н9Т (X18Н9Т, ЭЯ1Т)	3	$> 550$	1,0	1,0	1,0
	12X18Н10Т (X18Н10Т)					
	20X23Н18 (X23Н18, ЭИ417)	3		1,48		1,0
	X15Н5Д2Т (ЭП410, ЭП225, ВНС-2)	3	1000	1,12		—
	12X21Н5Т (1X21Н5Т, ЭИ811)	3	$> 700$	1,12		0,85
	X15Н9Ю (ЭИ904)	3	$850 > 1100$	1,14		0,9
X17Н5МЗ (ЭИ925, СНЗ)	Н	$> 1000$	1,17		0,9	

Группа сталей (сплавов)	Марка	Термообработка	$\sigma_b$ , МПа	$K_{MP}$	$K_{MM}$	$K_{M\sigma}$
Жаростойкие, жаропрочные	45X14H14B2M (4X14H14B2M, ЭИ69)	ЗС	>700	1,06	—	0,80
	13X14HВФРА (ЭИ736)		—	1,22	—	—
	08X15H24B4TP. (ЭП164)	С	—	1,26	1,25	0,6
	ЭИ395	ЗС	>800	—	—	0,60
	07X21Г7АН5 (ЭП222)	З	1000	1,28	1,25	0,60
	12X25H16Г7АР (ЭИ835)	ЗС	>800	1,27	1,25	0,60
	37X12H8Г8МФБ (4X12H8Г8МФБ, ЭИ481)	ЗС	>900	1,27	1,25	0,60
	10X11H20ТЗР (ЭИ696, X12H20ТЗР, ЭИ696H)	ЗС	>900	1,20	—	0,4
	10X11H23ТЗР (ЭИ696М, ЭП33)		>900	1,10	1,1	0,45
	15X18H12C4TЮ (ЭИ654)	З	700—750	1,08	1,1	0,45
0X14H28B3T3ЮР (ЭИ786)	ЗО	900	1,2	—	0,40	
Сплавы на никелевой основе	36HXTЮ (ЭИ702)	ЗС	1200	1,45	1,75	1,1
	XH60B (BЖ98, ЭИ868)	З	800	—	—	—
	XH77TЮ (ЭИ437A)		—	1,45	1,75	—
	XH77TЮР (ЭИ437Б)	ЗС	1000	1,45	1,75	1,0
	XH35BTЮ (ЭИ787)	ЗС	>950	1,45	1,75	1,0
	ЭП99	З	1150—1300	1,36	—	0,75
	XH56BMТЮ (ЭП199)	З	900	1,45	1,75	0,63
	XH67BMТЮ (ЭП201), (ЭП202)	ЗС	>1000	1,45	1,75	0,62
	XH75MBЮ (ЭИ827)	ЗС	>1000	1,45	1,75	0,61
	XH62MBKЮ (ЭИ867)	ЗС	1250	1,45	1,75	0,47
	XH60MBТЮ (ЭП487)	ЗС	1150	1,45	1,75	0,55
ЭИ698ВД	ЗС	1150	1,6	—	0,55	
XH82TЮМБ (ЭП460)	ЗС	1350	1,65	1,9	0,5	
Литейные стали	ВЖ36-Л2	ЗС	800	1,31	1,56	0,36
	АНВ-300	ЗС	850	1,31	1,56	—
	ВЖЛ14	ЗС	810—850	1,31	1,56	0,2
	ЖС6К	ЗС	1000	1,31	1,56	0,31
	ЖСЗДК	ЗС	1000	1,31	1,56	0,2
	XH67BMТЮ.Л (ЭП202Л)	ЗС	750	1,31	1,56	0,53

Условные обозначения: О — отжиг; ЗО — закалка и отпуск; Н — нормализация; НО — нормализация и отпуск; С — старение, ЗС — закалка и старение. Модуль упругости  $E = 180000-210000$  МПа.

