УДК 664.05:621.9.02

А. А. Гришкевич, канд. техн. наук, доцент (БГТУ);
С. С. Макаревич, канд. техн. наук, профессор (БГТУ)

ДЕРЕВОРЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ С САМОРЕГУЛИРУЮЩИМИСЯ ЗУБЬЯМИ, УСТАНОВЛЕННЫМИ НА ОПОРЕ СКОЛЬЖЕНИЯ

Теоретические исследования работоспособности дереворежущего фрезерного инструмента с саморегулирующимися зубьями, установленными на опоре скольжения. Определены условия саморегулирования зуба фрезерного инструмента.

Theoretical investigations of the performance of wood-cutting tool with self-adjusting teeth set on a sliding bearing. Determination of the conditions of self-adjustment of cutting teeth.

Введение. Поскольку конечной целью оптимизированного технологического процесса является создание самонастраивающейся машины, то и одной из главных частей ее должен быть инструмент, способный реагировать самостоятельно на процессы, происходящие при механической обработке древесины и древесных материалов. При решении практических задач, связанных с улучшением качества и повышением эффективности процессов механической обработки древесины и древесных материалов на основе самонастраивающихся инструментов, актуальное значение имеют рациональные конструкции дереворежущих инструментов, обеспечивающих высокие показатели работоспособности, долговечности, прочности, безопасности, ремонтопригодности и экономичности.

На кафедре деревообрабатывающих станков и инструментов в течение ряда лет ведется работа по созданию системы фрезерного дереворежущего инструмента с изменяемыми углами резания и применением многогранных твердосплавных пластин одноразового и многоразового использования.

Из теории резания известно, что угловые параметры режущего инструмента оказывают существенное влияние на процесс стружкообразования и, следовательно, на энергетические параметры, долговечность инструмента и качество обработки материала. Усилие резания зависит от значений отдельных составляющих: нормальных усилий, действующих на древесину и древесные материалы со стороны лезвия, и сил трения, возникающих от взаимодействия обрабатываемого материала с контактируемыми поверхностями зуба лезвийного инструмента.

При обработке древесины и древесных материалов задний угол является весьма важным элементом конструкции инструмента, так как износ по задней поверхности обычно снижает стойкость и прочность лезвия. Это обстоятельство указывает на то, что удельная работа сил трения на задних поверхностях превосходит величину удельной работы сил трения на передних поверхностях.

Целью данной работы было проведение теоретических исследований для создания дереворежущего инструмента с саморегулирующимися зубьями, позволяющего вести механическую обработку древесных материалов с минимальными энергетическими затратами и обеспечением качества обработки, и определение условия его работоспособности.

Основная часть. Теоретические исследования. Рассмотрим фрезу, состоящую из корпуса, в котором расточены два диаметрально расположенных паза типа «ласточкин хвост». В пазы корпуса установлены быстросъемные сегменты-ножедержатели (рис. 1).

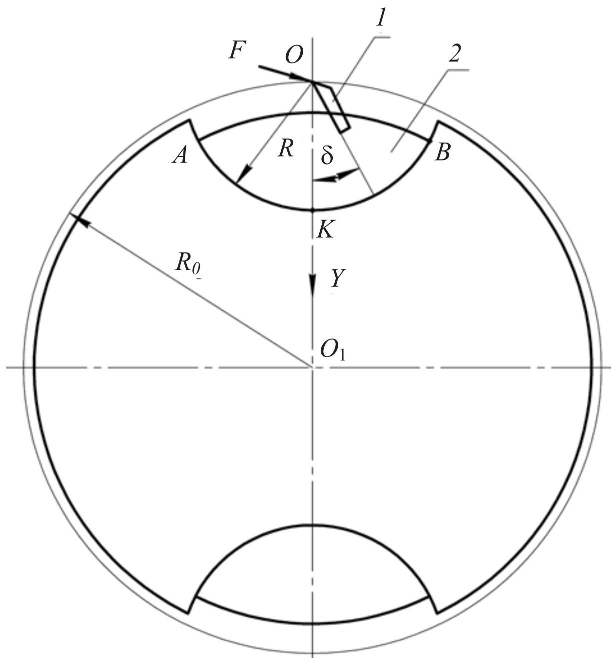


Рис. 1. Фреза:
1 – нож; *2* – сегмент-ножедержатель

В сегменте-ножедержателе закреплен нож таким образом, что его лезвие (острие) находится в точке *O*, являющейся центром окружности, частью которой будет дуга сегмента *AKB*, по которой сегмент может смещаться. При смещении сегмента по дуге *AKB* в одну или другую сторону острие ножа остается в точке O, меняется только угол наклона δ [1].

