

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 674.05.621.9.02

А. П. Клубков, доцент; С. С. Макаревич, профессор; П. В. Рудак, аспирант

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ ИЗЛОМА КОНЧИКА ЛЕЗВИЯ РЕЗЦА В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАБОТЫ

In work theoretical representations on process of a break of top of a cutting element in an initial stage of work are considered.

Зависимости усилия резания, работы резания и качества обработки от остроты режущего лезвия убедительно указывают на то, что чем оно острее, тем значительно облегчается обрабатываемость древесины и древесных материалов резанием. Это обусловлено тем, что на лезвии более острого резца легче создать контактное напряжение, необходимое для разрушения обрабатываемого материала с его разделением на части. Исходя из сказанного, казалось бы, целесообразно доводить радиус округления лезвия до возможно меньшего значения, то есть близкого к нулю. При этом напряжение в зоне лезвия при небольшом внешнем усилии, приложенном к лезвию, могло бы достигнуть значительной величины. В связи с этим возникает вопрос, до какой величины практически возможно и целесообразно доводить остроту лезвия?

Очевидно, что абсолютно острое лезвие, то есть лезвие, у которого $\rho = 0$, — понятие чисто теоретическое. Практически получить очень острое лезвие ($\rho \rightarrow 0$), порядка долей микрона, обычными методами заточки и доводки невозможно.

Кривая затупления режущего элемента свидетельствует о двух фазах износа: приработочного и монотонного. Дереворежущий инструмент работает в основном в этих фазах. Первая, более интенсивная фаза износа (приработочный износ носит характер микроазарийного). Вторая фаза носит монотонный характер; исследованию факторов этого износа посвящены работы профессора А. Э. Грубе и многих других исследователей. Вопросам приработочного износа уделено значительно меньше внимания со стороны экспериментаторов. В основном исследовались теоретические аспекты этого вопроса.

Профессор М. Д. Дешевой [1] доказал, что при обычных угловых параметрах дереворежущего инструмента при первом же движении подачи древесины произойдет неизбежная деформация режущего лезвия.

Им была предложена формула для определения величины излома кончика резца для

условий, при которых резец абсолютно острый; нагрузка на резец сосредоточена в вершине резца; опасное сечение перпендикулярно биссектрисе угла заострения; разрушающими напряжениями являются нормальные напряжения от изгибающего момента.

По этой формуле величина излома кончика резца

$$X = \frac{3 \cdot P_0 \cdot \left(\frac{\beta}{2} + \alpha \right)}{2 \cdot K_{ст} \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}}, \quad (1)$$

где X — расстояние от вершины резца до места излома, измеренное в направлении биссектрисы угла заострения; P_0 — сила сопротивления резанию, приходящаяся на единицу длины режущей кромки; β — угол заострения; α — задний угол; $K_{ст}$ — предел прочности сжатию.

Профессор С. А. Воскресенский [2], оперируя бесконечно малыми значениями усилия, действующего на кромку резца dP_u , и бесконечно малой длиной грани резца dx , получил формулы для определения места излома кончика абсолютно острого резца:

$$X = \frac{3 \cdot P_u}{8 \cdot \sigma_u \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}}, \quad (2)$$

где P_u — сила, вызывающая изгиб кончика резца; σ_u — предел прочности материала резца на изгиб; β — угол заострения резца;

Интересные результаты исследований получены австралийскими учеными [3].

Сообщается о проведении исследований износа зубьев пил с применением новых неразрушающих методов контроля. Износ инструмента устанавливается, как правило, путем измерения такого интегрального параметра, как радиус округления режущего лезвия, а также определения потерь массы и объема резца или уменьшения его площади или длины. Эти ме-

тоды являются довольно надежными и отработанными, но имеют ряд недостатков, основными из которых являются необходимость останковки оборудования для снятия режущего инструмента, что вызывает снижение производительности оборудования или эксперимента.

Предполагается метод определения износа инструмента по количеству металла, которое теряет резец в процессе резания при контакте с обрабатываемым материалом. В первой фазе износа, которая продолжается максимально 15 мин, происходит удаление объемов 1 и 2 резца (рис. 1), а во второй фазе – объемов 3 и 4.