**II. Значения коэффициентов и показателей степени в формулах для крутящего момента и осевой силы**

Вид обработки	Материал	Крутящий момент				Осевая сила			
		$C_M$	$x_M$	$y_M$	$z_M$	$C_P$	$x_P$	$y_P$	$z_P$
Сверление	Быстрорежущая сталь	0,52	0	0,8	1,9	1100	0	0,7	1,0
	Твердый сплав	0,875	0	0,8	1,9	1600	0	0,7	1,0
Расверливание	Быстрорежущая сталь	—	—	—	—	—	—	—	—
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—	—	—
Зенкерование	Быстрорежущая сталь	—	—	—	—	—	—	—	—
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—	—	—
Развертывание	Быстрорежущая сталь	—	—	—	—	—	—	—	—
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—	—	—

**III. Поправочные коэффициенты на крутящий момент и осевую силу**

1. Механические свойства обрабатываемого материала	$K_{M, M}$ и $K_{M, P}$ см. в разд. I «Механические свойства труднообрабатываемых материалов»				
2. Форма заточки инструмента	Обозначение формы	H	ДП, ДПЛ, НП, НПЛ	ЖДП	
	$K_{ф, M}$	1,0	1,0	—	
	$K_{ф, P}$	1,33	1,0	—	
3. Глубина обрабатываемого отверстия	Величина в диаметрах	3 D	5 D	7 D	10 D
	$K_{г, M}$	1,0	1,09	1,2	1,26
4. Величина износа инструмента	Состояние инструмента		острый	затупленный	
	$K_{и, M}$		0,85	1,0	
	$K_{и, P}$		0,90	1,0	



**IV. Значения коэффициентов и показателей степени в формулах для скорости резания**

Вид обработки	Материал инструмента	$C_v'$	$x_v$	$y_v$	$z_v$	$m$
Сверление	Быстрорежущая сталь	0,8	0	0,85	0,75	0,25
	Твердый сплав	0,091	0	1,1	1,9	0,5
Рассверливание	Быстрорежущая сталь	3,5	0,05	0,6	0,51	0,32
	Твердый сплав	—	—	—	—	—
Зенкерование	Быстрорежущая сталь	8,7	0,1	0,54	0,34	0,34
	Твердый сплав	—	—	—	—	—
Развертывание	Быстрорежущая сталь	4,69	0,16	0,64	0,33	0,47
	Твердый сплав	—	—	—	—	—

**V. Поправочные коэффициенты на скорость резания для измененных условий работы**

1. Марка (физико-механические свойства) обрабатываемого материала	$K_{M_v}$ , см в разд. I «Механические свойства труднообрабатываемых материалов»						
2. Марка инструментального материала	Твердый сплав	ВК60М	ВК6М	ВК8	ВК10М	ВК15М	
	$K_{M_v}$	1,25	1,13	1,0	0,9	0,7	
	Быстрорежущая сталь	P18	P9K5	P6M5	P6M3	P9M4K8	
	$K_{T_v}$	0,87	1,0	0,94	0,91	1,1	
3. Конструкция (зенкера, развертки)	Инструменты	цельные		сборные			
	$K_{K_v}$	1,0		0,9			
4. Форма заточки	Обозначение формы	Н	ДП; ДПЛ; НП; НПЛ		ЖДП		
	$K_{Ф_v}$	0,87	1,0		—		
5. Глубина обрабатываемого отверстия	Величина диаметра	3 D	4 D	5 D	6 D	8 D	10 D
	$K_{D_v}$	1,0	0,97	0,93	0,9	0,85	0,8
6. Наличие охлаждения	$K_{O_v}$	с охлаждением			без охлаждения		
		0,1			0,7 ÷ 0,75		

**НОРМАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО РЕЖИМАМ РЕЗАНИЯ  
ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