На лезвие (рис. 2) при резании действуют силы по передней и задней граням (поверхностям).

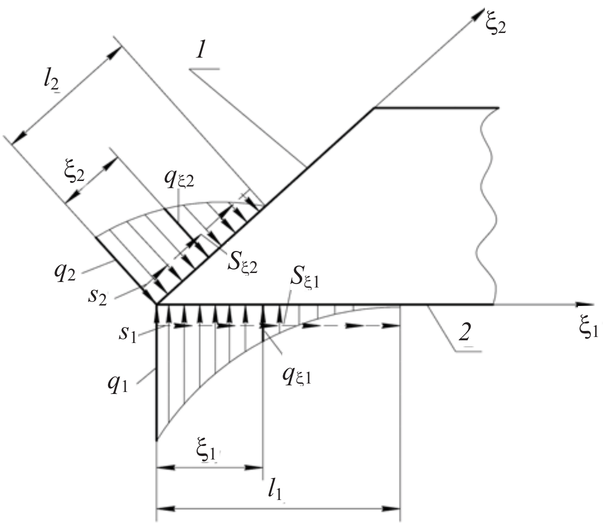


Рис. 2. Схема распределения сил на лезвии инструмента: *1* – задняя поверхность; *2* – передняя поверхность

Нож контактирует с деталью как по передней, так и по задней поверхностям. В результате по этим поверхностям в пределах контакта возникают нормальные и касательные силы, которые распределены по длине контакта [2, 3]. Распределение этих сил и их величина могут меняться в зависимости от породы, направления резания по отношению к главным осям анизотропии древесины, от встречи резца с сучками и т. д.

В общем виде это распределение можно записать зависимостью:

для передней поверхности

$$q_{\xi_1} = q_1\left(1-\frac{\xi_1}{l_1}\right)^{n_1}; \qquad (1)$$

для задней поверхности

$$q_{\xi_2} = q_2\left(1-\frac{\xi_2}{l_2}\right)^{n_2}, \qquad (2)$$

где q_1 – интенсивность нормальных сил в начале координат (т. е. на режущей кромке), приходящихся на единицу длины по оси ξ_1 (т. е. по передней поверхности); q_2 – интенсивность нормальных сил в начале координат (т. е. на режущей кромке), приходящихся на единицу длины по оси ξ_2 (т. е. по задней поверхности); l_1, l_2 – длина контакта соответственно по передней и задней поверхностям; n_1, n_2 – константы, от которых зависит характер распределения нагрузки соответственно по передней и задней поверхностям.

Распределение нагрузки по ширине резца принимается равномерным. Уравнения (1) и (2) позволяют достаточно точно записать любое распределение нагрузки. Так, при $n = 0$ получим равномерно распределенную нагрузку; при $n = 1$ – нагрузку, распределенную по треугольнику; при n_i, отличных от нуля и единицы, нагрузка будет распределена по криволинейной зависимости. При этом, если $n_i > 1$, нагрузка распределена по вогнутой кривой, если $n_i < 1$, нагрузка распределена по выпуклой кривой.

Равнодействующая нормального давления по передней поверхности будет равна:

$$F_1 = \int_0^{l_1} q_{\xi_1}\,d\xi_1 = \int_0^{l_1} q_1(1-\frac{\xi_1}{l_1})^{n_1}\,d\xi = \frac{q_1 l_1}{n_1+1}. \qquad (3)$$

Равнодействующая нормального давления по задней поверхности:

$$F_2 = \int_0^{l_2} q_{\xi_2}\,d\xi_2 = \int_0^{l_2} q_2(1-\frac{\xi_2}{l_2})^{n_2}\,d\xi = \frac{q_2 l_2}{n_2+1}. \qquad (4)$$

Ввиду наличия трения между резцом и стружкой на передней грани резца возникают касательные силы, интенсивность которых будет равна

$$S_{\xi_1} = q_{\xi_1} f_1 = f_1 q_1(1-\frac{\xi_1}{l_1})^{n_1},$$

где f_1 – коэффициент трения между передней гранью резца и стружкой.

