

Материалы лекции

(для самостоятельного изучения)

Силы и работа резания

Определение сил резания на передней и задней поверхностях инструмента при свободном резании

Рассмотрим систему сил, возникающих при свободном резании (рис. 1, а). На переднюю поверхность резца давит стружка с силой R_n , которая является равнодействующей нормальной силы N_n и силы трения стружки о переднюю поверхность F_n , т.е. $\vec{R}_n = \vec{N}_n + \vec{F}_n$. В то же время на заднюю поверхность резца вблизи режущей кромки действует нормальная сила упругого противодействия обрабатываемого материала N_3 и сила трения о заднюю поверхность инструмента F_3 . Они дают результирующую силу R_3 . Так как задний угол α мал, а при наличии площадки износа на некотором участке задней поверхности он равен нулю, в расчетной схеме принимаем направление сил F_3 и N_3 , как показано на рис. 1, б, т.е. направление F_3 противоположно вектору скорости резания v . Для осуществления процесса резания или сохранения равновесия резца к нему извне должна быть приложена сила, равная по величине и противоположная по направлению силе $\vec{R} = \vec{R}_n + \vec{R}_3$ (рис. 1, в).

Разложим силу R , приложенную к резцу, на две составляющие: P_z в направлении главного движения резания (*главную составляющую силу резания*) и P_y в направлении, совпадающем с осью резца (*радиальную составляющую силу резания*). Спроецируем действующие силы на оси y и z (рис. 1, г):

$$P_z = N_n \cos \gamma + F_n \sin \gamma + F_3; \quad P_y = -N_n \sin \gamma + F_n \cos \gamma + N_3.$$

Силы, действующие на передней и задней поверхностях инструмента, а также вдоль осей y и z , можно рассчитать теоретически на основе теорий пластичности, упругости и др.

Теоретические уравнения, однако, сложны и не совсем точны; в них используются коэффициенты, которые характеризуют свойства обрабатываемого материала и числовые значения которых неизвестны. Поэтому на практике силы резания определяют экспериментальным путем.