**I. Механические свойства титановых сплавов  
в отожженном состоянии**

Марка сплава	$\sigma_{0.2}$ , МПа	Поправочные коэффициенты	
		$K_{MM} = K_{MP}$	$K_{Mz}$
BT1	450—600	0,92	2,00
BT2	—	1,09	1,26
BT3	950—1150	1,01	0,96
BT3—1	950—1200	1,00	1,0
OT4	700—950	1,10	1,86
BT5	700—950	0,89	1,47
BT6	900—1000	0,83	1,10
BT8	1050—1200	0,92	1,41
BT9	—	0,95	1,41
BT14	900—1100	0,8	1,06
BT15	—	1,1	1,2
BT20	—	0,7	2,0
BT22	1120—1200	1,3	1,06

Модуль упругости  $E = 105000—120000$  МПа.

**II. Значения коэффициентов и показателей степени в формулах  
для крутящего момента и осевой силы**

Вид обработки	Материал инструмента	Крутящий момент				Осевая сила			
		$C_M$	$x_M$	$y_M$	$z_M$	$C_P$	$x_P$	$y_P$	$z_P$
Сверление	Быстрорежущая сталь	0,5	0	0,9	1,85	1275	0	0,9	1,0
	Твердый сплав	0,575	0	0,9	1,85	1450	0	0,9	1,0
Рассверливание	Быстрорежущая сталь	—	—	—	—	—	—	—	—
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—	—	—
Зенкерование	Быстрорежущая сталь	1,9	0,81	0,8	1,0	112,5	0,9	0,65	0,71
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—	—	—
Развертывание	Быстрорежущая сталь	2,2	0,9	0,77	1,3	225	0,95	0,9	0,64
	Твердый сплав	4,25	0,9	1,2	1,3	500	0,95	0,9	0,64

### III. Поправочные коэффициенты на крутящий момент и осевую силу

1. Механические свойства (марка) обрабатываемого материала	$K_{МД} = K_{МР}$ — см. в разделе 1				
	«Механические свойства титановых сплавов»				
2. Форма заточки	Обозначение формы	Н	ДП, НП,	ДПЛ, НПЛ	ЖДП
	$K_{ФД}$	1,0		1,0	—
	$K_{ФР}$	1,33		1,0	—
3. Глубина обрабатываемого отверстия	Величина в диаметрах	3D	5D	7D	10D
	$K_{ГД}$	1,0	1,09	1,2	1,26
4. Величина износа инструмента	Состояние инструмента	острый		затупленный	
	$K_{ВД}$	0,85		1,0	
	$K_{ВР}$	0,90		1,0	

### IV. Значения коэффициентов и показателей степени в формулах для скорости резания

Вид обработки	Условия обработки		$C_v$	$x_v$	$y_v$	$z_v$	$m$
	Материал инструмента	Режим и др.					
Сверление	Быстрорежущая сталь	$D \leq 16$	0,23	0	0,75	1,7	0,5
		$D > 16$	6,5	0	0,75	0,55	
	Твердый сплав	$D \leq 16$	0,22	0	0,8	2,1	0,62
		$D > 16$	8,73	0	0,8	0,7	
Рассверливание	Быстрорежущая сталь	—	—	—	—	—	—
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—
Зенкерование	Быстрорежущая сталь	$t < 1$	8	0,75	0,8	0,4	0,5
		$t > 1$		0,4			
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	
Развертывание	Быстрорежущая сталь	$t < 0,15$	13	0,2	0,4	0,3	0,26
	Твердый сплав	$t < 0,2$	33	0,36	0,67	0,3	0,48