Между задней гранью резца и обрабатываемой древесиной тоже возникает трение, а следовательно, касательные силы интенсивностью

$$S_{\xi_2} = q_{\xi_2} f_2 = f_2 q_2(1-\frac{\xi_2}{l_2})^{n_2},$$

где f_2 – коэффициент трения между задней гранью резца и древесиной.

Равнодействующие касательных сил определяются зависимостями, аналогичными (3) и (4), но с учетом коэффициентов трения:

по передней грани равнодействующая касательных сил

$$T_1 = f_1\frac{q_1 l_1}{n_1+1}; \qquad (5)$$

по задней грани равнодействующая касательных сил

$$T_2 = f_2\frac{q_2 l_2}{n_2+1}. \qquad (6)$$

Равнодействующие нормальных и касательных сил будут приложены к граням по центрам эпюр, изображающих эти силы (рис. 3)

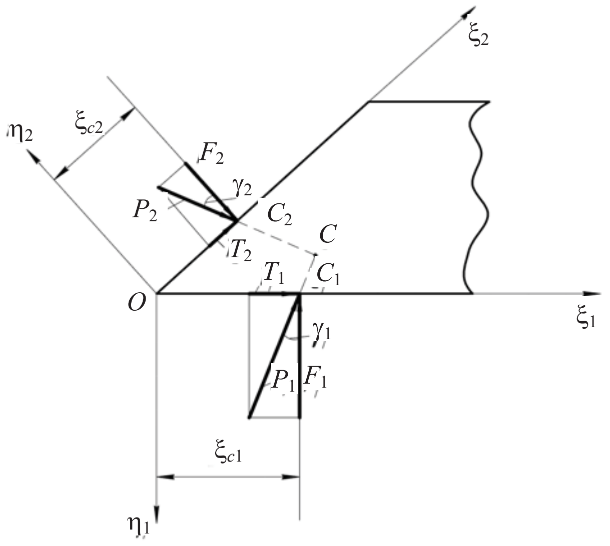


Рис. 3. Равнодействующие нормальных и касательных сил, возникающих при резании

Расстояние ξ_{c1} от начала координат (вершина режущей кромки лезвия) до силы F_1 будет равно

$$\xi_{c1} = \frac{S_{\eta 1}}{F_1}, \qquad (7)$$

где $S_{\eta 1}$ – статический момент относительно оси η_1 площади эпюры нормального давления $q_{\xi 1}$.

Статический момент

$$S_{\eta_1} = \int_0^{l_1} q_{\xi_1} \xi_1 d\xi_1 = q_1 \int_0^{l_1} \left(1 - \frac{\xi_1}{l_1}\right)^{n_1} \xi_1 d\xi_1 =$$

$$= \frac{q_1 l_1^2}{(n_1+1)(n_1+2)}. \qquad (8)$$

Подставив (3) и (8) в (7), получим

$$\xi_{c1} = \frac{l_1}{n_1 + 2}. \qquad (9)$$

Аналогично определится расстояние от лезвия до равнодействующей F_2:

$$\xi_{c2} = \frac{l_2}{n_2 + 2}. \qquad (10)$$

В точках C_1 и C_2 будут приложены также силы T_1 и T_2.

Равнодействующая сил, приложенных к передней грани резца,

$$P_1 = \sqrt{F_1^2 + T_1^2} = \frac{q_1 l_1}{n_1 + 1}\sqrt{1 + f_1^2}. \qquad (11)$$

Равнодействующая сил, приложенных к задней грани резца,

$$P_2 = \sqrt{F_2^2 + T_2^2} = \frac{q_2 l_2}{n_2 + 1}\sqrt{1 + f_2^2}. \qquad (12)$$

Общая равнодействующая сил F будет приложена в точке пересечения векторов P_1 и P_2, т. е. в точке C (рис. 4).

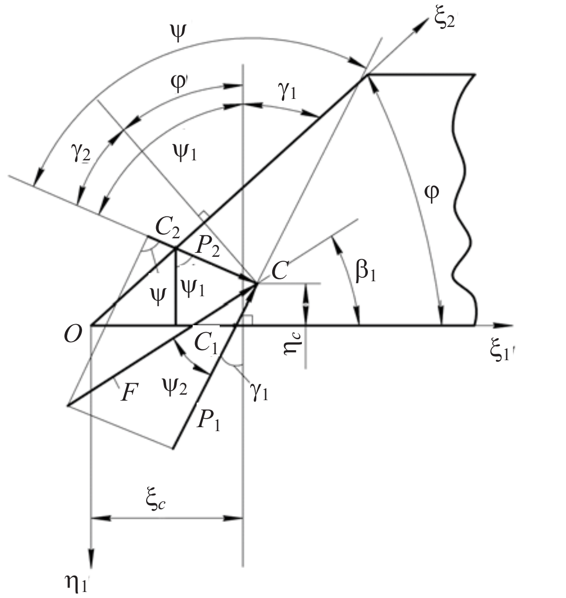


Рис. 4. Общая равнодействующая сил

Величина общей равнодействующей F будет равна

$$F = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 - 2P_1P_2\cos\psi}, \qquad (13)$$

