

2. ДЕФОРМАЦИИ И СИЛЫ ПРИ РЕЗАНИИ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

2.1. Обозначения

В рисунках, пояснительном тексте, задачах, заданиях и решениях гл. 2 использованы обозначения, приведенные в гл. 1 и табл. 2.1.

2.1. Обозначения и размерности некоторых величин

Наименование величины	Обозначение	Размерность
Средняя толщина стружки	a_1	мм
Средний диаметр хвостовика инструмента	\bar{d}	
Вылет инструмента	L_0	
Длина контактной площадки на передней/задней поверхности лезвия	l_1/l_2	Н
Сила, действующая по нормали к передней/задней поверхности лезвия	N_1/N_2	
Сила трения на передней/задней поверхности лезвия	F_1/F_2	МПа
Предел прочности обрабатываемого материала	σ_b	
Допускаемое напряжение изгиба	$[\sigma_{из}]$	град.
Передний угол лезвия	γ	
Главный задний угол лезвия	α	
Угол резания	δ	
К.п.д. привода главного движения	η	–
Конусность хвостовика инструмента	ρ	

2.2. Элементы теории

При фактически применяемых в машиностроении скоростях резания ширина зоны упруго-пластического деформирования, возникающей в процессе снятия стружки, настолько мала, что эту зону можно считать плоскостью P_Φ (рис.2.1), наклоненной к линии действия вектора скорости резания v под углом сдвига Φ :

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{\cos \gamma}{K_a - \sin \gamma}. \quad (2.1)$$

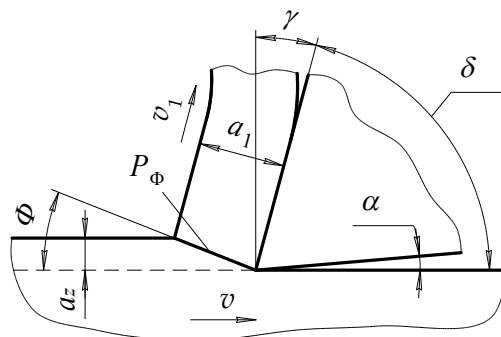


Рис. 2.1. Схема резания с единственной плоскостью сдвига

Здесь

$$K_a = \frac{a_1}{a_z} \quad (2.2)$$

– коэффициент утолщения стружки.

Средняя скорость схода стружки в условиях резания с единственной плоскостью сдвига

$$v_1 = \frac{v}{K_a}, \text{ м/мин}, \quad (2.3)$$

а максимальная относительная деформация (относительный сдвиг)

$$\varepsilon = \operatorname{ctg} \Phi + \operatorname{tg}(\Phi - \gamma). \quad (2.4)$$

Силу резания P (равнодействующую всех сил, приложенных к одному лезвию инструмента в процессе резания) принято раскладывать на три взаимно перпендикулярные составляющие:

– главную

$$P_z = N_1 \cos \gamma + F_1 \sin \gamma + F_2, \text{ Н}, \quad (2.5)$$

– осевую

$$P_x = P_N \sin \varphi, \text{ Н}, \quad (2.6)$$

– радиальную

$$P_y = P_N \cos \varphi, \text{ Н}, \quad (2.7)$$

где

$$P_N = F_1 \cos \gamma - N_1 \sin \gamma + N_2, \text{ Н}. \quad (2.8)$$

В целом ряде случаев удобно вместо сосредоточенных сил $N_{1,2}$ и $F_{1,2}$ использовать усредненные распределенные нагрузки на контактных площадках (т.н. удельные силы)

$$\left. \begin{aligned} n_{1,2} &= \frac{N_{1,2}}{bl_{1,2}}, \text{ МПа}; \\ f_{1,2} &= \frac{F_{1,2}}{bl_{1,2}}, \text{ МПа}. \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Теоретический анализ напряженного состояния в зоне резания показывает, что без учета сил, действующих на заднюю поверхность инструмента,

$$P_z \approx 0,9a_z b \sigma_b (\operatorname{ctg} \Phi + 1), \text{ Н}, \quad (2.10)$$

$$P_N \approx 0,9a_z b \sigma_b (\operatorname{ctg} \Phi - 1), \text{ Н}, \quad (2.11)$$

При фрезеровании, когда сечение среза, в общем случае, переменено во времени и зависит от угла μ_i поворота i -го участвующего в работе зуба фрезы (см. гл. 1), силу резания раскладывают на горизонтальную

$$P_H = \sum_{i=1}^q P_{zi} \cos \mu_i \pm \sum_{i=1}^q P_{Ni} \sin \mu_i, \text{ Н} \quad (2.12)$$

и вертикальную

$$P_V = \sum_{i=1}^q P_{zi} \sin \mu_i + \sum_{i=1}^q P_{Ni} \cos \mu_i, \text{ Н} \quad (2.13)$$

составляющие. В формулах (2.12) и (2.13) верхние знаки относятся к встречному, а нижние – к попутному фрезерованию; q – количество одновременно работающих зубьев; P_{zi} и P_{Ni} – главная и нормальная составляющие силы резания P_i , действующей на отдельный зуб.

