

1. КИНЕМАТИКА ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ И СЕЧЕНИЕ СРЕЗА ПРИ РАБОТЕ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

1.1. Обозначения

В рисунках, пояснительном тексте, задачах, заданиях и решениях гл. 1 использованы обозначения, приведенные в табл. 1.1.

1.1. Обозначения и размерности некоторых величин

Наименование величины		Обозначение	Размерность
Толщина среза		a	мм
Ширина среза		b	
Диаметр	инструмента	D	
	обрабатываемой поверхности	D_o	
	обработанной поверхности	d	
Длина обработки		L	
Глубина резания		t	
Ширина фрезерования		B	
Частота вращения заготовки (инструмента)		n	об/мин
Подача на один оборот заготовки (инструмента)		s_o	мм/об
Число режущих лезвий (зубьев) инструмента		z	–
Угол подъема винтового зуба инструмента		ω	град.
Угол в плане режущего лезвия	главный	φ	
	вспомогательный	φ_1	

1.2. Элементы теории

Кинематика процесса резания изучает виды и количественные характеристики движений, присущих этому процессу.

Вне зависимости от вида процесса резания необходимо обеспечить перемещение режущих кромок инструмента относительно заготовки со скоростью главного движения v и скоростью подачи v_s .

Главное движение D_r может быть вращательным или поступательным и может придаваться заготовке или инструменту. Движение подачи D_s , также придаваемое инструменту или заготовке, может обеспечиваться кинематически или за счет особенностей конструкции многолезвийного инструмента.

Если главное движение вращательное, то его скорость в некоторой точке M главной режущей кромки инструмента

$$v_m = \frac{\pi d_m n}{1000}, \text{ м/мин}, \quad (1.1)$$

где d_m – диаметр поверхности резания, проходящий через точку M , мм.

Под скоростью резания понимают наибольшую из скоростей v_m , достигаемых при данной схеме обработки, например, при точении

$$v = \frac{\pi D_o n}{1000}, \text{ м/мин}, \quad (1.2)$$

а при фрезеровании и обработке отверстий осевым инструментом

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/мин}. \quad (1.3)$$

Скорость движения подачи при вращательном главном движении

$$v_s = n s_o, \text{ мм/мин}. \quad (1.4)$$

При работе многолезвийным инструментом подача на одно режущее лезвие (подача на зуб)

$$s_z = \frac{s_o}{z}, \text{ мм/зуб}. \quad (1.5)$$

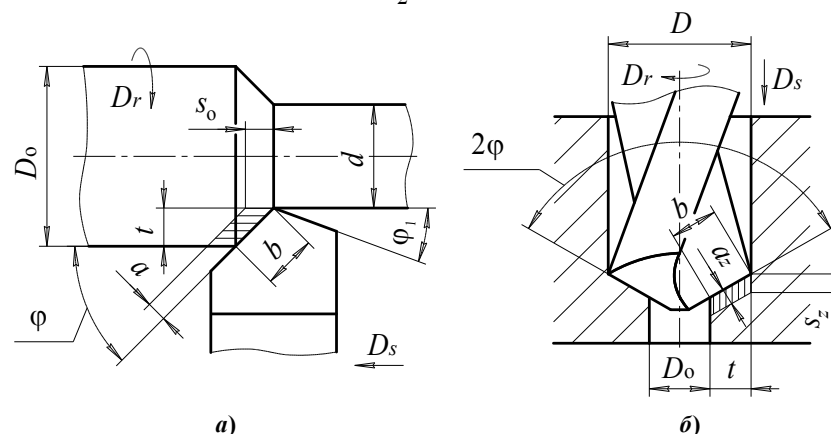


Рис. 1.1. Схемы процесса резания при продольном точении (а) и рассверливании (б)

Суммарное сечение срезаемого слоя (сечение среза), который снимается за один оборот заготовки или инструмента при точении (рис. 1.1, а) и обработке отверстий осевым инструментом,

$$f = s_o t = ab, \text{ мм}^2 \quad (1.6)$$

где

$$a = s_o \sin \varphi, \text{ мм}, \quad (1.7)$$

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}, \text{ мм}. \quad (1.8)$$