где $\psi = \varphi + \gamma_1 + \gamma_2$; φ – угол заточки; γ_1 – угол между силами F_1 и P_1.

$$\mathrm{tg}\gamma_1 = \frac{T_1}{F_1} = f_1;$$

γ_2 – угол между силами F_2 и P_2

$$\mathrm{tg}\gamma_2 = \frac{T_2}{F_2} = f_2.$$

Определим координаты точки приложения равнодействующей F, т. е. точки C, в системе координат $\xi_1 O \eta_1$. Для этого запишем систему уравнений

$$\left.\begin{aligned} OC_2\sin\varphi &= CC_2\cos\psi_1 + CC_1\cos\gamma_1, \\ OC_1 - OC_2\cos\varphi &= CC_2\sin\psi_1 - CC_1\sin\gamma_1, \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

где $\psi_1 = \varphi + \gamma_2$.

Из системы уравнений (14)

$$CC_1 = \frac{OC_2(\sin\varphi\cdot\sin\psi_1 + \cos\varphi\cdot\cos\psi_1) - OC_1\cos\psi_1}{\sin\gamma_1\cdot\cos\psi_1 + \cos\gamma_1\cdot\sin\psi_1}.$$

Учитывая, что

$$OC_1 = \xi_{c1};\; OC_2 = \xi_{c2};$$

$$\sin\varphi\sin\psi_1 + \cos\varphi\cos\psi_1 = \cos(\psi_1 - \varphi) = \cos\gamma_2,$$

$$\sin\gamma_1\cos\psi_1 + \cos\gamma_1\sin\psi_1 = \sin(\gamma_1 + \psi_1) = \sin\psi,$$

можно записать

$$CC_1 = \frac{\xi_{c2}\cos\gamma_2 - \xi_{c2}\sin\psi_1}{\sin\psi}.$$

Тогда

$$\left.\begin{aligned} \xi_c &= \xi_{c1} + C_1C\sin\gamma_1 = \\ &= \frac{\xi_{c1}(\sin\psi - \sin\psi_1\sin\gamma_1) + \xi_{c2}\sin\gamma_1\cos\gamma_1}{\sin\psi}, \\ \eta_c &= -C_1C\cos\gamma_1 = \\ &= \frac{\xi_{c1}\sin\psi_1\cos\gamma_1 - \xi_{c2}\cos\gamma_2\cos\gamma_1}{\sin\psi}. \end{aligned}\right\} \quad (15)$$

Равнодействующая F направлена под углом β_1 к оси ξ_1:

$$\beta_1 = 90 - \psi_2 - \gamma_1, \quad (16)$$

где

$$\cos\psi_2 = \frac{F^2 + P_1^2 - P_2^2}{2FP_1}. \quad (17)$$

Очевидно, наиболее благоприятным для резца будет случай, когда равнодействующая F проходит через вершину режущей кромки. Для данной обрабатываемой поверхности этого можно добиться, меняя задний угол, т. е. угол между плоскостью резания и задней поверхностью резца. Но как только изменились свойства обрабатываемой поверхности, меняются параметры n, q, l_1 и l_1, а следовательно, меняется угол β_1, и равнодействующая отклоняется от вершины режущей кромки. Чтобы равнодействующая прошла через нее, необходимо устанавливать новый задний угол. Без саморегулирования зуба (без автоматической установки заднего угла) практически это невозможно. При обработке деталей фрезой нами сделана попытка осуществить такое крепление резца в сегменте-ножедержателе (рис. 1), чтобы он саморегулировался.

Покажем нож и сегмент-ножедержатель в большем масштабе (рис. 5).