При вращательном главном движении на осевой инструмент (сверло, зенкер, развертку) действует крутящий момент

$$M = \frac{D-t}{2000} z P_z, \text{ Н.м}, \quad (2.14)$$

а на цилиндрическую фрезу – момент

$$M = \frac{D}{2000} \sum_{i=1}^q P_{zi}, \text{ Н.м}. \quad (2.15)$$

Относительная неравномерность процесса резания при фрезеровании

$$\Delta M = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{M_{\max}} \cdot 100\% = \frac{M_{1\max}}{M_{\max}} \cdot 100\%, \quad (2.16)$$

где M_{\max} и M_{\min} – соответственно наибольший и наименьший крутящие моменты на фрезе; $M_{1\max}$ – наибольший момент на этой же фрезе в случае, если бы в работе находился всего один зуб инструмента.

Формулы для расчета сил при резании имеют широкое практическое применение.

При проектировании металлорежущих станков мощность электродвигателя привода главного движения выбирают из соотношения

$$W > \frac{W_3}{\eta}, \quad (2.17)$$

где эффективная мощность процесса резания

$$W_3 = \frac{P_z v}{60}, \text{ Вт} \quad (2.18)$$

или, при вращательном главном движении и многолезвийном инструменте,

$$W_3 = \frac{\pi}{30} M n, \text{ Вт}. \quad (2.19)$$

Тяговое усилие привода подачи выбирают из условия

$$P_T > P_x + \xi(P_y + P_z + G), \quad (2.20)$$

в котором ξ – коэффициент трения скольжения стола (суппорта) станка по направляющим, G – вес стола (суппорта), Н.

При расчете фрезерных станков условие (2.20) принимает вид

$$P_T > P_H + \xi(P_V + G). \quad (2.21)$$

При проектировании осевого инструмента выбор конического хвостовика производится из условия

$$M_{\text{тр}} > M, \quad (2.22)$$

в котором момент трения, возникающий на хвостовике,

$$M_{\text{тр}} \approx 6.10^{-5} P_{\text{oc}} \frac{\bar{d}}{\rho}, \text{ Н.м}. \quad (2.23)$$

В формуле (2.23) $P_{\text{oc}} = z P_x$ – осевая сила, действующая на инструмент, Н.

Если выполняется условие

$$\arctg \frac{P_N}{P_z} > \alpha, \quad (2.24)$$

то режущая пластина надежно прижимается к державке токарного резца силой резания и не требует дополнительного закрепления.

Токарный или строгальный резец с сечением державки $B_0 \times H_0$ (мм²) не сломается в месте его закрепления в резцедержателе (рис. 2.2), если будет выполнено условие

$$\frac{6L_0}{B_0 H_0^2} P_z \leq [\sigma_n]. \quad (2.25)$$

Расчет напряжений в других опасных сечениях инструмента (например, в сечении $B_1 \times H_1$, рис. 2.2) производится по той же формуле (2.25) с подстановкой в нее соответствующих размеров.

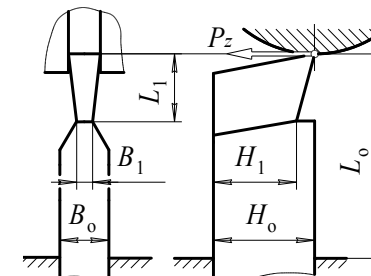


Рис. 2.2. К расчету прочности резца

2.3. Примеры решения задач

Задача 2а. Подача проходного резца равна 0,5 мм/об, главный угол в плане 50°, а угол резания 80°. Исследование корней стружек показало, что угол, под которым плоскость сдвига наклонена к вектору скорости резания, составляет 22°.

Какую среднюю толщину имеет стружка, снимаемая на этой операции?

Решение.

Теоретическое значение средней толщины стружки при работе однолезвийным инструментом ($a_z = a$) получим из формулы (2.2):

$$a_1 = a K_a, \text{ мм}$$

или, с учетом (1.7),

$$a_1 = S_0 K_a \sin \varphi, \text{ мм}. \quad (2.26)$$

Коэффициент утолщения стружки найдем, преобразуя зависимость (2.1):

$$K_a = \operatorname{ctg} \Phi \cos \gamma + \sin \gamma = \frac{\cos \Phi \cos \gamma + \sin \Phi \sin \gamma}{\sin \Phi} = \frac{\cos(\Phi - \gamma)}{\sin \Phi}. \quad (2.27)$$

Так как $\gamma = 90^\circ - \delta$ (см. рис. 2.1), выражение (2.27) приобретает вид

$$K_a = \frac{\sin(\Phi + \delta)}{\sin \Phi}. \quad (2.28)$$

Подставляя (2.28) в (2.26), окончательно имеем

$$a_1 = \frac{\sin(\Phi + \delta) \sin \varphi}{\sin \Phi} S_o, \text{ мм}. \quad (2.29)$$

Расчет по формуле (2.29) показывает, что при заданных в условии задачи величинах $a_1 = 1$ мм.