На один зуб многолезвийного осевого инструмента (рис. 1.1, б) приходится срез толщиной

$$a_z = s_z \sin \varphi, \text{ мм} \quad (1.9)$$

и сечение среза

$$f_z = s_z t = a_z b, \text{ мм}^2. \quad (1.10)$$

При цилиндрическом фрезеровании сечение среза переменнo во времени и зависит от количества режущих лезвий, одновременно участвующих в работе,

$$q = \left[\frac{z}{\pi} \sqrt{\frac{t}{D}} + 1 \right]. \quad (1.11)$$

Мгновенная толщина среза, приходящаяся на зуб цилиндрической фрезы,

$$a_{zi} = s_z \sin \mu_i, \quad (1.12)$$

где μ_i – текущий угол поворота i -го зуба фрезы, отсчитываемый от точки входа зуба в обрабатываемый материал (рис. 1.2).

Полный угол контакта отдельного зуба фрезы с заготовкой, при котором мгновенная толщина среза достигает наибольшего значения $a_{z \max}$,

$$\tau = \frac{360}{\pi} \sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (1.13)$$

Суммарное мгновенное сечение среза при цилиндрическом фрезеровании прямозубой фрезой

$$f_{\mu} = B s_z \sum_{i=1}^q \sin \mu_i, \quad \text{мм}^2. \quad (1.14)$$

Постоянство сечения среза при цилиндрическом фрезеровании (равномерность фрезерования) можно обеспечить только при работе фрезой с винтовым зубом и только в случае выполнения условия

$$\frac{B}{t_{\text{oc}}} = k \quad (k \in \mathbf{N}), \quad (1.15)$$

где осевой шаг зубьев фрезы

$$t_{\text{oc}} = t_{\text{окр}} \text{ctg} \omega, \quad \text{мм}, \quad (1.16)$$

а окружной шаг зубьев

$$t_{\text{окр}} = \frac{\pi D}{z}, \quad \text{мм}. \quad (1.17)$$

Суммарное сечение среза при равномерном фрезеровании

$$f = k \frac{s_z t}{\sin \omega}, \quad \text{мм}^2. \quad (1.18)$$

На практике условие равномерности используют при проектировании операций фрезерования, подбирая целочисленные значения k и m_3 (m_3 – количество одновременно обрабатываемых заготовок) таким образом, чтобы

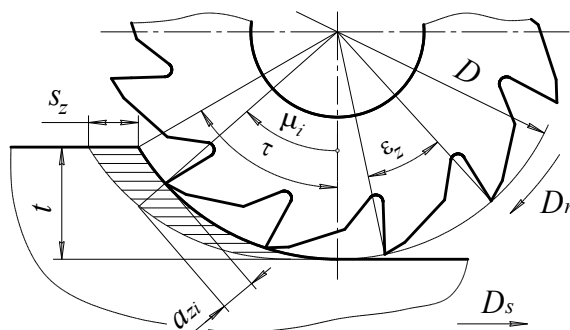


Рис. 1.2. Схема процесса резания при цилиндрическом фрезеровании

$$\left. \begin{aligned} kt_{\text{oc}} &\approx m_3 H, \\ kt_{\text{oc}} &< B_{\phi}, \end{aligned} \right\} \quad (1.19)$$

где H – ширина заготовки, мм; B_{ϕ} – ширина фрезы, мм.

Производительность процесса резания определяется объемом среза, снимаемым в единицу времени, и при точении и обработке отверстий осевым инструментом описывается выражением

$$P = t s_0 v, \quad \text{см}^3/\text{мин}, \quad (1.20)$$

а при фрезеровании выражением

$$P = t s_0 v \frac{B}{\pi D}, \quad \text{см}^3/\text{мин}. \quad (1.21)$$

Машинное время обработки

$$\tau_m = \frac{L + y_1 + y_2}{v_s}, \quad \text{мин}, \quad (1.22)$$

где y_1 и y_2 – величины врезания и перебега (табл. 1.2).

1.2. Теоретические значения врезания и перебега при обработке резанием

Вид обработки резанием	Врезание y_1 , мм	Перебег y_2 , мм
Точение «напроход», полная подрезка торца	$t \text{ctg} \varphi$	$t \text{ctg} \varphi_1$
Другие виды точения, сверление, зенкерование, развертывание		0
Фрезерование цилиндрическое	$\sqrt{Dt - t^2}$	

1.3. Примеры решения задач

Задача 1а. Заготовку диаметром 60 мм обтачивают резцом с круглой пластиной, диаметр которой 16 мм. Производительность процесса резания 75,4 см³/мин, а скорость подачи резца 100 мм/мин.