Выберем начало координат на вершине режущей кромки. Ось Y направим к оси вращения фрезы. Сегмент-ножедержатель может поворачиваться относительно начала координат по цилиндрическому сечению радиусом R. При этом расстояние от вершины режущей кромки до оси вращения фрезы остается неизменным. На нож, как было показано выше (рис. 4), действует сила F, приложенная в точке C с координатами ξ_c и η_c, определяемыми формулами (15). Сила F направлена под углом β_1 к оси ξ_1, который определяется формулой (16).

Определим напряжения, возникающие в сегменте-ножедержателе в цилиндрическом сечении радиусом R. Для этого представим нож вместе с сегментом-ножедержателем в виде клина, который на рис. 5 выделен штриховыми линиями. Ширина клина равна ширине сегмента-ножедержателя и ширине зуба. Сила F является равнодействующей нагрузки, равномерно распределенной по ширине ножа. В результате мы получили классическую задачу о действии нагрузки на клин [4].

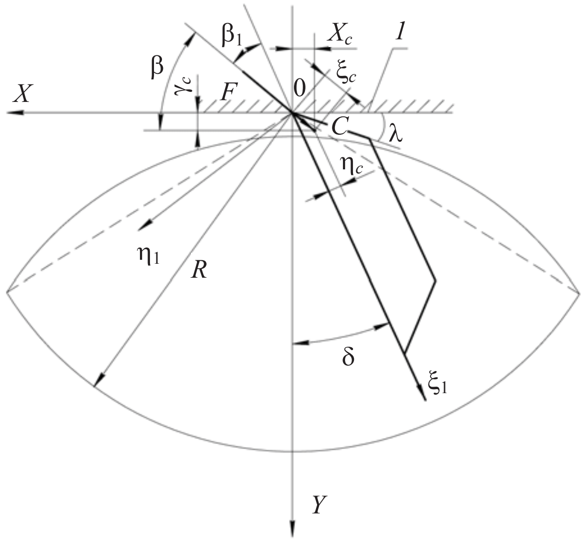


Рис. 5. Сегмент-ножедержатель и параметры, определяющие положение зуба касательная к траектории движения кромки лезвия

Покажем клин с равнодействующей силой F, приложенной в точке C и направленной под углом β к оси X (рис. 6). Определим β, x_c, y_c через известные величины $\delta, \beta_1, \xi_c, \eta_c$. Если задан угол δ, то

$$\beta = 90 - \delta - \beta_1. \quad (18)$$

Координаты точки C в системе координат XOY будут равны

$$\left.\begin{aligned} x_c &= \eta_c\cos\delta - \xi_c\sin\delta, \\ y_c &= \eta_c\sin\delta + \xi_c\cos\delta. \end{aligned}\right\} \quad (19)$$

Радиальными и цилиндрическими сечениями выделим из клина элементы и покажем напряжения, действующие по его граням (рис. 6).

Задачу определения напряжений будем решать через функцию напряжений. В качестве функции напряжений, как и работе [5], можно принять следующую:

$$\varphi = Ar\theta\sin\theta + Br\theta\cos\theta + C\theta + D\sin 2\theta,$$

которая удовлетворяет бигармоническому уравнению в полярной системе координат

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial\theta^2}\right)\left(\frac{\partial^2\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\varphi}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial^2\varphi}{\partial\theta^2}\right) = 0.$$

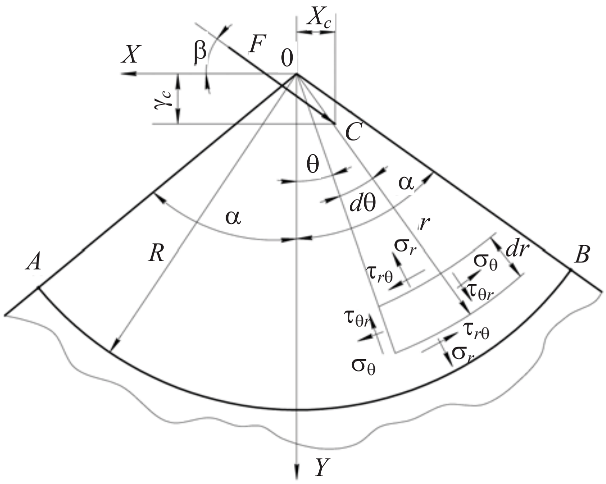


Рис. 6. Расчетная схема сегмента-ножедержателя, представленная в виде клина

Определив напряжения через функцию φ, получим

$$\left.\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{2}{r}(A\cos\theta - B\sin\theta) - \frac{4D}{r^2}\sin 2\theta,\\ \sigma_\theta &= 0,\\ \tau_{r\theta} &= \frac{1}{r^2}(C + 2D\cos 2\theta).\end{aligned}\right\} \quad (20)$$