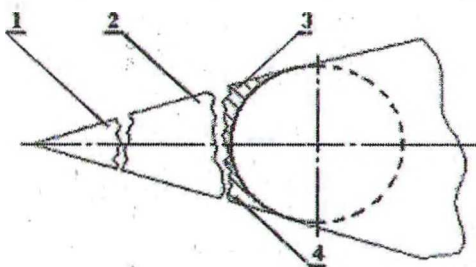


Рис. 1. Схема износа и разрушения резца [3]

При экспериментальной проверке метода применялась специальная установка на базе атомного спектрометра, включающая регулятор тока, печь для сжигания древесных отходов и другую аппаратуру и приборы. В результате проведенных экспериментов с применением химического анализа установлено, что потери металла резца на один килограмм отходов древесины в первой фазе износа составляют в зависимости от времени резания (1; 25; 30 мин) от 2,56 до 0,09 г.

Во второй фазе они значительно меньше и соответственно составляют 0,16–0,03 г на один килограмм отходов древесины.

Таким образом, экспериментально подтверждено, что в начальный момент врезания резца в древесину происходит удаление большого объема материала.

Косвенно явление облома кончика лезвия резца было получено в опытах по исследованию влияния радиуса округления лезвия на шероховатость обработанной поверхности древесины сосны и дуба [4]. Так, при радиусе округления лезвия $\rho = 5$ мкм шероховатость была выше, чем при $\rho = 10$ мкм.

Приведенные формулы 1 и 2 не учитывают характера распределения нагрузки, действующей со стороны обрабатываемого материала на переднюю поверхность инструмента. В дальнейшем нами учтены виды нагрузок и получены формулы для расчета места облома лезвия резца.

Для резца можно считать силу F_R как равнодействующую сплошной нагрузки, распределенной по длине l , представляющей проекцию длины контакта стружки с резцом на биссектрису угла β .

Если начало координат выбрать на конце лезвия, то любой из представленных на рис. 2 предполагаемый вариант распределения нагрузки может быть представлен формулой

$$q_x = q_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{x}{l} \right)^n \right], \quad (3)$$

где q_x – интенсивность нагрузки на любом расстоянии x от начала координат при $0 \leq x \leq l$; q_0 – интенсивность нагрузки в начале координат; n – показатель степени, от которого зависит закон изменения интенсивности нагрузки; l – проекция длины контакта стружки с передней поверхностью резца на биссектрису угла заострения ножа β .

Необходимо учесть, что q_x и q_0 – это интенсивности нагрузки, приходящейся на единицу длины биссектрисы угла β . Если же задана интенсивность нагрузки на единицу площади q_x^* или q_0^* , то, соответственно, интенсивность

$$q_x = q_x^* \cdot b \text{ или } q_0 = q_0^* \cdot b,$$

где b – ширина резца в направлении оси Z (рис. 2, а).

Значение l с достаточной степенью точности может быть определено по формуле

$$l = H \cdot \frac{\cos \frac{\beta}{2}}{\cos \gamma}, \quad (4)$$

где H – толщина срезаемого слоя.

Если эпюра, описывающая закон изменения интенсивности нагрузки, ограничена равномерно распределенной нагрузкой (рис. 2, а), то $n \rightarrow \infty$.

В случае ограничения треугольной нагрузкой (рис. 2, б) $n = 1$, при ограничении выпуклой параболой (рис. 2, в) $n > 1$. Если же она ограничена вогнутой параболой, то $0 < n < 1$.

Именно под воздействием силы F_R вершина лезвия изгибается и в некотором его сечении $x - x$ на расстоянии X от вершины O абсолютно острого лезвия неизбежно отламывается. Найдем аналитическую связь между параметрами лезвия режущего инструмента и величиной X .

Изгибающий момент в сечении $x - x$ равен

$$M_x = F_R \cdot X_c. \quad (5)$$

Напряжение на изгиб в этом сечении определяется по формуле (6).

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x}, \quad (6)$$

где M_x – изгибающий момент в сечении на расстоянии X от начала координат; W_x – момент сопротивления поперечного сечения резца на расстоянии X от начала координат.