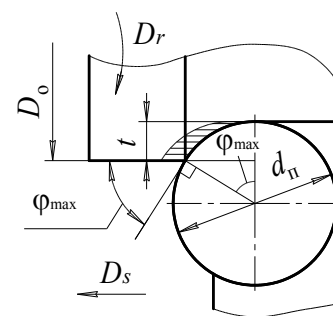


Рис. 1.3. К задаче 1а

Какой наибольший главный угол в плане возникает на режущей кромке инструмента при выполнении этой операции?

Решение.

Наибольший главный угол в плане φ_{\max} возникает в той точке режущей кромки, которая обрабатывает наружный диаметр заготовки (рис. 1.3).

Из геометрических соображений

$$\cos \varphi_{\max} = \frac{0,5d_n - t}{0,5d_n} = 1 - \frac{2t}{d_n}. \quad (1.23)$$

Как видно из (1.23), для вычисления φ_{\max} необходимо знать глубину резания. Из всех исходных данных, приведенных в задаче, величина t входит только в производительность процесса резания.

Из формулы (1.20) находим, что

$$t = \frac{\Pi}{s_0 v}, \text{ мм.} \quad (1.24)$$

С учетом (1.2) формула (1.24) принимает вид

$$t = \frac{1000}{\pi} \cdot \frac{\Pi}{D_0 n s_0}, \text{ мм,}$$

а с учетом (1.4)

$$t = \frac{1000}{\pi} \cdot \frac{\Pi}{v_s D_0}, \text{ мм.} \quad (1.25)$$

Подставляя (1.25) в (1.23), окончательно получаем

$$\varphi_{\max} = \arccos \left(1 - \frac{2000}{\pi} \cdot \frac{\Pi}{v_s D_0 d_{\Pi}} \right). \quad (1.26)$$

Расчет по формуле (1.26) показывает, что $\varphi_{\max} = 60^\circ$.

Задача 1б. Цилиндрическая фреза, окружной шаг зубьев которой 15 мм, работает с глубиной резания 10 мм.

При каком наибольшем диаметре фрезы в работе будет одновременно находиться два ее зуба?

Решение.

Если в работе одновременно находится два зуба фрезы, значит $q \in [2; 3)$.

Тогда в соответствии с (1.11)

$$2 \leq \frac{z}{\pi} \sqrt{\frac{t}{D}} + 1 < 3,$$

откуда

$$\pi \sqrt{\frac{D}{t}} \leq z < 2\pi \sqrt{\frac{D}{t}}. \quad (1.27)$$

Выразив из (1.17) число зубьев

$$z = \frac{\pi D}{t_{\text{окр}}} \quad (1.28)$$

и подставив в неравенство (1.27), после элементарных преобразований имеем

$$\frac{t_{\text{окр}}^2}{t} \leq D < \frac{4t_{\text{окр}}^2}{t}. \quad (1.29)$$

Поскольку по условиям задачи необходимо найти наибольший диаметр фрезы, ограничимся правой частью двойного неравенства (1.29). Подставив в нее исходные данные, получаем условие $D < 90$ мм.

Проверкой с помощью выражения (1.28) обнаруживаем, что при $D = 90$ и $t = 15$ фреза не имеет целого числа зубьев ($z = 18,85$), а это недопустимо.

Взяв ближайшее целое число зубьев $z = 18$ (но не $z = 19$, т.к. в этом случае будет нарушено условие $D < 90$), пересчитываем диаметр фрезы при помощи еще одной модификации формулы (1.17)

$$D = \frac{z t_{\text{окр}}}{\pi}, \text{ мм}$$

и приходим к результату $D = 86$ мм.

Задача 1в. В сплошном материале сверлят отверстие глубиной 126 мм со скоростью резания 42,4 м/мин и скоростью подачи 90 мм/мин.

Каково машинное время операции, если угол заборного конуса сверла 118° , а суммарное сечение среза при сверлении составляет 3 мм²?

Решение.

Машинное время, в соответствии с формулой (1.19) и табл. 1.2,

$$\tau_m = \frac{L + t \operatorname{ctg} \varphi}{v_s}, \text{ мин.} \quad (1.30)$$

В зависимости (1.30) нам известны величины v_s , L и $\varphi = 59^\circ$, но не известна глубина резания, которая при сверлении отверстия в сплошном материале равна $t = D/2$.