Для определения постоянных A, B, C, D запишем краевое условие

$$\tau_{r\theta(\theta=\pm\alpha)} = 0,$$

которое с учетом (20) дает

$$C + 2D\cos 2\alpha = 0\,. \quad (21)$$

Кроме этого, запишем уравнения равновесия части клина, выделенной цилиндрическим сечение радиусом r.

$$\left.\begin{aligned}&\sum X = -b\int_{-\alpha}^{\alpha} r\sigma_r \sin\theta d\theta -\\ &-b\int_{-\alpha}^{\alpha} r\tau_{r\theta}\cos\theta d\theta - F\cos\beta = 0,\\ &\sum Y = b\int_{-\alpha}^{\alpha} r\sigma_r\cos\theta d\theta -\\ &-b\int_{-\alpha}^{\alpha} r\tau_{r\theta}\sin\theta d\theta + F\sin\beta = 0,\\ &\sum m_0 = b\int_{-\alpha}^{\alpha} r^2\tau_{r\theta} d\theta +\\ &+Fy_c\cos\beta + Fx_c\sin\beta = 0,\end{aligned}\right\} \quad (22)$$

где b – ширина клина, т. е. ширина сегмента-ножедержателя.

Подставив в уравнение (22) значения σ_r и $\tau_{r\theta}$ согласно (20), получим

$$-2A\int_{-\alpha}^{\alpha}\cos\theta\sin\theta\,\mathrm{d}\theta + 2B\int_{-\alpha}^{\alpha}\sin^2\theta\,\mathrm{d}\theta +$$
$$+\frac{4D}{r}\int_{-\alpha}^{\alpha}\sin 2\theta\sin\theta\,\mathrm{d}\theta - \frac{C}{r}\int_{-\alpha}^{\alpha}\cos\theta\,\mathrm{d}\theta -$$
$$-\frac{2D}{r}\int_{-\alpha}^{\alpha}\cos 2\theta\cos\theta\,\mathrm{d}\theta - \frac{F}{b}\cos\beta = 0;$$

$$2A\int_{-\alpha}^{\alpha}\cos^2\theta\,\mathrm{d}\theta - 2B\int_{-\alpha}^{\alpha}\sin\theta\cos\theta\mathrm{d}\theta -$$
$$-\frac{4D}{r}\int_{-\alpha}^{\alpha}\sin 2\theta\cos\theta\,\mathrm{d}\theta - \frac{C}{r}\int_{-\alpha}^{\alpha}\sin\theta\,\mathrm{d}\theta -$$
$$-\frac{2D}{r}\int_{-\alpha}^{\alpha}\cos 2\theta\sin\theta\,\mathrm{d}\theta + \frac{F}{b}\sin\beta = 0,$$

$$C\int_{-\alpha}^{\alpha}\mathrm{d}\theta + 2D\int_{-\alpha}^{\alpha}\cos 2\theta\,\mathrm{d}\theta + \frac{F}{b}y_c\cos\beta + \frac{F}{b}x_c\sin\beta = 0.$$

Поле интегрирования будем иметь:

$$B(2\alpha - \sin 2\alpha) + \frac{4D}{r}(2\sin^3\alpha - \sin\alpha) -$$
$$-\frac{2C}{r}\sin\alpha - \frac{F}{b}\cos\beta = 0; \quad (23)$$

$$A(2\alpha + \sin 2\alpha) + \frac{F}{b}\sin\beta = 0; \quad (24)$$

$$2C\alpha + 2D\sin 2\alpha +$$
$$+\frac{F}{b}(y_c\cos\beta + x_c\sin\beta) = 0. \quad (25)$$