Задача 2б. Заготовку шириной 50 мм из легированной стали, предел прочности которой 610 МПа, обрабатывают цилиндрической фрезой диаметром 102 мм. Фреза имеет 20 прямых зубьев с передним углом 14° и работает в условиях встречного фрезерования со скоростью резания 32 м/мин, скоростью подачи 200 мм/мин и глубиной резания 7 мм. Измерения показали, что средний коэффициент утолщения стружки составляет 1,6.

Какую наибольшую суммарную силу резания можно ожидать на этой операции, если пренебречь силами, действующими на задние поверхности зубьев фрезы?

Решение.

Отдельный зуб фрезы представляет собой режущий клин, для которого (если не учитывать силы, действующие на заднюю поверхность) справедливы соотношения (2.10) и (2.11). Однако, в связи с переменностью толщины среза при фрезеровании, величина a в этих выражениях будет зависеть от угла μ_i поворота i -го работающего зуба фрезы (см. гл. 1) и должна рассчитываться по формуле (1.12).

Для поиска углов μ_i определим, сколько зубьев фрезы одновременно участвует в работе. Расчет по формуле (1.11) показывает, что $q = 2$.

Наибольшая суммарная сила резания возникает в момент времени, когда суммарное сечение среза на одновременно работающих зубьях фрезы достигает максимума, т.е. первый зуб находится на выходе из заготовки ($\mu_1 = \tau$). Используя формулу (1.13), получаем

$$\mu_1 = \frac{360}{\pi} \sqrt{\frac{t}{D}}. \quad (2.30)$$

Второй зуб будет отставать от первого на угол $\varepsilon_z = 360/z$, т.е.

$$\mu_2 = \tau - \varepsilon_z = \frac{360}{\pi} \left(\sqrt{\frac{t}{D}} - \frac{\pi}{z} \right). \quad (2.31)$$

Подачу на зуб найдем, последовательно используя выражения (1.5), (1.4) и (1.3):

$$S_z = \frac{S_o}{z} = \frac{v_s}{nz} = \frac{\pi}{1000} \cdot \frac{D}{z} \cdot \frac{v_s}{v}, \text{ мм/зуб}. \quad (2.32)$$

Теперь с помощью (2.10), (1.12), (2.31), (2.32) и (2.1), а также имея в виду, что при работе прямоугольной фрезы ширина среза равна ширине фрезерования, находим:

$$P_{z1} \approx 9 \cdot 10^{-4} \frac{\pi DB \sigma_b}{z} \cdot \frac{v_s}{v} \left(\frac{K_a - \sin \gamma}{\cos \gamma} + 1 \right) \sin \left(\frac{360}{\pi} \sqrt{\frac{t}{D}} \right); \quad (2.33)$$

$$P_{z2} \approx 9 \cdot 10^{-4} \frac{\pi DB \sigma_b}{z} \cdot \frac{v_s}{v} \left(\frac{K_a - \sin \gamma}{\cos \gamma} + 1 \right) \sin \left(\frac{360}{\pi} \left(\sqrt{\frac{t}{D}} - \frac{\pi}{z} \right) \right),$$

откуда $P_{z1} \approx 3300$ Н, $P_{z2} \approx 1370$ Н.

Преобразовав формулу (2.11) по аналогии с (2.33) и подставив в нее исходные данные, получим $P_{N1} \approx 550$ Н, $P_{N2} \approx 230$ Н.

Для расчета горизонтальной и вертикальной составляющих силы резания воспользуемся зависимостями (2.12) и (2.13), которые в нашем случае (встречное фрезерование и два одновременно работающих зуба, первый из которых находится на выходе из заготовки) принимают вид

$$P_H = P_{z1} \cos \tau + P_{z2} \cos(\tau - \varepsilon_z) + P_{N1} \sin \tau + P_{N2} \sin(\tau - \varepsilon_z);$$

$$P_V = P_{z1} \sin \tau + P_{z2} \sin(\tau - \varepsilon_z) - P_{N1} \cos \tau - P_{N2} \cos(\tau - \varepsilon_z),$$

откуда $P_H \approx 4520$ Н и $P_V \approx 1230$ Н.

Наибольшая суммарная сила резания, которую можно ожидать, если пренебречь силами, действующими на задние поверхности зубьев,

$$P = \sqrt{P_H^2 + P_V^2} \approx 4700 \text{ Н}.$$

Задача 2в. При сверлении отверстия в стальной заготовке экспериментально получены формулы для крутящего момента и осевой силы, действующих на инструмент, в виде $M = 0,345 D^2 S_o^{0,8}$, Н.м; $P_{oc} = 680 DS_o^{0,7}$, Н.