Найдем диаметр сверла по заданным в условии задачи сечению среза, скорости резания и скорости подачи.

Из формулы (1.6) можем получить, что

$$s_0 = \frac{f}{t} = \frac{2f}{D}, \text{ мм/об,} \quad (1.31)$$

а из формулы (1.4) с учетом (1.31), что

$$n = \frac{v_s}{s_0} = \frac{v_s D}{2f}, \text{ об/мин.}$$

Подставляя значение частоты вращения сверла в формулу (1.3), имеем

$$v = \frac{\pi}{2000} \cdot \frac{v_s}{f} D^2, \text{ м/мин,}$$

откуда

$$D = 10 \sqrt{\frac{20}{\pi} \cdot \frac{v}{v_s} f}, \text{ мм.} \quad (1.32)$$

Вычислив с помощью (1.32) глубину резания t и подставив ее в (1.30), приходим к выражению

$$\tau_m = \frac{1}{v_s} \left(L + 5 \operatorname{ctg} \varphi \sqrt{\frac{20}{\pi} \cdot \frac{v}{v_s} f} \right), \text{ мин,}$$

с помощью которого находим, что $\tau_m = 1,5$ мин.

1.4. Задачи

1.01 Проходной токарный резец работает с подачей 0,6 мм/об и снимает срез шириной 5 мм и сечением 2 мм².

Чему равен главный угол в плане резца?

1.02 Проходной токарный резец оснащен пятигранной пластиной из твердого сплава и работает с подачей 1 мм/об. Сечение среза при точении составляет 2,3 мм², а ширина среза 3 мм.

Какой вспомогательный угол в плане имеет резец?

1.03 При продольном точении цилиндрической заготовки диаметром 63 мм ширина среза составляет 11 мм, а толщина среза 0,36 мм.

Какова скорость подачи резца, если его главный угол в плане 55°, а скорость главного движения у вершины инструмента 55 м/мин?

1.04 При продольном точении цилиндрической заготовки диаметром 60 мм производительность процесса резания составляет 113,1 см³/мин.

Какова скорость подачи инструмента, если скорость главного движения у вершины резца на 10% меньше, чем скорость резания?

1.05 Разверткой, имеющей 12 зубьев, обрабатывают отверстие диаметром 25 мм с подачей 0,05 мм/зуб и скоростью резания 36 м/мин.

Какова скорость подачи инструмента?

1.06 Трехзубый зенкер диаметром 24 мм работает с подачей 0,12 мм/зуб.

Какова скорость подачи инструмента, если скорость резания при зенкерования составляет 40 м/мин?

1.07 Скорость резания при зенкерования отверстия диаметром 40 мм составляет 37 м/мин, а скорость подачи 204 мм/мин. Зенкер имеет 4 зуба и угол заборного конуса 120°.

Какая толщина среза приходится на каждый зуб зенкера?

1.08 При зенкерования отверстия диаметром 24 мм скорость резания составляет 40 м/мин, а скорость подачи инструмента 225 мм/мин.

Сколько зубьев имеет зенкер, если толщина среза, приходящаяся на один его зуб, равна 0,1 мм, а угол заборного конуса зенкера 90°?

1.09 Скорость резания при сверлении отверстия диаметром 12 мм равна 23 м/мин, а скорость подачи 305 мм/мин.

Какое сечение среза приходится на каждую кромку сверла?

1.10 При сверлении отверстия диаметром 16 мм суммарное сечение среза составляет 2,4 мм², а скорость подачи сверла 191 мм/мин.

Какова скорость резания на этой операции?

1.11 При сверлении отверстия диаметром 20 мм на каждую из режущих кромок сверла приходится срез толщиной 0,2 мм.

Какова скорость резания на этой операции, если скорость подачи инструмента 294 мм/мин, а угол заборного конуса сверла 120°?

1.12 При рассверливании отверстия диаметром 6 мм до диаметра 18 мм на каждую из режущих кромок сверла приходится срез толщиной 0,14 мм и шириной 7 мм.

Какова скорость подачи сверла, если скорость резания 36 м/мин?

1.13 Производительность процесса резания при сверлении 71 см³/мин, а скорость подачи инструмента 113 мм/мин.

Чему равен диаметр сверла?

1.14 Цилиндрическая фреза диаметром 106 мм имеет 10 зубьев и работает со скоростью резания 33,3 м/мин.