Из уравнения (24)

$$A = -\frac{F\sin\beta}{b(2\alpha + \sin 2\alpha)}\,. \quad (26)$$

Решая совместно (21), (23) и (25), получим

$$B = \frac{F\cos\beta}{b(2\alpha - \sin 2\alpha)}; \quad (27)$$

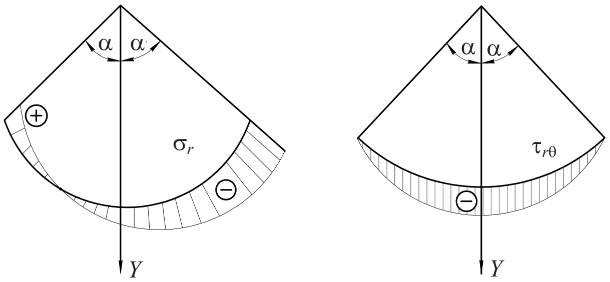
$$C = -\frac{F(y_c\cos\beta + x_c\sin\beta)\cos 2\alpha}{b(2\alpha\cos 2\alpha - \sin 2\alpha)}; \quad (28)$$

$$D = \frac{F(y_c\cos\beta + x_c\sin\beta)}{2b(2\alpha\cos 2\alpha - \sin 2\alpha)}. \quad (29)$$

Подставив (26)–(29) в (20), получим напряжения

$$\left.\begin{aligned}&\sigma_r = -\frac{2F}{br}\left(\frac{\sin\beta\cos\theta}{2\alpha + \sin 2\alpha} + \frac{\cos\beta\sin\theta}{2\alpha - \sin 2\alpha} +\right.\\ &\left.+\frac{(y_c\cos\beta + x_c\sin\beta)\sin 2\theta}{r(2\alpha\cos 2\alpha - \sin 2\alpha)}\right),\\ &\tau_{r\theta} = \frac{F}{br^2}\frac{y_c\cos\beta + x_c\sin\beta}{2\alpha\cos 2\alpha - \sin 2\alpha}(\cos 2\theta - \cos 2\alpha),\\ &\sigma\theta = 0.\end{aligned}\right\} \quad (30)$$

При $r = R$ формулы (30) дают напряжения в цилиндрическом сечении AB (рис. 6) на границе сегмента-держателя с корпусом фрезы. На рис. 7 показаны нормальные и касательные напряжения, возникающие в цилиндрическом сечении AB.



а *б*

Рис. 7. Распределение напряжений по цилиндрическому сечению *AB*:
а – эпюра нормальных радиальных напряжений;
б – эпюра касательных напряжений

При $r = R$, $\theta = \alpha$

$$\sigma_r = -\frac{2F}{Rb}\left(\frac{\sin\beta\cos\alpha}{2\alpha+\sin 2\alpha} + \frac{\cos\beta\sin\alpha}{2\alpha-\sin 2\alpha} + \right.$$

$$\left. + \frac{(y_c\cos\beta + x_c\sin\beta)\sin 2\alpha}{R(2\alpha\cos 2\alpha - \sin 2\alpha)}\right).$$

При $r = R$, $\theta = -\alpha$

$$\sigma_r = -\frac{2F}{Rb}\left(\frac{\sin\beta\cos\alpha}{2\alpha+\sin 2\alpha} - \frac{\cos\beta\sin\alpha}{2\alpha-\sin 2\alpha} - \right.$$

$$\left. - \frac{(y_c\cos\beta + x_c\sin\beta)\sin 2\alpha}{R(2\alpha\cos 2\alpha - \sin 2\alpha)}\right).$$

При $r = R$, $\theta = 0$

$$\sigma_r = -\frac{2F}{Rb}\frac{\sin\beta}{2\alpha+\sin 2\alpha}$$

При $r = R$, $\theta = \pm\alpha$, $\tau_{r\theta} = 0$.
При $r = R$, $\theta = 0$.

$$\tau_{r\theta} = \frac{F}{R^2 b}\frac{y_c\cos\beta + x_c\sin\beta}{2\alpha\cos 2\alpha - \sin 2\alpha}\cdot(1-\cos 2\alpha). \quad (31)$$

Так как α не может быть меньше $45°$, то знаменатель $2\alpha\cos 2\alpha - \sin 2\alpha$ в формуле (31) будет всегда отрицательным. Поэтому знак касательных напряжений $\tau_{r\theta}$ зависит от знака числителя $y_c\cos\beta + x_c\sin\beta$.

Если $\beta < 45°$, а $|x_c| < |y_c|$, то $y_c\cos\beta + x_c\sin\beta > 0$ и в цилиндрическом сечении AB возникают отрицательные касательные напряжения $\tau_{r\theta}$.