Равнодействующая F_R равна площади участка эпюры сплошной нагрузки, расположенной на расстоянии X от начала координат:

$$F_R = \int_0^x q(x_1) \cdot dx_1 = \int_0^x q_0 \cdot \left(1 - \frac{x_1^n}{l^n}\right) \cdot dx_1 =$$

$$= q_0 \cdot x^2 \cdot \left[1 - \frac{1}{n+1} \cdot \left(\frac{x}{l}\right)^{n+1}\right] \quad (7)$$

при $x = l$,

$$F_l = q_0 \cdot l \cdot \left(1 - \frac{1}{n+1}\right) = \frac{q_0 \cdot l \cdot n}{n+1} = F_{изг},$$

откуда $q_0 = \frac{n+1}{nl} \cdot F_{изг}$. (8)

Расстояние X_c определяется по формуле

$$X_c = X - \frac{S_y}{F_R}, \quad (9)$$

где S_y – статический момент относительно оси y площади эпюры сплошной нагрузки, расположенной на расстоянии X .

$$S_y = \int_0^x x_1 \cdot q(x_1) \cdot dx_1 =$$

$$= \int_0^x x_1 \cdot q_0 \cdot \left(1 - \frac{x_1^n}{l^n}\right) dx_1 = \quad (10)$$

$$= q_0 \cdot x^2 \cdot \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{n+2} \cdot \left(\frac{x}{l}\right)^{n+2}\right].$$

Тогда изгибающий момент, согласно уравнению (5), будет равен:

$$M_x = F_R \cdot \left(x - \frac{S_y}{F_R}\right) = F_R \cdot x - S_y =$$

$$= q_0 \cdot x^2 \cdot \left[1 - \frac{1}{n+1} \cdot \left(\frac{x}{l}\right)^{n+1}\right] -$$

$$- q_0 \cdot x^2 \cdot \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{n+2} \cdot \left(\frac{x}{l}\right)^{n+2}\right],$$

$$M_x = q_0 \cdot x^2 \cdot \left[\frac{1}{2} - \frac{a^n}{(n+1)(n+2)}\right], \quad (11)$$

где $a = \frac{x}{l}$.