Какова скорость подачи фрезы, если ее подача на зуб составляет 0,2 мм?

1.15 Цилиндрическая фреза с двенадцатью винтовыми зубьями, угол подъема которых 31°, а осевой шаг 25 мм, вращается с частотой 250 об/мин.

Какова скорость резания при работе этой фрезой?

1.16 Цилиндрическая фреза, окружной шаг которой 16 мм, работает со скоростью резания 40 м/мин и подачей 0,1 мм/зуб.

Какова скорость подачи фрезы?

1.17 Производительность процесса резания при цилиндрическом фрезеровании составляет 63 см³/мин, скорость подачи инструмента 120 мм/мин, а ширина фрезерования 75 мм.

Какова глубина резания на этой операции?

1.18 Скорость подачи цилиндрической фрезы 136 м/мин, ширина фрезерования 100 мм, а угол контакта инструмента с заготовкой 27°.

Чему равен диаметр фрезы, если производительность процесса резания при ее работе составляет 68 см³/мин?

1.19 Глубина резания при обработке заготовки цилиндрической фрезой диаметром 102 мм составляет 7 мм, скорость резания 34 м/мин, а наибольшая толщина среза на отдельном зубе 0,11 мм.

Какова скорость подачи фрезы, если угол между ее зубьями 30°?

1.20 Цилиндрическая фреза, имеющая 20 зубьев, работает с глубиной резания 8 мм и частотой вращения 120 об/мин.

Сколько зубьев фрезы работает одновременно, если скорость резания на этой операции 35 м/мин?

1.21 В каком интервале должно находиться число зубьев цилиндрической фрезы диаметром 80 мм, чтобы при фрезеровании с глубиной резания 5 мм в работе находилось одновременно два зуба?

1.22 Какое максимальное суммарное сечение среза будет сниматься в условиях задачи 1.21, если ширина фрезерования составляет 50 мм, подача инструмента 0,4 мм/зуб, а фреза имеет прямые зубья?

1.23 Цилиндрическая прямозубая фреза диаметром 100 мм имеет 20 зубьев и работает с глубиной резания 4 мм и подачей 0,2 мм/зуб при ширине фрезерования 21 мм.

Какое суммарное сечение среза снимает фреза в момент времени, когда ее очередной зуб выходит из контакта с заготовкой?

1.24 Цилиндрическая прямозубая фреза диаметром 82 мм, имеющая 15 зубьев, обрабатывает заготовку шириной 40 мм при скорости резания 40 м/мин, скорости подачи фрезы 317 мм/мин и глубине резания 10 мм.

Каково наибольшее суммарное сечение среза на этой операции?

1.25 Какое суммарное сечение среза снимается в условиях задачи 1.24 в момент времени, когда очередной зуб фрезы входит в контакт с заготовкой?

1.26 Цилиндрическая фреза диаметром 100 мм и шириной 160 мм имеет двенадцать винтовых зубьев с углом подъема 30° .

Сколько заготовок шириной 30 мм надо обрабатывать одновременно, чтобы фрезерование было равномерным?

1.27 Угол контакта цилиндрической фрезы с заготовкой составляет 32° , угол подъема винтовых зубьев 22° , а угол между зубьями 18° .

Какое минимальное число заготовок шириной 16 мм надо фрезеровать одновременно, чтобы при глубине резания 4 мм процесс было равномерным?

1.28 Обработка одной заготовки обеспечивает постоянство среза при работе цилиндрической фрезы диаметром 120 мм с винтовыми зубьями.

Какое минимальное количество заготовок следует собрать в комплект, чтобы сохранить равномерность фрезерования при замене инструмента на фрезу с таким же числом зубьев и углом их подъема, но диаметром 90 мм?

1.29 Цилиндрическая фреза диаметром 120 мм имеет 10 винтовых зубьев, которые обеспечивают равномерность фрезерования при одновременной обработке четырех заготовок шириной 58 мм.

Чему равен угол подъема зубьев, если известно, что он находится в диапазоне от 15° до 25° ?

1.30 Какое суммарное мгновенное сечение среза снимает фреза в условиях задачи 1.29, если она работает со скоростью резания 42 м/мин при скорости подачи 172 мм/мин и глубине резания 8 мм?

1.31 Цилиндрическую заготовку длиной 290 мм обтачивают «напроход» резцом с квадратной сменной пластиной. Главный угол резца в плане 60° , толщина среза 1,3 мм, частота вращения заготовки 200 об/мин.