Производительность процесса резания составляет 164 см³/мин при частоте вращения сверла 200 об/мин.

Какой наименьший конус Морзе должен быть выполнен на хвостовике инструмента, чтобы он не провернулся в гнезде шпинделя станка при работе с суммарным сечением среза 8,7 мм²?

Решение.

Для выбора хвостовика инструмента потребуется воспользоваться приведенными в условии задачи эмпирическими формулами, в которые входят не заданные напрямую диаметр сверла и его подача.

Найдем эти величины.

Подставляя в выражение (1.20) соотношения (1.6) и (1.3), получаем

$$P = f \frac{\pi D n}{1000}, \text{ см}^3/\text{мин},$$

откуда

$$D = \frac{1000}{\pi} \cdot \frac{P}{nf}, \text{ мм}. \quad (2.34)$$

Из формулы (1.6), учитывая, что при сверлении $t = D/2$, получаем

$$S_o = \frac{2f}{D}, \text{ мм/об}$$

или, с учетом (2.34),

$$S_o = \frac{\pi}{500} \cdot \frac{nf^2}{P}, \text{ мм/об}. \quad (2.35)$$

Расчет по формулам (2.34) и (2.35) показывает, что при заданных в условии величинах диаметр сверла $D = 30$ мм, а его подача $S_o = 0,58$ мм/об.

Подставляя полученные значения D и S_o в формулы для крутящего момента и осевой силы, находим, что $M \approx 200$ Н.м и $P_{oc} \approx 13900$ Н.

Чтобы сверло не провернулось в гнезде шпинделя станка, должно выполняться условие (2.22), которое с учетом (2.23) принимает вид

$$6 \cdot 10^{-5} P_{oc} \frac{\bar{d}}{\rho} > M. \quad (2.36)$$

Из неравенства (2.36) следует, что

$$\frac{\bar{d}}{\rho} > \frac{10^5}{6} \cdot \frac{M}{P_{oc}}, \text{ мм}. \quad (2.37)$$

При рассчитанных выше значениях M и P_{oc} из выражения (2.36) получаем, что сверло не провернется при $(\bar{d}/\rho) > 240$ мм. В приложении (стр. 49) находим, что наименьший из конусов, соответствующих этому условию, – конус Морзе 2, у которого $(\bar{d}/\rho) = 324$ мм.

2.4. Задачи

2.01 Заготовку диаметром 100 мм обтачивают резцом с главным углом в плане 75° при скорости подачи инструмента 178 мм/мин.

Какова средняя скорость схода стружки на этой операции, если толщина стружки составляет 1 мм?

2.02 При точении заготовки диаметром 56 мм, которая вращается с частотой 250 об/мин, средняя толщина стружки составляет 0,9 мм.

С какой средней скоростью перемещается стружка вдоль передней поверхности инструмента, если резец имеет главный угол в плане 55° и работает с подачей 1 мм/об?

2.03 Производительность процесса резания при точении $270 \text{ см}^3/\text{мин}$, ширина среза 4 мм, а толщина стружки 1,5 мм.

Какова средняя скорость схода стружки на этой операции?

2.04 Сечение среза при продольном точении заготовки резцом с передним углом 18° и главным углом в плане 45° составляет 6 мм², а глубина резания 4 мм.

Какой максимальной величиной относительной деформации характеризуется этот процесс, если средняя толщина сходящей с резца стружки 2 мм?

2.05 Проходной токарный резец с трехгранной пластиной, расположенной так, что вспомогательный угол в плане равен 30° , работает с подачей 1 мм/об и снимает стружку толщиной 1,1 мм.

Какова наибольшая относительная деформация срезаемого на этой операции слоя материала, если передний угол резца 20° ?

2.06 При обточке заготовки угол сдвига составляет 19° , а коэффициент утолщения стружки 2,9.

Какой наибольшей относительной сдвиговой деформации характеризуется это процесс, если известно, что передний угол резца не равен нулю?

2.07 Сверло диаметром 40 мм работает со скоростью подачи 204 мм/мин. Измерения показали, что в процессе сверления стружка имеет среднюю толщину 0,5 мм и движется со средней скоростью 21 м/мин.

Какой угол заборного конуса имеет сверло?

2.08 Отверстие диаметром 15 мм обрабатывают сверлом с углом заборного конуса 106° при производительности процесса резания $270 \text{ см}^3/\text{мин}$ и средней толщине стружки 0,6 мм.

Какова средняя скорость схода стружки на этой операции?

2.09 При обработке заготовки резцом с передним углом 0° и главным углом в плане 55° экспериментально получено, что длина площадки контакта между стружкой и резцом 1,4 мм, а главная составляющая силы резания описывается зависимостью $P_z = 2340ba^{0,75}v^{-0,15}$, Н.