**V. Поправочные коэффициенты на скорость резания  
для измененных условий работы**

1. Форма заточки	Обозначение формы	ДП	Н	ЖДП		
	Коэффициент $K_{Фз}$	1,0	0,87	—		
2. Глубина обрабатываемого отверстия	Величина в диаметрах	3D	4D	5D	6D	8D   10D
	Коэффициент $K_{Iz}$	1,0	0,85	0,75	0,70	0,60   0,5
3. Марка инструментального материала	Твердый сплав	ВК60М	ВК6М	ВК8	ВК10М	ВК15М
	$K_{Из}$	1,25	1,15	1,0	0,9	0,7
	Быстрорежущая сталь	P18	P9K5	P6M5	P6M3	P9M4K8
	$K_{Из}$	0,87	1,0	0,94	0,91	1,1
4. Состояние обрабатываемого материала	Состояние	закаленное	отожженное	закаленное и состаренное		
	$K_{сз}$	1,2	1,0	0,8		
5. Механические свойства (марка) обрабатываемого материала	$K_{Мз}$ — см. разд. 1 «Механические свойства титановых сплавов»					
6. Наличие охлаждения	$K_{оз}$	с охлаждением		без охлаждения		
		1,0		0,8		
7. Конструкция инструмента (зенкера, развертки)	Инструменты	цельные		сборные		
	$K_{кз}$	1,0		0,9		

## НОРМАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО РЕЖИМАМ РЕЗАНИЯ МЕДНЫХ, АЛЮМИНИЕВЫХ И МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

### I. Механические свойства медных сплавов

Группа сплавов	Марка	НВ*	
Гетерогенные высокой твердости	Бр. АЖН11—6—6	2500	
	Бр. АЖН10—4—2Л	1700	
средней твердости	Бр. АЖи10—3—1,5	1200	
	Бр. АЖ9—4	1100—1800	
	Бр. АМц9—2Л	800	
	ЛМцЖ52—4—1	1000	
	Бр. ОС10—2	750	
	ЛА67—2,5	900	
	ЛК80—3Л	1000—1100	
Бр. ОФ10—1	800—900		
Свинцовистые при основной гетерогенной структуре	Бр. ОСН10—2—3	750	
	Бр. ОС10—10	550	
	ЛК80—33	900—1000	
	ЛМцС58—22	700—800	
	ЛМцОС58—2—2—2	900—1000	
Гомогенные	Бр. КМц3—1	700—900 1700—1900	
	Бр. А5	550—650 1900—2100	
	Бр. А7	650—750 2000—2200	
	Бр. ОФ6,5—0,4	700—900 1600—2000	
	Бр. ОЦ4—3	500—700 1500—1700	
	Бр. КН1—3	800—1000 1500—2000	
	С содержанием свинца 10% при гомогенной структуре	Бр. ОЦС6—6—3	600—750
		Бр. ОЦС4—4—2,5	500—700 1500—1700
	Медь	М3, М4	350

Продолжение прил. 7

Группа сплавов	Марка	НВ*
С содержанием свинца > 15 %	Бр. ОЦС4—4—17	600
	Бр. ОС30	250
	Бр. ОС5—25	500

\* Для деформируемых бронз в числителе приведена твердость для мягкого состояния, в знаменателе — для твердого состояния.  
Модуль упругости  $E = 80000-90000$  МПа.

#### Механические свойства алюминиевых и магниевых сплавов

Группа сплавов	Марка	Состояние	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа
Упрочняемые термической обработкой	Д16	З	400—420
	АК8	ЗС	440—460
	Д6	З	400—420
	Д1	З	380—360
	АК6	ЗС	360
	АВ	ЗС	300
Неупрочняемые	АМГ	О	230
	АМц	ЗС	170
	АД1	О	110
Высокопрочные алюминиевые	АМг6	О	325
	Д18Т	—	300
	Д18М	—	160
	В65	—	400
	В95	—	520
	ВД17	—	440
	Д19	З	440
	Д19	Нагартован	540
	Д20	—	400
	Д21	—	320
Литейные алюминиевые	АЛ2	Для различных способов литья и термообработки	150—160
	АЛ4		150—240
	АЛ5		160—200
	АЛ8		280
	АЛ9		160—200
	ВЛ—11—3		180—250
	АЛ19		300—340

Группа сплавов	Марка	Состояние	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа
Магниевые	МА1	Г	230
	МА8	Г	280
	ВМ65—1	ГС	320
Магниевые литейные	МЛ5	О	150—230
	МЛ—7—1	О	160
	МЛ—11	О	120

Условные обозначения: З—закаленные и естественно состаренные; ЗС—закаленные и искусственно состаренные; О—отожженные; Г—горячепрессованные; ГС—горячепрессованные и искусственно состаренные.

