

А. Н. Астафиев, А. В. Моисеев, С. С. Макаревич

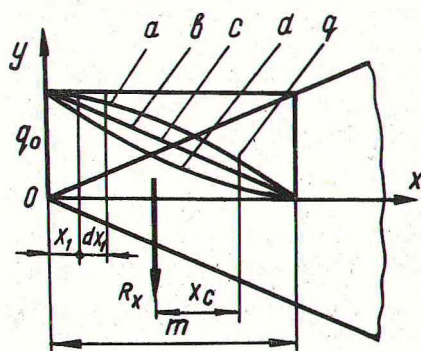
РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ЛЕЗВИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В настоящее время при конструировании дереворежущего инструмента, например: круглых пил, пильных цепочек для бензомоторных пил и др. ограничиваются расчетом на прочность несущих деталей режущего аппарата. Расчет режущей части инструмента обычно не производится. В ряде случаев завышаются углы заострения инструмента, что приводит к значительному повышению силы резания, требует повышенной мощности привода. Это особенно остро ощущается при проектировании переносных устройств, широко применяемых в лесной промышленности.

Разработанная авторами методика позволяет произвести расчет на прочность лезвия режущего инструмента и выбрать оптимальные угловые параметры (главным образом угол заострения) для заданных условий резания и свойств инструментального материала.

Известно, что в процессе работы возможно выкрашивание или облом лезвия резца. Выкрашивание — хрупкое разрушение, оно не распространяется за пределы контакта со стружкой, облом — разрушение, распространяющееся за пределы контакта [1]. В работе [2] величина этого разрушения определялась при допущении, что вся сила резания сосредоточена на кончике лезвия. Проведенные нами опыты показали, что величина облома лезвия значительно меньше полученной по этим формулам. Это объясняется тем, что при резании нагрузка распределена на некоторую площадку передней поверхности резца. Одна из составляющих нагрузки направлена по биссектрисе угла заострения $R_{\text{бисс}}$ (биссекторная сила), вторая, перпендикулярная ей, — $R_{\text{лом}}$ (ломающая сила). $R_{\text{лом}}$ является равнодействующей сплошной нагрузки по длине лезвия m .

В зависимости от условий процесса резания можно предположить следующие схемы распределения нагрузки от $R_{\text{лом}}$: а — равномерно распределенная; б — распределенная по закону



a - при $n \rightarrow \infty$ c - при $n > 1$,
 b - при $n = 1$ d - при $n < 1$

Рис. 1. Виды нагрузок.

треугольника; c — по закону выпуклой параболы; d — по закону вогнутой параболы (рис. 1). Если начало координат выбрать на конце лезвия, то интенсивность нагрузки на любом расстоянии от начала координат может быть описана формулой

$$q = q_0 \left[1 - \left(\frac{x}{m} \right)^n \right], \quad (1)$$

где q_0 — интенсивность нагрузки в начале координат, $0 \leq x \leq m$; n — показатель степени, который определяет закон изменения интенсивности нагрузки; m — проекция длины контакта стружки на биссектрису угла β .

С учетом допущений, принятых в сопротивлении материалов, напряжения от $P_{\text{лом}}$ на расстоянии x от лезвия определяются по формуле

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x}, \quad (2)$$

где M_x и W_x — изгибающий момент и момент сопротивления в сечении на расстоянии x от начала координат.

Изгибающий момент в сечении x равен

$$M_x = R_x x_c, \quad (3)$$

где R_x — равнодействующая сплошной нагрузки на расстоянии x ; x_c — расстояние от сечения до равнодействующей.

Равнодействующая численно равна площади участка эпюры сплошной нагрузки, расположенной на расстоянии x .

$$R_x = \int_0^x q(x_1) dx = q_0 x \left[1 - \frac{1}{n+1} \left(\frac{x}{m} \right)^n \right],$$

при $x=m$ $R_m = q_0 m \left(1 - \frac{1}{n+1} \right) = \frac{q_0 m n}{n+1} = P_{\text{лом}}$,

откуда

$$q_0 = \frac{n+1}{n m} P_{\text{лом}}. \quad (4)$$

Расстояние x_c определяется как разность

$$x_c = x - \frac{S_y}{R_x},$$

где S_y — статический момент относительно оси y площади R_x — эпюры сплошной нагрузки на расстоянии x .

$$S_y = \int_0^x x_1 q(x_1) dx_1 = q_0 x^2 \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{n+2} \left(\frac{x}{m} \right)^n \right].$$