Какой будет удельная нормальная сила на передней поверхности инструмента при скорости резания 40 м/мин и подаче 0,8 мм/об, если пренебречь силами, действующими на его задней поверхности?

2.10 Какой будет удельная сила трения на передней поверхности резца в условиях задачи 2.09, если известно, что $P_y = 0,41P_z$?

2.11 При продольном точении заготовки глубина резания 5 мм, передний угол резца $(-8)^\circ$ и главный угол в плане 90° . На площадке контакта инструмента со стружкой удельная нормальная сила составляет 1400 МПа, а удельная сила трения 600 МПа. На площадке контакта по задней поверхности инструмента эти силы 650 и 610 МПа соответственно.

Какова сила резания на этой операции, если длина контактной площадки на передней поверхности резца 1,2 мм, а на задней поверхности 0,2 мм?

2.12 Сила резания при работе токарного резца 10 кН, а ее главная составляющая 8 кН. Передний угол резца 0° , ширина среза при точении 4 мм. На передней поверхности инструмента удельная нормальная сила 1000 МПа, а удельная сила трения 500 МПа.

Какова длина площадки контакта стружки с передней поверхностью резца, если известно, что удельная нормальная сила и удельная сила трения на его задней поверхности численно равны?

2.13 Главная, осевая и радиальная составляющие силы резания при точении 8700, 1800 и 2400 Н соответственно. На площадке контакта по задней поверхности инструмента удельная нормальная сила численно равна удельной силе трения и составляет 500 МПа. Передний угол резца 12° , ширина среза при точении 10 мм.

Какова длина площадки контакта на задней поверхности резца, если известно, что на его передней поверхности удельная нормальная сила в два раза больше удельной силы трения?

2.14 Удельная нормальная сила на передней поверхности проходного резца 1200 МПа, а на задней поверхности 400 МПа. Передний угол резца 0° , ширина среза при точении 6 мм, площадки контакта на передней и задней поверхностях инструмента имеют длины 1,1 и 0,2 мм соответственно.

Каковы удельные силы трения на поверхностях резца, если сила резания равна 9500 Н, а ее главная составляющая 8400 Н?

2.15 При сверлении отверстия диаметром 15 мм средняя длина площадки контакта лезвия инструмента со стружкой 1 мм, а удельная сила трения на этой площадке 400 МПа. Передний угол сверла в средней точке главной режущей кромки близок к нулю.

Какая осевая сила будет действовать на сверло в случае, когда силами на его задних поверхностях допустимо пренебречь?

2.16 Каким будет крутящий момент на сверле в условиях задачи 2.15, если угол его заборного конуса 120° , а удельная нормальная сила на передней поверхности отдельного лезвия 1170 МПа?

2.17 При точении стали, предел прочности которой 650 МПа, применяются резец с передним углом 10° , скорость резания 91 м/мин, подача 0,7 мм/об и глубина резания 6 мм.

Экспериментально получено, что главная составляющая силы резания описывается зависимостью $P_z = 40tS_0^{0,75}v^{-0,15}\delta^{0,95}$, Н, осевая и радиальная составляющие достигают соответственно 25 и 40% от P_z , а средний коэффициент утолщения стружки равен 2,1.

Насколько (в процентах) отличаются результаты расчета силы резания по эмпирическим соотношениям и по формулам, выведенным на основании анализа напряженного состояния в зоне резания?

2.18 Производительность процесса резания при точении стали, предел прочности которой 750 МПа, составляет $185 \text{ см}^3/\text{мин}$, а передний угол инструмента $(-10)^\circ$. Измерения показали, что осевая и радиальная составляющие силы резания равны 1,5 и 2 кН соответственно.

С какой скоростью перемещается стружка вдоль передней поверхности инструмента, если силами, действующими на его задней поверхности, можно пренебречь, а скорость резания на этой операции 40 м/мин?

2.19 Какая сила резания действует на инструмент в условиях задачи 2.18 и какова эффективная мощность процесса резания?

2.20 Заготовку диаметром 64 мм из стали, имеющей предел прочности 480 МПа, обрабатывают резцом с передним углом 8° при глубине резания 4 мм и скорости подачи 200 мм/мин.

Какова эффективная мощность процесса резания, если коэффициент утолщения стружки равен 1,8, а силами на задней поверхности резца можно пренебречь?

2.21 На начальной стадии процесса точения, когда износ инструмента практически отсутствует ($l_2 \rightarrow 0$), главная составляющая силы резания может быть рассчитана по эмпирической формуле $P_z = 60tS_0^{0,75}v^{-0,15}\delta^{0,8}$, Н.

Какова наибольшая относительная деформация стружки на этой стадии процесса, если передний угол резца 0° , подача 0,8 мм/об, скорость резания 37 м/мин, а предел прочности обрабатываемого материала 500 МПа?