Модуль упругости для алюминиевых сплавов  $E = 70000—90000$  МПа; для магниевых сплавов  $E = 80000—90000$  МПа.

## II. Значения коэффициентов и показателей степени в формулах крутящего момента и осевой силы

Вид обработки	Материал инструмента	Крутящий момент				Осевая сила			
		$C_M$	$x_M$	$y_M$	$z_M$	$C_P$	$x_P$	$y_P$	$z_P$
Сверление	Быстрорежущая сталь	0,12	0	0,8	2,0	315	0	0,8	1,0
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—	—	—
Расверливание	Быстрорежущая сталь	—	—	—	—	—	—	—	—
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—	—	—
Зенкерование	Быстрорежущая сталь	—	—	—	—	—	—	—	—
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—	—	—
Развертывание	Быстрорежущая сталь	—	—	—	—	—	—	—	—
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—	—	—

III. Поправочные коэффициенты на крутящий момент и осевую силу

1. Форма заточки	Обозначение формы		Н	ДП, ДПЛ, НПЛ	НП,	ЖДП		
	$K_{ФМ}$		1,0	1,0		—		
	$K_{ФР}$		1,33	1,0		—		
2. Величина износа инструмента	Состояние инструмента		острый		затупленный			
	$K_{ИМ}$		0,85		1,0			
	$K_{ИР}$		0,9		1,0			
3. Глубина обрабатываемого отверстия	Величина в диаметрах		$3D$	$5D$	$7D$	$10D$		
	$K_{ГМ}$		1,0	1,09	1,2	1,26		
4. Механические свойства и группа обрабатываемого материала	Медные сплавы	Группа сплавов	Гетерогенные	Свинцовистые при основной гетерогенной структуре	Гомогенные	С содержанием свинца 10% при основной гомогенной структуре	Мель	С содержанием свинца 15%
		$K_{ИМ} = K_{ИР}$	1,0	0,62	1,8—2,2	0,65—0,7	1,7—2,1	0,25—0,45
	Алюминиевые сплавы	$\sigma_n$	$\leq 250$		250—300		350—500	
		$K_{ИМ} = K_{ИР}$	0,66		0,82		1,0	



**IV. Значения коэффициентов и показателей степени  
в формулах для скорости резания**

Вид обработки	Условия обработки		$C'_v$	$x_v$	$y_v$	$z_v$	$m$
	Материал инструмента	Режим					
Сверление	Быстрорежущая сталь	$s \leq 0,3$ мм/об	28,1	0	0,55	0,25	0,125
		$s > 0,3$ мм/об	32,6		0,4		
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—
Рассверливание	Быстрорежущая сталь	—	—	—	—	—	—
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—
Зенкерование	Быстрорежущая сталь	—	—	—	—	—	—
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—
Развертывание	Быстрорежущая сталь	—	—	—	—	—	—
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—

**V. Поправочные коэффициенты на скорость резания  
для измененных условий работы**

1. Форма заточки инструмента	Обозначение формы	ДП		Н		ЖДП	
	$K_{Ф_1}$	1,0		0,84		1,05	
2. Глубина обрабатываемого отверстия	Величина в диаметрах	3D	4D	5D	6D	8D	10D
	$K_{Г_2}$	1,0	0,85	0,75	0,7	0,6	0,5
3. Марка инструментального материала	Марка	P9K5 P10K5Ф5		P18	9XC	Y10A Y12A	
	$K_{И_3}$	1,15		1,0	0,6	0,5	
4. Наличие охлаждения	$K_{О_4}$	с охлаждением			без охлаждения		
		1,0			0,78		