Тогда изгибающий момент, согласно уравнения (3), равен

$$M_x = q_0 x^2 \left[\frac{1}{2} - \frac{a^n}{(n+1)(n+2)} \right], \quad \text{где } a = \frac{x}{m}. \quad (5)$$

Момент сопротивления на расстоянии x равен

$$W_x = \frac{b h_x^2}{6},$$

где b — ширина реза; h_x — высота реза в сечении x .

$$h_x = 2x \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}.$$

Напряжения в любом сечении реза

$$\sigma_x = \frac{3}{2} \frac{q_0}{b \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}} \left[\frac{1}{2} - \frac{a^n}{(n+1)(n+2)} \right] \text{ кг/мм}^2. \quad (6)$$

Подставив в (6) значение (4), получим

$$\sigma_x = \frac{3}{2} \frac{P_{\text{лом}}}{b \cdot \text{tg}^2 \frac{\beta}{2}} \frac{n+1}{n \cdot m} \left[\frac{1}{2} - \frac{a^n}{(n+1)(n+2)} \right] \text{ кг/мм}^2$$

Уравнение (7) и построенная по этому уравнению номограмма (рис. 2) позволяют определить напряжение в любом сочетании резца на участке m при любом из видов нагрузок, представленных на рис. 1. Стрелками на рис. 2 показан пример пользования номограммой.

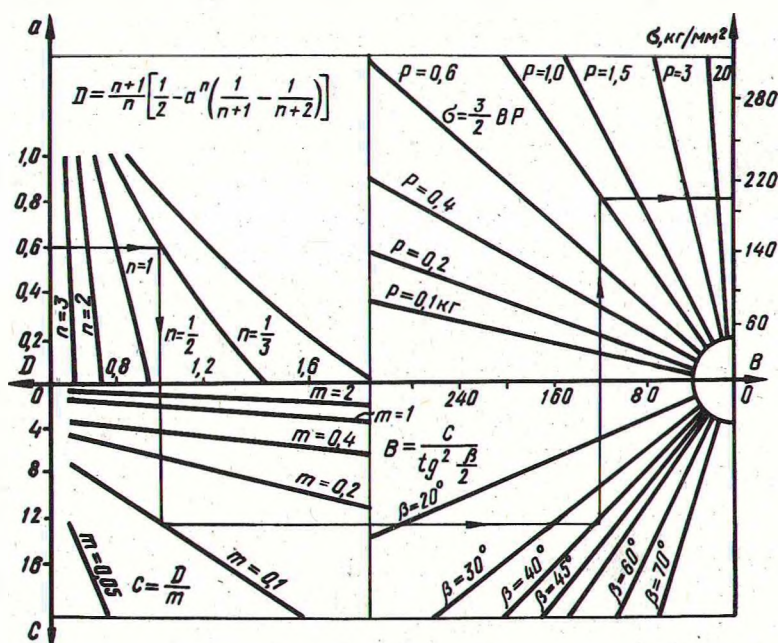


Рис. 2. Номограмма к уравнению (7).

Для учета биссекторной силы $P_{\text{бисс}}$ принимаем схему нагружения, приведенную на рис. 3.

На переднюю поверхность резца действует сплошная нагрузка, перпендикулярная к его поперечному сечению и распределенная на участке этого сечения m , согласно закону

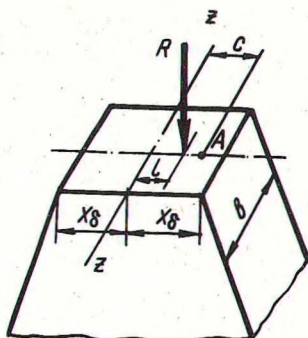
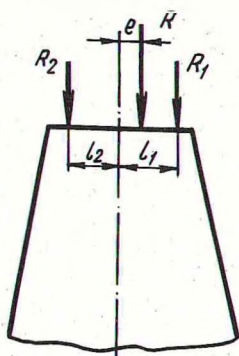
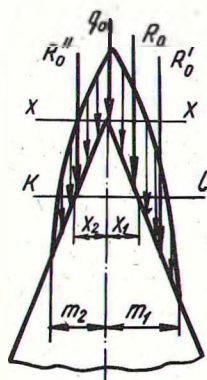


Рис. 3. Схема нагружения.

Рис. 4. К определению равнодействующих.