Каково машинное время операции, если сечение среза при точении составляет $6,5 \text{ мм}^2$?

1.32 Цилиндрическую заготовку длиной 140 мм обтачивают «напроход» резцом с трехгранной сменной пластиной. Главный угол резца в плане 70° , подача 0,8 мм/об, а частота вращения заготовки 362 об/мин.

Какова глубина резания при точении, если машинное время операции составляет 30 секунд?

1.33 При подрезке торца диаметром 88 мм заготовка вращается с частотой 250 об/мин. Резец с трехгранной сменной пластиной работает с глубиной резания 5 мм, имеет главный угол в плане 70° и снимает срез сечением 2 мм^2 .

Каково машинное время операции?

1.34 Длина заготовки, обрабатываемой «напроход», ровно в 18 раз больше глубины резания, которая используется при продольном точении этой заготовки резцом с квадратной сменной пластиной.

На сколько процентов и в какую сторону изменится машинное время операции, если вместо первоначально настроенного главного угла в плане 45° применить угол 75° ?

1.35 Производительность процесса резания при проточке ступени длиной 21 мм и диаметром 71,8 мм на заготовке диаметром 80 мм составляет $123 \text{ см}^3/\text{мин}$, а ширина среза 5 мм.

Каково машинное время операции?

1.36 При продольном точении скорость подачи инструмента составляет 200 мм/мин, а машинное время 1,5 мин.

Каким станет машинное время этой операции, если увеличить длину обработки на 36 мм и одновременно повысить частоту вращения заготовки на 20%?

1.37 При сверлении отверстия диаметром 10 мм и глубиной 67 мм производительность процесса резания составляет $22 \text{ см}^3/\text{мин}$, а угол заборного конуса сверла 118° .

Каково машинное время операции?

1.38 При сверлении отверстия диаметром 20 мм и глубиной 64 мм с подачей 0,7 мм/об толщина среза, приходящаяся на каждую режущую кромку сверла, составляет 0,3 мм, а скорость резания 31,4 м/мин.

Каково машинное время операции?

1.39 Отверстие глубиной 24 мм и диаметром 6 мм рассверливают до диаметра 10 мм инструментом с углом заборного конуса 118° .

На сколько процентов возрастет машинное время операции, если при том же режиме резания увеличить глубину отверстия на 42%?

1.40 В пластмассовой заготовке при помощи двухшпиндельной сверлильной головки одновременно изготавливают отверстие диаметром 20 мм сверлом *A* с углом заборного конуса 110° и отверстие диаметром 18 мм сверлом *B* с углом заборного конуса 90° .

Насколько дальше от поверхности заготовки должна быть установлена вершина сверла *A* (по сравнению с вершиной сверла *B*), чтобы оба инструмента заканчивали рабочий ход одновременно?

1.41 Машинное время операции зенкерования отверстия диаметром 34 мм составляет 45 с. Угол заборного конуса инструмента 90° , его подача 0,2 мм/зуб, а скорость резания 23,5 м/мин.

Какова длина обрабатываемого отверстия, если глубина резания при зенкерование равна 1 мм, а зенкер имеет 3 зуба?

1.42 Развертка диаметром 30 мм имеет 12 зубьев и угол заборного конуса 18° . Скорость резания при развертывании сквозного отверстия глубиной 56 мм составляет 15 м/мин, глубина резания 0,2 мм, а подача 0,1 мм/зуб.

Каково машинное время операции?

1.43 Производительность процесса резания при развертывании отверстия диаметром 20 мм и длиной 100 мм составляет $3,17 \text{ см}^3/\text{мин}$.

Каков угол заборного конуса инструмента, если при глубине резания 0,25 мм машинное время операции 30 секунд?

1.44 При цилиндрическом фрезеровании глубина резания равна 10 мм, скорость резания 35 м/мин, а скорость подачи инструмента 147 мм/мин.

Каково машинное время обработки заготовки длиной 264 мм, если фреза имеет 12 зубьев и подачу 0,11 мм/зуб?

1.45 С заготовки длиной 75 мм снимают припуск 5 мм цилиндрической фрезой диаметром 130 мм.

В какую сторону и насколько (в процентах) изменится машинное время операции, если при той же скорости подачи инструмента применить фрезу диаметром 85 мм?