5. Механические свойства и группа обрабатываемого материала	Медные сплавы							
	Группа сплавов	Гетерогенные		Свинцовистые при основной гетерогенной структуре	Гомогенные	С содержанием свинца 10% при основной гомогенной структуре	Медь	С содержанием свинца 15%
		высокой твердости	средней твердости					
	$K_{M_7}$	0,7	1,0	1,7	2,0	4,0	8,0	12,0
	Алюминиевые сплавы							
$\sigma_s, \text{H/mm}^2$	$\leq 250$		250 — 350		350 — 500			
$K_{M_7}$			1,5		1,26		1,0	

## Приложение 8

НОРМАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО РЕЖИМАМ РЕЗАНИЯ  
СЕРЫХ И КОВКИХ ЧУГУНОВ

## I. Механические свойства серого и ковкого чугуна

Чугун серый		Чугун ковкий	
Марка	Твердость, HB	Марка	Твердость, HB
СЧ00	Не контролир.	КЧ30-6	1630
СЧ12-28	1430—2290	КЧ38-8	1490
СЧ15-32	1630—2290	КЧ35-10	1490
СЧ18-36	1700—2290	КЧ37-12	1490
СЧ21-40	1700—2410	КЧ30-2	2010
СЧ24-44	1700—2410	КЧ35-4	2010
СЧ28-48	1700—2410	КЧ40-3	2010
СЧ35-56	1970—2690	ПФКЧ40-2	1630—2290
СЧ38-60	2070—2690	ПФКЧ40-5	1630—2290
		ПФКЧ50-3	1630—2290

Модуль упругости  $E = 90000\text{—}160000$  МПа.

В марке серого чугуна число за буквами указывает предел прочности при изгибе  $\sigma_{и}$ , кгс/мм<sup>2</sup>, второе число — предел прочности при растяжении  $\sigma_s$ , кгс/мм<sup>2</sup>. В марке ковкого чугуна первое число — предел прочности при растяжении  $\sigma_s$ , кгс/мм<sup>2</sup>, второе — относительное удлинение  $\delta$ , %.

II. Значения коэффициентов и показателей степени  
в формулах для крутящего момента и осевой силы

Вид обработки	Материал инструмента	Крутящий момент				Осевая сила			
		$C_M$	$x_M$	$y_M$	$z_M$	$C_P$	$x_P$	$y_P$	$z_P$
Сверление	Быстрорежущая сталь	0,21	0	0,8	2,0	427	0	0,8	1,0
	Твердый сплав	0,12	0	0,8	2,2	420	0	0,75	1,2
Рассверливание	Быстрорежущая сталь	0,85	0,75	0,8	1,0	235	1,2	0,4	0
	Твердый сплав	1,7	0,8	0,7	0,85	—	—	—	—
Зенкерование	Быстрорежущая сталь	0,72	0,74	0,7	1,0	20	1,0	0,55	0,65
	Твердый сплав	1,96	0,8	0,7	0,85	—	—	—	—
Развертывание	Быстрорежущая сталь	0,23	0,74	0,79	1,42	100	0,88	0,4	0,61
	Твердый сплав	—	—	—	—	—	—	—	—