Рис. 5. К определению интенсивности нагрузки.

$$q_{x_1} = q_0 \left[1 - \left(\frac{x_\delta}{m_1} \right)^{n_1} \right], \quad (8)$$

где q_0 — интенсивность нагрузки в начале координат

$$x_1 = x_2 = x_\delta.$$

Закон изменения нагрузки на заднюю поверхность аналогичен

$$q_{x_2} = q_0 \left[1 - \left(\frac{x_\delta}{m_2} \right)^{n_2} \right]. \quad (9)$$

Равнодействующая сил, действующих на переднюю поверхность, обозначим R_1 , на заднюю R_2 . Эти силы расположены соответственно на расстоянии l_1 и l_2 от биссектрисы угла β (рис. 4).

Значение равнодействующих R_1 и R_2 определим по уравнениям:

$$R_1 = \int_0^{x_1} q_{x_1} dx = \int_0^{x_1} q_0 \left[1 - \left(\frac{x_1}{m_1} \right)^{n_1} \right] dx = q_0 x_1 \left[1 - \frac{a_1^{n_1}}{n_1 + 1} \right]; \quad (10)$$

$$R_2 = \int_0^{x_2} q_{x_2} dx = \int_0^{x_2} q_0 \left[1 - \left(\frac{x_2}{m_2} \right)^{n_2} \right] dx = q_0 x_2 \left[1 - \frac{a_2^{n_2}}{n_2 + 1} \right], \quad (11)$$

где $a_1 = \frac{x_1}{m_1}$; $a_2 = \frac{x_2}{m_2}$

Равнодействующая сил R_1 и R_2 равна их сумме

$$R = R_1 + R_2 = q_0 x_1 \left(1 - \frac{a_1^{n_1}}{n_1 + 1} \right) + q_0 x_2 \left(1 - \frac{a_2^{n_2}}{n_2 + 1} \right) . \quad (12)$$

При $x_1 = x_2 = x_\delta$ и $n_1 = n_2$

$$R = q_0 x_\delta \left(2 - \frac{a_1^n + a_2^n}{n + 1} \right) . \quad (13)$$

Напряжения в любой точке сечения А (рис.5) могут быть определены с достаточной степенью точности по формуле

$$\sigma = -\frac{R}{F} - \frac{R e c}{J_z} , \quad (14)$$

где c — расстояние от оси z до точки, в которой определяется напряжение (подставляется с учетом знака); F — площадь сечения резца, в котором определяется напряжение.

$$F = 2 x_\delta b , \quad (15)$$

где b — ширина резца; J_z — момент инерции поперечного сечения

$$J_z = \frac{2}{3} b x_\delta^3 . \quad (16)$$

После преобразования получим

$$\sigma = \frac{q_0 \left(2 - \frac{a_1^n + a_2^n}{n + 1} \right)}{2b} \left[1 + \frac{3c \frac{n+1}{n+2} \frac{a_2^n - a_1^n}{2(n+1) - (a_1^n - a_2^n)}}{x_\delta} \right] . \quad (17)$$

Для определения интенсивности нагрузки в начале координат определим равнодействующие всей нагрузки по передней и задней поверхностям R'_0 и R''_0 (рис.5).

Положим, что в уравнениях (10), (11):

$$x_1 = m_1 ; \quad x_2 = m_2 ; \quad a_1 = a_2 = l.$$

Тогда

$$R'_0 = \frac{q_0 m_1 n}{n+1} \quad \text{и} \quad R''_0 = \frac{q_0 m_2 n}{n+1}.$$

Отсюда равнодействующая всей нагрузки (биссекторная сила), параллельная биссектрисе угла β , будет равна

$$R_0 = R'_0 + R''_0 = \frac{q_0 n}{n+1} (m_1 + m_2) = P_{\text{бисс}}, \quad (18)$$

откуда

$$q_0 = \frac{P_{\text{бисс}}(n+1)}{n(m_1 + m_2)}.$$

Тогда напряжения в любой точке сечения

$$\sigma_{\text{бисс}} = \frac{P_{\text{бисс}}(n+1)}{2b} \left(2 - \frac{a_1^n + a_2^n}{n+1} \right) \left[1 + \frac{3C \frac{n+1}{n+2} \frac{a_2^n - a_1^n}{2(n+1) - (a_1^n - a_2^n)}}{x_{\text{б}}} \right]. \quad (19)$$

На основании уравнения (19) нами получен ряд номограмм, позволяющих облегчить расчет влияния силы $P_{\text{бисс}}$ на прочность лезвия. Одна из таких номограмм приведена на рис.6 (для $n = \frac{1}{2}$).

Суммарное напряжение, действующее на резец, складывается из напряжений $\sigma_{x_{\text{лом}}}$ и $\sigma_{x_{\text{бисс}}}$.