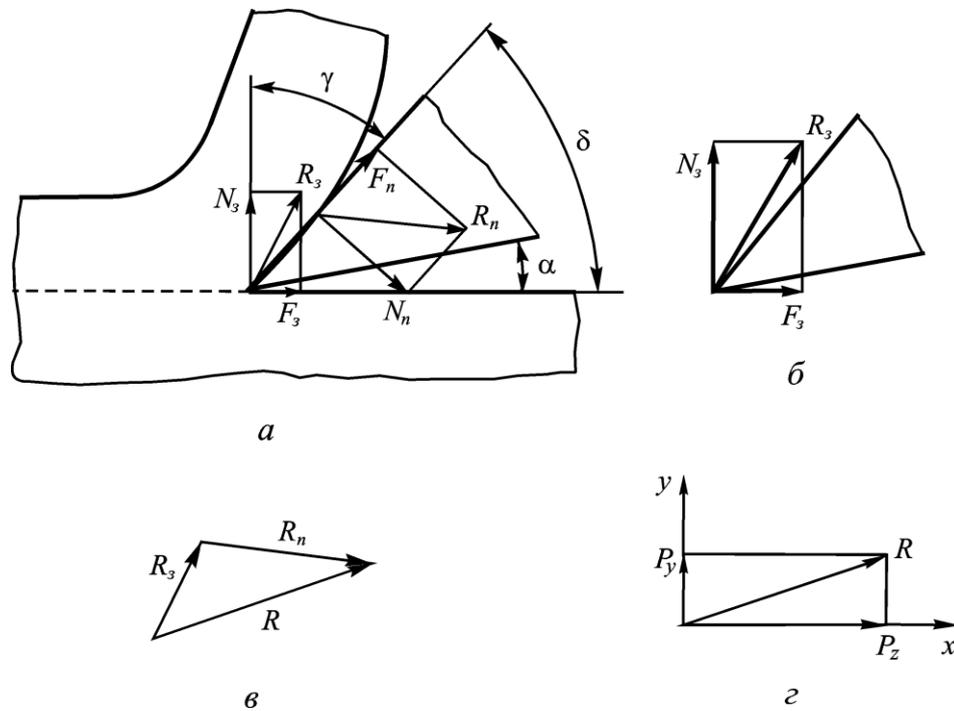


Рис. 1. Система сил действующих при свободном резании

Силы резания при несвободном резании

В условиях несвободного резания при точении равнодействующую силу сопротивления резанию R раскладывают на три составляющие (рис. 2): главную составляющую силу резания P_z , нагружающую коробку скоростей станка; радиальную составляющую силу резания P_y , определяющую величину отжима инструмента от заготовки и влияющую на точность обработки; осевую составляющую силу резания P_x , нагружающую коробку подач станка. Знание этих сил позволяет рассчитать конструктивные элементы станка на прочность, жесткость и виброустойчивость, а также решить ряд инженерных и

технологических задач. Например, знание составляющих силы резания позволяет выполнить расчет державки резца на прочность, определить момент сопротивлению резанию $M_{рез}$, определить режим резания, обеспечивающий обработку заготовки с погрешностью, не превышающей заданный допуск, определить эффективную мощность, затрачиваемую на процесс резания и т.д.

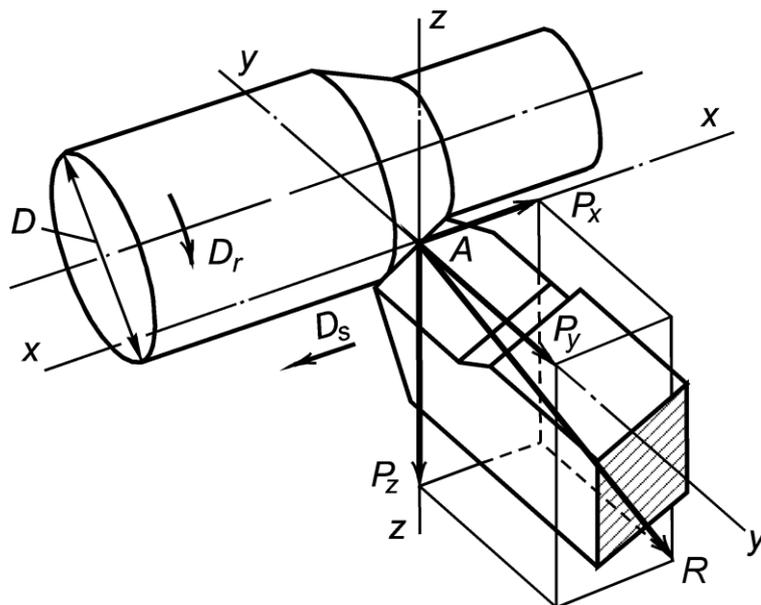


Рис. 2. Схема разложения результирующей силы P на составляющие P_z , P_y , P_x

Установлено, что при точении конструкционных сталей и чугунов резцом с геометрическими параметрами $\phi = 45^\circ$, $\gamma = 15^\circ$, $\lambda = 0^\circ$ наблюдается следующее соотношение сил резания: $P_y = (0,4...0,5)P_z$, $P_x = (0,3...0,4)P_z$, а при точении жаропрочных сталей сила P_y может быть больше, чем P_z . Это же соотношение наблюдается и при точении практически всех материалов с малыми сечениями среза. С увеличением угла ϕ и уменьшением переднего угла γ отношение P_y/P_z уменьшается, а P_x/P_z увеличивается. Кроме того, относительные значения P_x и P_y возрастают с увеличением износа резца, особенно при затуплении его по задней поверхности.

Для осуществления процесса резания необходимо выполнение следующих условий:

$$M_{кр} = P_z \cdot \frac{D}{2} \leq M_{ун.см}; \quad P_x \leq Q_{мп},$$

где D - диаметр заготовки; $M_{ун.см}$ - крутящий момент на шпинделе станка; $Q_{мп}$ - сила допустимая механизмом подачи станка.

Составляющие силы резания могут быть определены на основе использования аналитических зависимостей и экспериментальным путем.

Равнодействующая R является диагональю параллелепипеда. Следовательно,

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}, \text{ или } R \approx (1,1...1,2)P_z.$$

В связи с тем, что процесс резания представляет собой комплекс чрезвычайно сложных физико-механических явлений, зависящих от множества факторов, которые в настоящее время изучены не в полной мере, аналитические зависимости для определения составляющих силы резания не обеспечивают необходимую точность расчетов. Поэтому на практике наибольшее применение нашли эмпирические зависимости для расчета сил резания, полученные на основе экспериментальных данных.