2.22 Угол сдвига при точении составляет 35° , главный задний угол резца 12° , а износ инструмента по задней поверхности настолько мал, что возникающими на ней силами допустимо пренебречь.

Можно ли в этих условиях закрепить режущую пластину инструмента только силой резания?

2.23 Измерения показали, что при продольном точении заготовки резцом с многогранной сменной пластиной сила резания равна 6800 Н, а ее радиальная составляющая 400 Н.

Можно ли на этой операции обеспечить крепление пластины силой резания, если главный задний угол резца 6° , а главный угол в плане 65° ?

2.24 Какой наибольший целый задний угол допустимо придать инструменту в условиях задачи 2.23, чтобы было возможно крепление пластины силой резания при главном угле резца в плане 45° ?

2.25 Сила резания при точении заготовки резцом со сменной пластиной составляет 4300 Н, а скорость резания 52 м/мин.

При какой наибольшей эффективной мощности процесса возможно крепление пластины силой резания, если главный задний угол инструмента 9° ?

2.26 Проходной токарный резец со сменной пластиной имеет главный задний угол 10° . Сила резания в процессе обработки заготовки этим резцом равна 5200 Н, а ее осевая составляющая 700 Н.

При каком наибольшем целом значении главного угла инструмента в плане возможно крепление пластины силой резания?

2.27 При точении заготовки из жаропрочной стали экспериментальным путем получена формула $P_z = 58tS_0^{0,75}v^{-0,05}\delta^{0,9}$, Н.

Какова эффективная мощность процесса резания при обработке заготовки диаметром 96 мм из этой стали резцом с передним углом $(-5)^\circ$, если диаметр обработанной поверхности 90 мм, скорость подачи резца 120 мм/мин, а скорость резания 45 м/мин?

2.28 С какой наибольшей частотой вращения можно обрабатывать заготовку в условиях задачи 2.27, если использовать токарный станок с мощностью привода главного движения 8 кВт при к.п.д. привода 0,83?

2.29 Экспериментально получено, что главная составляющая силы резания при продольном точении заготовки инструментом с передним углом 10° опи-

сывается зависимостью $P_z = 40tS_0^{0,75}v^{-0,15}\delta^{0,95}$, Н, осевая и радиальная составляющие достигают соответственно 25 и 40% от P_z , а коэффициент трения скольжения суппорта массой 100 кг по направляющим равен 0,1.

Достаточно ли тяговой силы в 4 кН, развиваемой механизмом подачи станка, чтобы обеспечить производительность процесса резания 202 см³/мин при глубине резания 8 мм и подаче 0,6 мм/об?

2.30 Эффективная мощность процесса резания при точении заготовки резцом с главным углом в плане 55° составляет 6400 Вт, а сила резания 8 кН. Продольный суппорт станка имеет массу 100 кг и коэффициент трения с направляющими 0,1.

Какую наименьшую силу тяги (с точностью до 1 кН) должен развивать привод подачи станка, чтобы обеспечить обработку заготовки со скоростью резания 60 м/мин?

2.31 Резцом с главным углом в плане 90° обтачивают заготовку, которая вращается с частотой 200 об/мин. Эксперимент показал, что для этого процесса характерно соотношение $P_N \approx 0,4P_z$. Продольный суппорт станка весит 1 кН и имеет коэффициент трения по направляющим 0,1. Предельно допустимая сила тяги механизма подачи станка 4 кН.

При каком наименьшем целочисленном диаметре заготовки возможна ее обработка с эффективной мощностью процесса резания 8100 Вт?

2.32 Во сколько раз, как минимум, сила P_z должна превосходить силу P_N , чтобы в условиях задачи 2.31 была возможна обработка заготовки со скоростью резания 75 м/мин?

2.33 Экспериментально получено, что при обработке заготовки однолезвийным инструментом $P_z = 1676ba^{0,75}v^{-0,15}$ и $P_N = 214b^{0,9}a^{0,6}v^{0,1}$, Н.

Какие крутящий момент и осевая сила будут действовать на трехзубый зенкер диаметром 40 мм при обработке такой же заготовки с глубиной резания 0,6 мм, подачей 0,9 мм/об и скоростью резания 30 м/мин, если угол заборного конуса инструмента 120°?

2.34 С какой подачей должен работать инструмент в условиях задачи 2.33, чтобы эффективная мощность процесса зенкерования составила 465 Вт?

2.35 При работе четырехзубого зенкера диаметром 36 мм с углом заборного конуса 120° осевая сила составляет 240 Н, а сила резания на отдельном зубе 290 Н.

Какой крутящий момент действует на инструмент, если диаметр отверстия под зенкерование 35 мм?

2.36 Крутящий момент при рассверливании отверстия диаметром 20 мм до диаметра 30 мм составляет 72 Н.м, а осевая сила 480 Н.