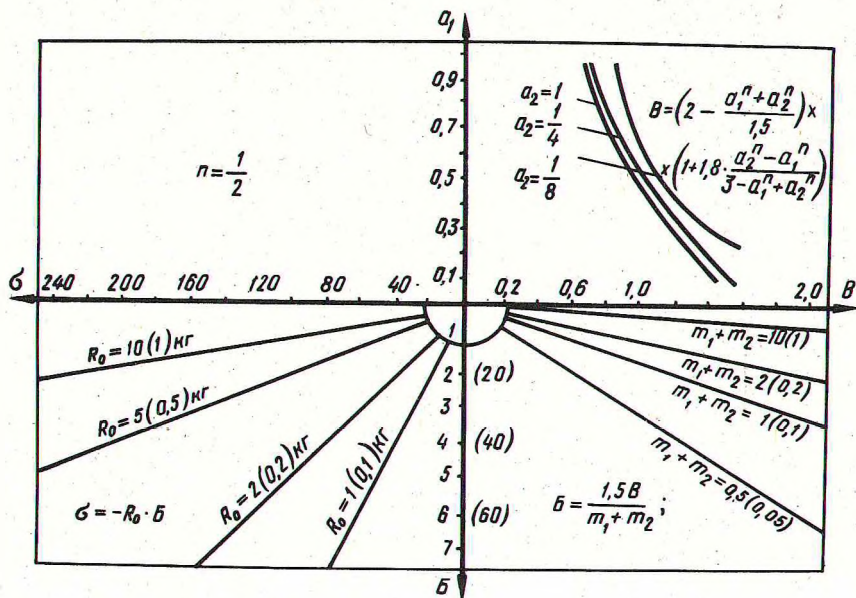


Рис. 6. Номограмма к расчету вычисления силы $P_{\text{бисс}}$.

$$\sigma_x = \frac{3}{2} \frac{P_{\text{лом}}}{b \text{tg}^2 \frac{\beta}{2}} \frac{n+1}{nm} \left[\frac{1}{2} - \frac{a^n}{(n+1)(n+2)} \right] \pm \quad (20)$$

$$\pm \frac{P_{\text{бисс}} (n+1) \left(2 - \frac{a_1^n + a_2^n}{n+1} \right)}{2b} \left[1 + \frac{3C \frac{n+1}{n+2} \frac{a_2^n - a_1^n}{2(n+1) - (a_1^n - a_2^n)}}{x_8} \right],$$

где знак плюс — для определения напряжений по задней поверхности, минус — по передней поверхности.

На основании анализа уравнений (7) и (19) можно сделать следующие выводы: а) облом лезвия не является неизбежным даже для очень острого резца, если угол β имеет значение, большее определенной критической величины; б) величина напряжения от $P_{\text{лом}}$ непосредственно зависит от угла β ; в) сила $P_{\text{лом}}$ на возникающее в лезвии напряжение влияет более интенсивно, чем сила $P_{\text{бисс}}$.

Для проверки положений, вытекающих из расчетных уравнений нами были проведены эксперименты, подтвердившие их.

Исследования проводились при резании древесины граба в торец при $\gamma = 0$. Резцы изготавливались из стали Р18 НРС 55—60, угол $\beta = 50, 45, 40, 30, 20$ и 15° . Скорость резания 1 м/с. На резцах с углами $40—50^\circ$ после испытания следов хрупкого разрушения при увеличении $\times 100$ не обнаруживалось. Величина напряжений на кончике лезвия, рассчитанная по формуле (7), для этих углов менее $60—120 \text{ кг/мм}^2$, предел прочности на изгиб стали Р18 равен $280—300 \text{ кг/мм}^2$.

На резцах с углом $\beta = 30—20^\circ$ наблюдались выкрашивания глубиной $30—100 \text{ мк}$. Напряжение на режущей кромке $250—500 \text{ кг/мм}^2$, что превышает предел прочности этих сталей на изгиб. В сечении, по которому произошло выкрашивание, напряжение, рассчитанное по уравнению (7), $180—250 \text{ кг/мм}^2$. На резцах с углом $\beta = 15^\circ$ наблюдались обломы, выходящие за пределы контактной зоны, напряжения на режущей кромке очень велики — более 500 кг/мм^2 .

Напряжение в сечении, по которому произошел облом, в последнем случае не может быть определено по формуле (7), поскольку $\chi > m$ (уравнение выводилось из условия, что $\chi \leq m$).

Л и т е р а т у р а

1. Батанели А.И. Прочность режущей части инструмента, — Автореф. дисс. на соискание ученой степени докт. техн. наук, Тбилиси, 1964.
2. Воскресенский С.А. Резание древесины. М., 1955.