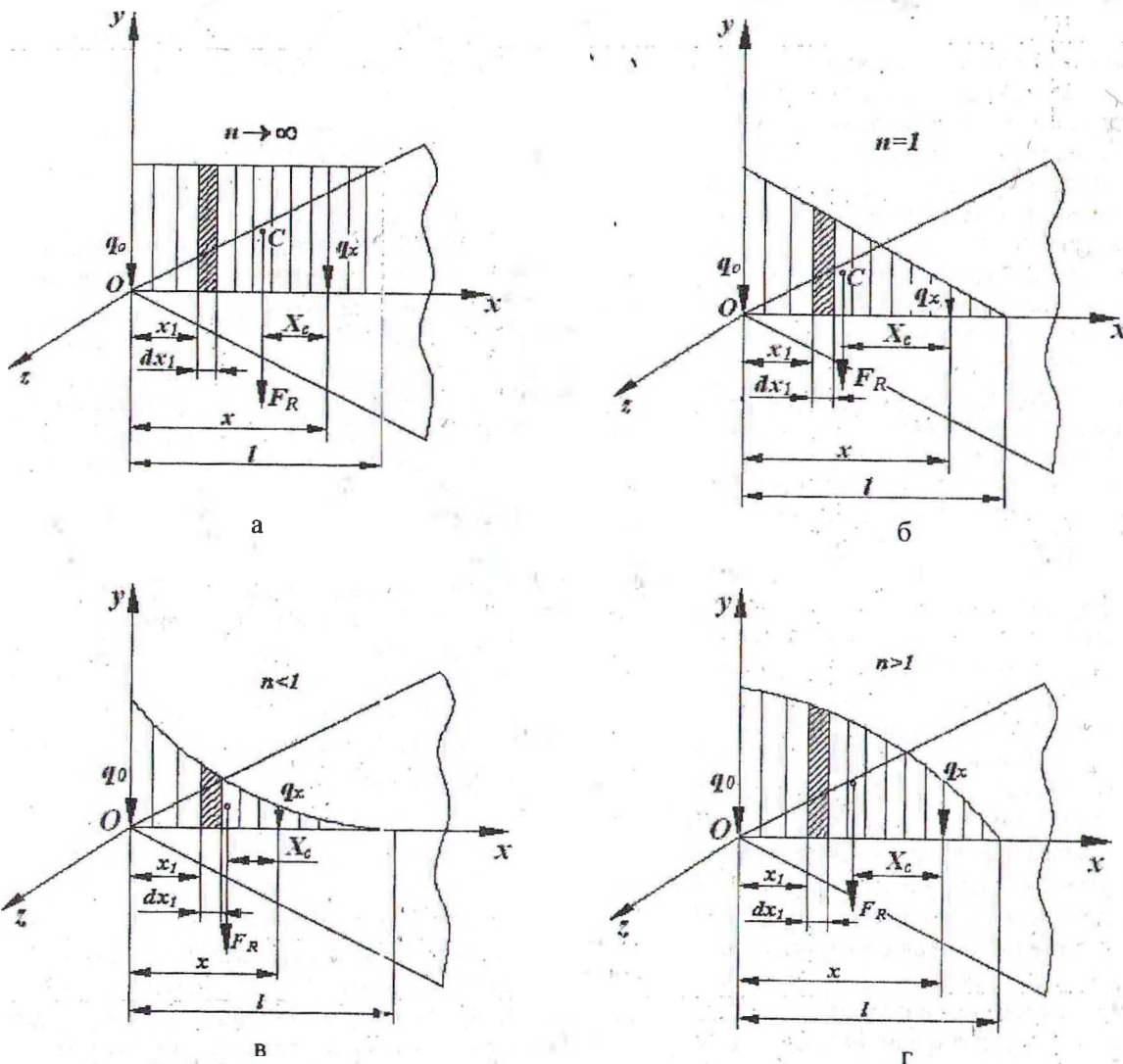


Рис. 2. Схемы распределения нагрузок на лезвии инструмента

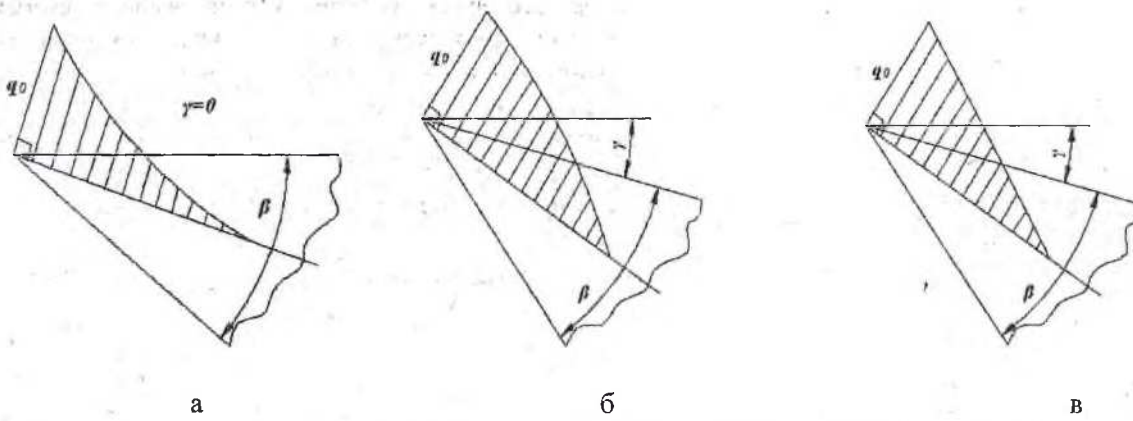


Рис. 3. Предполагаемые эпюры нагрузок на переднюю поверхность резца

Момент сопротивления на расстоянии x равен

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

где $h_x = 2 \cdot x \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$ — высота резца в сечении x .

Тогда момент сопротивления сечения с учетом h_x будет равен

$$W_x = \frac{2}{3} \cdot b \cdot x^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}. \quad (12)$$

С учетом (11) и (12) напряжение в любом сечении резца при дугообразной вогнутой (рис. 3, а), дугообразной выпуклой (рис. 3, б), треугольной (рис. 3, в) эпюрах равно:

$$\sigma_x = \frac{3}{2} \cdot \frac{q_0}{b \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}} \left[\frac{1}{2} - \frac{a^n}{(n+1) \cdot (n+2)} \right]. \quad (13)$$

Если в выражение (13) подставить значение q_0 из (8), то

$$\sigma_{x \text{ изг}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_R}{b \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}} \cdot \frac{n+1}{n \cdot l} \times \left[\frac{1}{2} - \frac{a^n}{(n+1) \cdot (n+2)} \right]. \quad (14)$$

В некоторых случаях (главным образом при продольном резании древесины на больших S_z , когда этот процесс сопровождается образованием опережающей трещины) закон распределения нагрузки может принять вид, показанный на рис. 4. Такое распределение нагрузки менее опасно для лезвия. Напряжения, возникающие при этом, не могут вызвать облом даже тонких сечений лезвия.

В случае равномерно распределенной нагрузки [5] в уравнении (14) следует положить $n \rightarrow \infty$. Разделив числитель и знаменатель (14) на n и учитывая, что $a \leq 1$, найдём $\sigma_{x \text{ изг}}$ при $n \rightarrow \infty$.