Какая сила резания действует на отдельное лезвие сверла, если угол его заборного конуса 90°?

2.37 Заготовку шириной 58 мм из конструкционной стали обрабатывают цилиндрической прямозубой фрезой диаметром 105 мм, которая имеет 15 зубьев с передним углом 10°. Глубина резания при фрезеровании 3,2 мм, скорость подачи инструмента 285 мм/мин, а частота вращения фрезы 100 об/мин.

Какой наибольший крутящий момент действует на фрезу, если известно, что при обработке этой же стали однолезвийным инструментом значение главной составляющей силы резания (в ньютонах) может быть рассчитано по эмпирической формуле $P_z = 35ba^{0,75}v^{-0,15}\delta^{0,94}$?

2.38 Какой станет относительная неравномерность процесса фрезерования в условиях задачи 2.37, если увеличить глубину резания до 9,8 мм?

2.39 Цилиндрическая фреза имеет пятнадцать прямых зубьев с окружным шагом 22 мм и работает с глубиной резания 5 мм.

Эксперимент показал, что главная составляющая силы резания на отдельном зубе фрезы прямо пропорциональна сечению среза, которое снимает этот зуб.

Какова относительная неравномерность процесса фрезерования?

2.40 Производительность процесса резания при фрезеровании заготовки шириной 52 мм составляет 227 см³/мин. Цилиндрическая прямозубая фреза имеет 36 зубьев и работает со скоростью резания 40 м/мин при подаче 0,2 мм/зуб.

Как и в задаче 2.39, главная составляющая силы резания на отдельном зубе фрезы прямо пропорциональна сечению среза, которое снимает этот зуб.

Какова относительная неравномерность процесса фрезерования?

2.41 При глубине резания 4 мм и скорости резания 30 м/мин наибольший крутящий момент на цилиндрической прямозубой фрезе, имеющей 12 зубьев и диаметр 100 мм, составляет 400 Н.м.

Измерения показали, что при использовании фрезы такого же диаметра, но с большим числом зубьев, относительная неравномерность процесса фрезерования снижается до 80%.

Какова эффективная мощность резания при работе новой фрезы?

2.42 Эмпирически получено, что силы, действующие на отдельный зуб прямозубой цилиндрической фрезы при определенных скорости резания и ширине среза, описываются выражениями $P_z = 55a_z^{0,75}$ и $P_N = 16a_z^{0,5}$, кН.

Какая наибольшая горизонтальная сила будет действовать на фрезу диаметром 124 мм, которая имеет 20 зубьев и работает с глубиной резания 5 мм и подачей 3 мм/об, в условиях встречного фрезерования?

2.43 Какой станет наибольшая горизонтальная сила в условиях задачи 2.42, если использовать не встречное, а попутное фрезерование?

2.44 Цилиндрическая фреза имеет диаметр 115 мм и шестнадцать прямых зубьев и обрабатывает заготовку по схеме встречного фрезерования с глубиной резания 3,5 мм и частотой вращения 120 об/мин.

В тот момент процесса резания, когда горизонтальная сила на инструменте достигает наибольшего значения и составляет 6 кН, вертикальная сила равна 2,9 кН.

Можно ли осуществить эту операцию на станке с мощностью привода главного движения 5 кВт при к.п.д. привода 80%?

2.45 Угол контакта цилиндрической фрезы диаметром 160 мм с заготовкой 30°. При фрезеровании по попутной схеме в тот момент процесса резания, ко-

гда вертикальная сила на инструменте минимальна и равна 3270 Н, горизонтальная сила составляет 4500 Н.

Какой крутящий момент действует на инструмент в этот момент времени, если фреза имеет 18 зубьев?

2.46 Какой наименьший конус Морзе может иметь хвостовик сверла при обработке отверстия диаметром 8 мм с подачей 0,1 мм/зуб, если эмпирические формулы для расчета момента резания и осевой силы при сверлении имеют вид $M = 0,2D^2 S_o^{0,7}$ (Н.м); $P_{oc} = 208DS_o^{0,8}$ (Н)?

2.47 При сверлении отверстия диаметром 26 мм экспериментально получены формулы для крутящего момента и осевой силы, действующих на инструмент, в виде $M = 0,345 D^2 S_o^{0,8}$ (Н.м); $P_{oc} = 680 DS_o^{0,7}$ (Н).

С какой наибольшей подачей на зуб может работать сверло, чтобы его хвостовик – конус Морзе 1 – не провернулся в шпинделе станка?

2.48 Сверло диаметром 40 мм работает с подачей 0,24 мм/об и имеет хвостовик в виде конуса Морзе 2. Эксперимент показал, что осевая сила на сверле описывается выражением $P_{oc} = 353 DS_o^{0,7}$, Н.

Какую максимальную частоту вращения можно придать сверлу, если мощность электродвигателя станка 2 кВт, а к.п.д. привода 0,85?