Для экспериментального определения составляющих силы резания применяют специальные устройства, называемые динамометрами.

Эмпирические зависимости для расчета сил резания имеют вид

$$P_z = C'_P t^{x_{Pz}} S^{y_{Pz}} v^{-z_{Pz}};$$

$$P_y = C'_P t^{x_{Py}} S^{y_{Py}} v^{-z_{Py}};$$

$$P_x = C'_P t^{x_{Px}} S^{y_{Px}} v^{-z_{Px}},$$

где C'_P - постоянный коэффициент, учитывающий конкретные условия обработки заготовки; t - глубина резания; S - подача; v - скорость резания; x_P, y_P, z_P - показатели степеней.

Для того, чтобы использовать данные зависимости для других условий обработки, необходимо использовать поправочные коэффициенты на измененные условия резания: K_{M_P} - коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала; K_{C_P} - коэффициент, учитывающий состояние обрабатываемого материала; K_{γ_P} - коэффициент, учитывающий влияние переднего угла; K_{φ_P} - коэффициент, учитывающий влияние главного угла в плане; K_{r_P} - коэффициент, учитывающий влияние радиуса при вершине; K_{O_P} - коэффициент, учитывающий влияние смазывающе-охлаждающего технологического средства; K_{u_P} - коэффициент, учитывающий износ инструмента.

$$\text{Тогда } C_P = C_P' K_{M_P} K_{C_P} K_{\gamma_P} K_{\varphi_P} K_{r_P} K_{O_P} K_{u_P}.$$

Работа и мощность резания при точении

В общем случае работа (Дж), затрачиваемая на процесс резания, определяется по формуле

$$W = P_z L,$$

где P_z - главная составляющая силы резания, действующая в направлении скорости резания, Н; L - путь, проходимый режущим инструментом, м.

В общем объеме работы, совершаемой при резании, на долю деформации, трения по передней и задней поверхностям приходится соответственно 55, 35 и 10 %. Если известен путь, пройденный инструментом за 1 мин, можно определить работу, выполненную за это время:

$$W = P_z v = P_c v_c + F_n v_n + F_3 v_3,$$

где v - скорость резания, м/мин; P_c - сила сдвига, или сила, действующая в плоскости сдвига, Н; v_c - скорость сдвига, м/мин; F_n - сила трения по передней поверхности лезвия

инструмента, Н; v_n – скорость движения стружки по передней поверхности лезвия, м/мин: $v_n = v/K_l$; F_3 – сила трения по задней поверхности лезвия инструмента, Н; v_3 – скорость движения обработанной поверхности относительно задней поверхности лезвия инструмента, м/мин: $v_3 = v$.

Зная силы резания, можно также определить мощность (кВт), необходимую для осуществления процесса резания. Эту мощность ещё называют эффективной мощностью, так как не учитывает затраты на преодоление сил трения в механизмах станка.

При точении

$$N_{эф} = N_{P_z} + N_{P_y} + N_{P_x},$$

или

$$N_{эф} = \frac{P_z v_z}{60 \cdot 10^3} + \frac{P_y v_y}{60 \cdot 10^3} + \frac{P_x v_x}{60 \cdot 10^3},$$

где P_z , P_y , P_x – составляющие силы резания, Н; v_z – скорость резания, м/мин: $v_z = v$; $v_y = 0$ – скорость перемещения резца в радиальном направлении, м/мин; v_x – скорость подачи, м/мин.

Так как v_x очень мала по сравнению со скоростью резания, третьим слагаемым при подсчете $N_{эф}$ можно пренебречь. Тогда

$$N_{эф} = \frac{P_z v_z}{60 \cdot 10^3}.$$

Определив эффективную мощность $N_{эф}$, можно найти потребляемую мощность электродвигателя станка:

$$N_{эд} = \frac{P_z v_z}{60 \cdot 10^3 \eta_{см} K_n},$$

где $\eta_{см}$ – КПД станка; K_n – коэффициент допускаемой кратковременной перегрузки. В большинстве случаев $K_n = 1,3 \dots 1,5$, а иногда $K_n = 2$.