III. Поправочные коэффициенты на крутящий момент  
и осевую силу

1. Механические свойства (марка) обрабатываемого материала	Коэффициент на крутящий момент $K_{MM} = K_{MP}$	Серый чугун		Ковкий чугун	
		$\left(\frac{HB}{1900}\right)^{0,6}$		$0,87 \left(\frac{HB}{1500}\right)^{0,6}$	
2. Форма заточки	Обозначение формы	H	ДП, ДПЛ, НП, НПЛ	ЖДП	
	$K_{FM}$	1,0	1,0	1,0	
	$K_{FP}$	1,33	1,0	0,66	
3. Глубина обрабатываемого отверстия	Величина в диаметрах	3D	5D	7D	10D
	$K_{IM}$	1,0	1,09	1,2	1,26
4. Величина износа инструмента	Состояние инструмента	острый		затупленный	
	$K_{IM}$	0,85		1,0	
	$K_{IP}$	0,85		1,0	

**IV. Значения коэффициентов и показателей степени  
в формулах для скорости резания**

Вид обработки	Условия обработки		$C_v$	$x_v$	$y_v$	$z_v$	$m$
	Материал инструмента	Режим и др.					
Сверление	Быстрорежущая сталь	$s \leq 0,3$ мм/об	10,5	0	0,55	0,25	0,125
		$s > 0,3$ мм/об	12,5	0	0,4	0,25	
	Твердый сплав	—	43	0	0,5	0,5	0,4
Рассверливание	Быстрорежущая сталь	—	16,7	0,1	0,4	0,25	0,125
	Твердый сплав	—	57	0,15	0,45	0,5	0,4
Зенкерование	Быстрорежущая сталь	—	18,8	0,1	0,4	0,2	0,125
	Твердый сплав	—	105	0,15	0,45	0,4	0,4
Развертывание	Быстрорежущая сталь	—	15,6	0,1	0,5	0,2	0,3
	Твердый сплав	—	11	0,1	0,5	0,2	0,45

**V. Поправочные коэффициенты на скорость резания  
для измененных условий работы**

1. Форма заточки	Обозначение формы	П			ДП		ЖДП
	$K_{\phi_z}$	0,84			1,0		1,05
2. Глубина обрабатываемого отверстия	Величина в диаметрах	3D	4D	5D	6D	8D	10D
		$K_{l_z}$	1,0	0,85	0,75	0,7	0,60
3. Марка инструментального материала	М а р к а	Стали			Твердые сплавы		
		Р9К5	Р18	9ХС	ВК8		
	$K_{m_z}$	1,2	1,0	0,6	1,0		
4. Механические свойства (марка) обрабатываемого материала	Материал	чугун серый			чугун ковкий		
	$K_{m_z}$	$\left(\frac{1900}{\text{HB}}\right)^{1,3}$			1,46 $\left(\frac{1500}{\text{HB}}\right)^{1,3}$		

## Окончание прил. 8

5. Наличие охлаждения	$K_{O_v}$	материал	с охлаждением	без охлаждения
		серый чугун	В18—1,3—1,4	1,0
		ковкий чугун	1,0	0,8
6. Конструкция инструмента (зенкера, развертки)	Инструменты	цельные	сборные	
	$K_{K_v}$	1,0	0,9	