2.49 Заготовку из стали с пределом прочности 600 МПа разрезают отрезным резцом (рис. 2.3) с подачей 0,3 мм/об. Передний угол резца 8°, сечение державки 12×20 мм².

Измерения показали, что средний коэффициент утолщения стружки на этой операции 1,9.

Какие напряжения возникнут в опасном сечении резца и в месте его закрепления в резцедержателе, если при анализе динамики процесса резания можно пренебречь силами, действующими на задней поверхности инструмента?

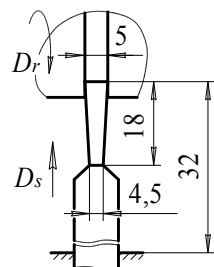


Рис. 2.3. К задаче 2.49

2.50 Какой наибольший целочисленный вылет (исходя из прочности державки) можно придать токарному резцу с главным углом в плане 45° и сечением державки 16×20 мм², если сила резания при точении равна 7200 Н, ее радиальная составляющая 2400 Н, а допустимое напряжение изгиба для материала державки 300 МПа?

2.5. Задания

Задание 2.1 При обработке заготовки из конструкционной стали проходные резцы 1 и 2 и сверло 3 объединены в многоинструментальную наладку (рис. 2.4), параметры которой приведены в табл. 2.2.

Как показал эксперимент, при точении этой стали главная составляющая силы резания описывается выражением $P_z = 40ba^{0,75}v^{-0,15}\delta^{0,8}$ (Н), а крутящий момент на сверле – выражением $M = 0,34 D^2 S_o^{0,8}$ (Н.м).

Определите, при какой минимальной мощности двигателя привода главного движения станка можно осуществить эту технологическую операцию, если к.п.д. привода составляет 90%.

Результат рассчитайте с точностью до 1 Вт.

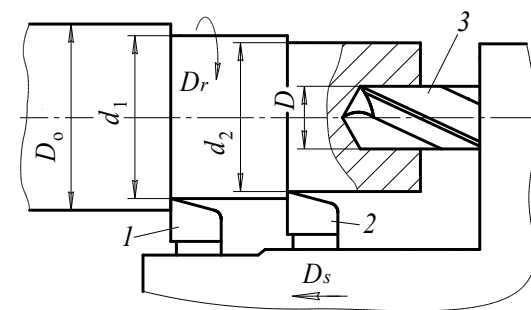


Рис. 2.4. К заданию 2.1

2.2. Исходные данные к заданию 2.1

Вариант	Размеры заготовки, мм				S_o , мм/об	n , об/мин	Передний угол γ°	
	D_o	d_1	d_2	D			резец 1	резец 2
01	200	185	180	40	0,2	140	- 15	10
02	190	176	170					
03	180	167	160					
04	170	158	150					
05	160	149	140	30	0,3	220	- 10	10
06	150	140	130					
07	140	131	120					
08	130	122	110					
09	120	113	100	20	0,4	300	0	- 10
10	110	104	90					
11	100	95	80					
12	90	86	70					
13	90	86	70	15	0,3	300	5	- 10
14	100	95	80					
15	110	104	90					
16	120	113	100					
17	130	122	110	25	0,2	300	10	- 10
18	140	131	120					
19	150	140	130					
20	160	149	140					
21	170	158	150	35	0,1	300	15	- 10
22	180	167	160					
23	190	176	170					
24	200	185	180					

Задание 2.2 При обработке заготовки из легированной стали однолезвийным инструментом экспериментально получено, что $P_z = 20ba^{0,75}v^{-0,15}\delta^{0,94}$ (Н) и $P_N = 15b^{0,9}a^{0,6}v^{-0,3}\delta^{0,9}$ (Н).

Пользуясь этими формулами, определите, какое наименьшее тяговое усилие должен развивать привод подачи горизонтально-фрезерного станка, чтобы обеспечить обработку заготовки из этой стали цилиндрической прямозубой фрезой.

Масса стола станка 100 кг, коэффициент трения скольжения стола по направляющим 0,1. Другие данные для расчета приведены в табл. 2.3.

Учтите, что наибольшая сила резания действует на фрезу в момент времени, когда ее очередной зуб выходит из контакта с заготовкой.

2.3. Исходные данные к заданию 2.2

Вариант	D , мм	z	t , мм	n , об/мин	v_s , мм/мин	B , мм	γ°	Вид фрезерования
01	160	20	10	200	360	80	15	встречное
02	150							
03	140							
04	130							
05	120	15	9	400	75	15		
06	110							
07	100							
08	90	12	8	250	300	70	попутное	
09	80							
10	70							
11	60							
12	50							
13	160	20	9	150	420	65		12
14	150							
15	140							
16	130							
17	120	15	8	300	360	60		встречное
18	110							
19	100							
20	90	12	7	300	540	55		
21	80							
22	70							
23	60							
24	50							