Согласно (7), имеем:

$$\lim \sigma_{x \text{ изг}} = \lim \frac{3}{2} \cdot \frac{F_R}{b \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}} \cdot \frac{1 + \frac{1}{n}}{l} \cdot$$

$$\left[\frac{1}{2} - \frac{a^n}{(n+1) \cdot (n+2)} \right] =$$

$$= \frac{3}{4} \cdot \frac{F_R}{b \cdot l \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}} = \sigma_{\sigma \text{ изг}}$$

$$\lim F_R = \lim q_0 \cdot \frac{l \cdot n}{n+1} =$$

$$= \lim q_0 \cdot \frac{l}{1 + \frac{1}{n}} = q_0 \cdot l.$$

Тогда напряжение

$$\sigma_{\sigma \text{ изг}} = \frac{3}{4} \cdot \frac{q_0}{b \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}},$$

или, учитывая, что $q_0 = q_x = q^* \cdot b$,

$$\sigma_{\sigma \text{ изг}} = \frac{3}{4} \cdot \frac{q^*}{\operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}} = \frac{3}{4} \cdot \frac{F}{l \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}}. \quad (15)$$

В уравнении (15) расчет ведется на единицу ширины резца. Поэтому F — равнодействующая сплошной нагрузки q^* , приходящейся на единицу ширины резца. При этом облом может произойти только при очень малом угле заострения β , при резании твердых материалов.

Рассмотрим вопрос о величине напряжений непосредственно у лезвия (если в (14) $a \rightarrow 0$ или $x = 0$):

$$\sigma_{\sigma \text{ изг}} = \frac{3}{4} \cdot \frac{F_R \cdot (n+1)}{n \cdot l \cdot b \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}}. \quad (16)$$

Из уравнения (16) следует, что при $a = 0$ величина напряжения имеет конечное значение, следовательно, если угол заострения ножа β достаточно велик, лезвие не обязательно должно иметь излом под действием силы F_R .

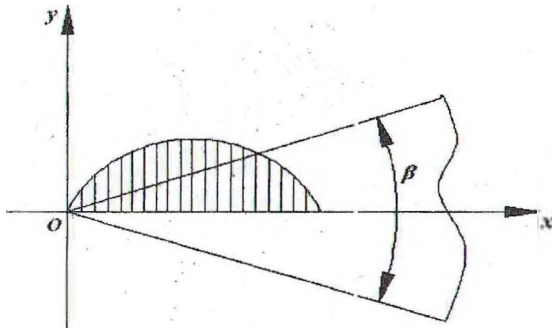


Рис. 4. Предполагаемый закон изменения распределения нагрузки на переднюю поверхность резца при продольном резании древесины

Заключение.

Целый ряд ученых, как указывает профессор С. А. Воскресенский, доказали неизбежность излома острого кончика резца в самом начале работы. Однако аналитические зависимости, точно характеризующие параметр прочности режущего лезвия, до сих пор не получены. Расчетные схемы, принятые для решения задачи, все же не реальны, как и математические выражения, полученные на их основе.

Уравнения по определению величин излома режущего лезвия инструмента нельзя в полной мере использовать для решения важных практических задач в общей проблеме износостойкости деревообрабатывающего инструмента.

Все еще нет конкретных сведений о законах распределения нагрузки на рабочие поверхности инструмента для различных условий резания. Не исследован вопрос о влиянии структуры инструментального материала на его прочность в тонких слоях, соизмеримых с режущим лезвием и при различных условиях нагружения, не учтена наследственность металла, влияние остаточных напряжений, возникающих при заточке инструмента, шероховатость рабочих поверхностей и т. д.

Пока можно считать бесспорным, что начальное затупление резца происходит главным образом в результате обломов или отгибов [1, 5].

Литература

1. Дешевой М. А. Механическая технология дерева. — Л.: Кубуч, 1934.
2. Воскресенский С. А. Резание древесины. — М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. — 199 с.
3. Krilov A. Non destructive method for continuous sawtooth wear assessment. «Holz Roh- und werkst». — 1979. — 37, № 9, 353–358 (англ.; рез. нем.).
4. Клубков А. П. Исследование влияния основных технологических факторов на силовые и качественные характеристики при фрезеровании древесины: Дис. ... канд. техн. наук: — Мн., 1969. — 249 с.
5. Бершадский А. Л. Расчет режимов резания. М.: Лесная промышленность, 1967. — 173 с.