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лепилин В. И., Зайцев В. М. Расчет наимыгоднейшего режима резания авиационных материалов /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1980.
2. Лепилин В. И., Зайцев В. М. Режимы резания авиационных материалов при точении (Методика расчета) /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1988.
3. Лепилин В. И., Зайцев В. М. Режимы резания авиационных материалов при точении (Исходные и нормативные материалы) /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1988.
4. Лепилин В. И., Зайцев В. М. Режимы резания авиационных материалов при точении (Способы и примеры расчета) /Куйбышев. авиац. ин-т. Куйбышев, 1988.
5. ЦБПНТ. Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на сверлильных станках. Крупносерийное и массовое производство. М.: Машгиз, 1959.
6. ЦБПНТ. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч. I. Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, строгальные, долбежные и фрезерные станки. М.: Машиностроение, 1974.
7. ЦБНТ. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Ч. II. Нормативы режимов резания. М.: Экономика, 1990.
8. Обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов /Н. И. Резников, Е. В. Бурмистров, И. Г. Жарков. М.: Машиностроение, 1972.
9. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник /Я. Л. Гуревич, М. В. Горохов, В. И. Захаров и др. М.: Машиностроение, 1976.
10. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник /Я. Л. Гуревич, М. В. Горохов, В. И. Захаров и др. М.: Машиностроение, 1986.
11. Ординарцев И. А. Справочник инструментальщика. Л.: Машиностроение, 1987.
12. ВНИИ инструмент. Металлорежущий инструмент. Каталог. Ч. 5. Инструмент для обработки отверстий. Сверла. М.: ВНИИТЭМР, 1988.
13. ВНИИ инструмент. Металлорежущий инструмент: Каталог. Ч. 6. Инструмент для обработки отверстий. Зенкеры, зенковки и развертки. М.: ВНИИТЭМР, 1988.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Методика расчета наивыгоднейшего режима резания	5
1.1. Наивыгоднейший режим резания	5
1.2. Порядок и методика выбора элементов режима резания	8
1.3. Проверка выбранного режима резания по крутящему моменту или мощности на шпинделе станка	10
1.4. Основное технологическое (машинное) время обработки	13
1.5. Коэффициенты использования режущих свойств инструмента и загрузки станка по мощности	13
2. Методика расчета режимов резания для сверления, зенкерования и развертывания	14
2.1. Выбор конструкции и геометрии инструмента	14
2.2. Выбор глубины резания	15
2.3. Выбор подачи	16
2.4. Выбор скорости резания (скоростной ступени станка)	22
2.5. Проверка выбранного режима резания по мощности на шпинделе станка	24
2.6. Основное технологическое (машинное) время обработки отверстия	24
2.7. Коэффициенты использования режущих свойств инструмента и загрузки станка по мощности	25
3. Пример расчета режима резания при сверлении	25
3.1. Выбор сверла, его основных размеров и геометрии	26
3.2. Выбор глубины резания	27
3.3. Выбор подачи	27
3.4. Выбор скорости резания (скоростной ступени станка)	28
3.5. Проверка выбранного режима резания по мощности на шпинделе станка	29
3.6. Основное технологическое (машинное) время	30
3.7. Коэффициенты использования режущих свойств инструмента и загрузки станка по мощности	30
Приложение 1. Паспортные данные некоторых сверлильных станков	31
Приложение 2. Инструментальные материалы, основные размеры и геометрия инструментов	33
Приложение 3. Рекомендации по выбору глубины резания	51
Приложение 4. Нормативные материалы по режимам резания конструкционных углеродистых и легированных сталей	54

Приложение 5. Нормативные материалы по режимам резания труднообрабатываемых материалов (коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов)	61
Приложение 6. Нормативные материалы по режимам резания титановых сплавов	65
Приложение 7. Нормативные материалы по режимам резания медных, алюминиевых и магниевых сплавов	68
Приложение 8. Нормативные материалы по режимам резания серых и ковких чугунов	73
Приложение 9. Чертеж сверла (вкладка)	77
Библиографический список	77



**Лепилин Василий Иванович**

**РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПРИ СВЕРЛЕНИИ, ЗЕНКЕРОВАНИИ И РАЗВЕРТЫВАНИИ**

Редактор Т. К. Кретьнина  
Техн. редактор Г. А. Усачева  
Корректор Т. И. Щелокова

Лицензия ЛР № 020301 от 28.11.91 г.

Сдано в набор 4.11.92 г. Подписано в печать 15.12.93 г.  
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.  
Гарнитура литературная Печать высокая.  
Усл. печ. л. 4,65 + 0,47 вкл. Усл. кр.-отт. 5,24. Уч.-изд. л. 5,2.  
Тираж 1500 экз. Заказ 512. Арт. С—12/93.

Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С. П. Королева  
443086. Самара, Московское шоссе, 34.

---

Тип. ИПО Самарского аэрокосмического университета  
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18