При отрицательных касательных напряжениях сегмент-ножедержатель будет поворачиваться относительно точки O против часовой стрелки, если трение по цилиндрической поверхности в месте соединения его с корпусом будет малым, близким к нулю. Этот поворот осуществляется до тех пор, пока касательные напряжения в цилиндрическом сечении AB не окажутся равными нулю или близкими к нулю. Как видно из формулы (30), касательные напряжения будут равны нулю, когда плечо силы F относительно точки O будет равно нулю, т. е.

$$h = y_c\cos\beta + x_c\sin\beta = 0, \quad (32)$$

Когда сегмент-ножедержатель поворачивается против часовой стрелки на некоторый небольшой угол δ_1, то задний угол λ уменьшается и давление на заднюю грань а также длина контакта задней грани с обрабатываемой деталью увеличиваются, а следовательно, растет сила F_1, принимает значения $F_1^* > F_1$ и смещается от точки O (рис. 8). При этом давление на переднюю грань уменьшается и уменьшается длина контакта передней грани резца с материалом. Следовательно, уменьшается сила F_2, принимая значение $F_2^* \langle F_2$, и смещается к точке O. Абсцисса точки приложения C^* равнодействующей F^* по абсолютной величине становится больше, ордината меньше.

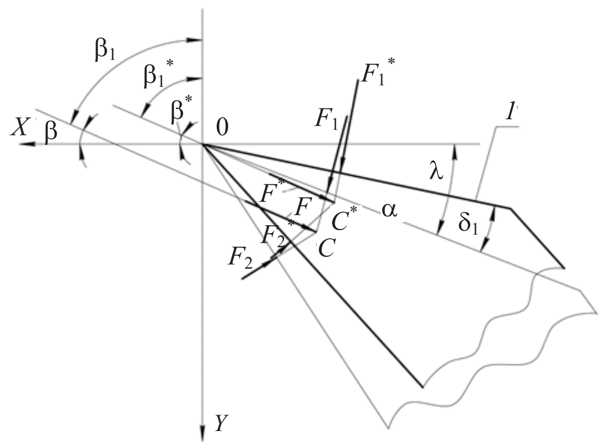


Рис. 8. Изменение положения резца и сил, действующих на него при повороте сегмента-ножедержателя:
1 – задняя грань

Заключение. Таким образом, угол наклона равнодействующей от оси Y увеличивается и сила F^* проходит через начало координат, т. е. через вершину режущей кромки лезвия. Плечо h силы F^* относительно точки O равно нулю ($h = 0$). В этом случае касательные напряжения в цилиндрическом сечении AB равны нулю, а распределение нормальных напряжений имеет вид, показанный на рис. 7, *а*, но с несколько иными координатами. Зуб при этом работает в наиболее благоприятных для него условиях, т. к. равнодействующая проходит через вершину режущей кромки лезвия или отклоняется на очень малую величину, если имеется небольшое трение в месте соединения сегмента-ножедержателя с корпусом фрезы.

Если при дальнейшей работе по каким-либо причинам (сучки, изменилось направление волокон древесины и т. д.) плечо равнодействующей окажется отрицательным ($h < 0$), то касательные напряжения $\tau_{r\theta}$ согласно формуле (30) станут положительными. При этом сегмент-ножедержатель будет поворачиваться по часовой стрелке до тех пор, пока равнодействующая не пройдет через вершину режущей кромки лезвия и касательные напряжения окажутся равными нулю. И так все время при работе резец вместе с сегментом-ножедержателем будет стремиться занять положение, при котором касательные напряжения равны нулю, а равнодействующая проходит через вершину режущей кромки лезвия. Резец будет постоянно саморегулироваться, занимая положение, наиболее благоприятное для его работы при данных свойствах древесины в зоне обработки.

Литература

1. Цилиндрическая фреза: а. с. 666080, МПК В 27G 13/02 / Л. В. Лабурдов, А. П. Клубков, А. П. Фридрих (СССР). – № 2424015/29–15; заявл. 29.11.76; опубл. 05.06.79 // Бюл. № 21. – 2 с.

2. Дешевой, М. А. Механическая технология дерева / М.А. Дешевой. – Л., 1934. – 511 с.

3. Воскресенский, С. А. Резание древесины / С. А. Воскресенский. – М.: Гослесбумиздат, 1955. – 199 с.

4. Хан, Х. Теория упругости. Основы линейной теории и ее применения / пер. с нем. – М.: Мир, 1988. – 344 с.

5. Использование силовых воздействий на элементы сборной фрезы при разработке рефлекторных самонастраивающихся инструментов / А. А. Гришкевич [и др.] // Материалы, технологии, инструменты: междунар. науч.-техн. журн. – 2007. – Т. 11, № 12. – С. 85–91.

Поступила 01.04.2010