

отделения стружки рассматривается как последовательность двух стадий: формирования дефектов типа “трещина” и ее развитие. На первом этапе, в зоне внедрения лезвия, в древесине формируются области повреждений (смятие волокон, потеря их устойчивости, разрыв), которые можно рассматривать как области возникновения начальных трещин. На втором этапе происходит развитие наиболее опасной трещины в неустойчивом режиме.

В заключение отметим, что в современных условиях совершенствование расчетных методов в области резания древесины ведется в различных направлениях. Все они части единой теории резания древесины.

#### Библиографический список

1. Гриневич, С.А. Разработка режимов цилиндрического фрезерования кромок фанеры общего назначения [Текст]: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук/ С.А. Гриневич; Минск: БГТУ, 2005. 19 с.
2. Грубе, А.Э. Основы теории и расчета деревообрабатывающих станков, машин и автоматических линий [Текст]: учебник/ А.Э. Грубе, В.И. Санев; М.: Лесн. пром-сть, 1973. 384 с.
3. Ивановский, Е.Г. Резание древесины [Текст]: учебное пособие/ Е.Г. Ивановский; М.: Лесн. пром-сть, 1975. 200 с.
4. Бершадский, А.Л. Резание древесины [Текст]: учебное пособие/ А.Л. Бершадский; М.: Гослесбумиздат, 1956. 328 с.
5. Соловьев А.А. Решение задач по резанию древесины [Текст]: учебное пособие/ А.А. Соловьев; М.: МЛТИ, 1981. 60 с.
6. Манжос, Ф.М. Дереворежущие станки [Текст]: учебник/ Ф.М. Манжос; М.: Лесн. пром-сть, 1974. 455 с.
7. Глебов, И.Т. Расчет режимов резания древесины [Текст]: монография/ И.Т. Глебов; Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 156 с.
8. Орленко, Л.В. К вопросу исследования процесса резания древесины [Текст] Л.В. Орленко, В.В. Соловьев, А.М. Моргачев; Лесной журнал № 4, 1997.

**Гришкевич А.А.** (БГТУ, г. Минск, РБ) [dosy@bstu.unibel.by](mailto:dosy@bstu.unibel.by)

## **РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЛЕЗВИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ОТ ДЕЙСТВИЯ ИЗГИБАЮЩЕЙ СИЛЫ ACCOUNT ON STRENGTH OF EDGE WOODCUTTING TOOL FROM ACTIVITY OF CURVING FORCE**

Износ режущего инструмента при обработке древесины и древесных материалов протекает весьма разнообразно в связи с различными условиями его эксплуатации. Эти условия могут резко изменяться в зависимости от обрабатываемого материала, геометрии и материала режущего инструмента, режимов резания, жесткости системы «станок-инструмент-деталь».

При недостаточной прочности лезвия инструмента его разрушение происходит путем хрупкого скалывания и выкрашивания или в результате пластической деформации и последующего среза.

По современным представлениям макроскопическое разрушение при резании материалов является результатом постепенного развития и накопления микротрещин, которые с увеличением внешней нагрузки сливаются в макротрещину [1].

Несмотря на то, что износ и затупление режущего инструмента является важнейшим показателем его работоспособности, физическая природа изнашивания при резании материалов изучена еще недостаточно вследствие исключительной сложности контактных процессов, протекающих на передней и задней поверхностях, а также режущей кромке лезвия.

Кривая затупления свидетельствует о двух фазах износа [2]: приработочного и монотонного. Первая, более интенсивная фаза износа (приработочный износ) носит характер микроаварийного износа-отрыва, выкрашивание целых блоков металла, характеризуемого появлением микропрофиля (шероховатости) режущей кромки острозаточенного лезвия [3]. Вторая фаза носит монотонный характер и является результатом сложного теплового и химико-механического процессов, протекающих в зоне контакта рабочих поверхностей лезвия инструмента с обрабатываемым материалом.

Проф. М.А. Дешевой [4] в 1934 г. доказал, что при угловых параметрах лезвия  $\beta$  при первом же контакте с обрабатываемым материалом произойдет разрушение около режущей кромки. Величину разрушения М.А. Дешевой рассчитывал по формуле

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

Формула выведена для таких условий, когда лезвие считается абсолютно острым; нагрузка на лезвии сосредоточена на режущей кромке; опасное сечение перпендикулярно биссектрисе угла заострения; разрушающими напряжениями являются нормальные напряжения от изгибающего момента. Касательные напряжения от поперечных сил не учитываются.

Проф. С.А. Воскресенский [5], оперируя бесконечно малыми величинами  $dP_u$  и  $dx$  путем решения дифференциального уравнения, связывающего бесконечно малые обломы  $dx$  от изгибающей силой  $dP_u$  получил приближенную формулу для определения места излома абсолютно острого лезвия

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

Проф. Резник Н.Е. утверждает [6], что под действием касательной силы резания кромка лезвия инструмента изгибается и в некотором его сечении  $x-x$  на расстоянии  $y$  от вершины абсолютно острого лезвия неизбежно отламывается. Формула имеет следующий вид

$$y = \frac{3}{8} \frac{P_K}{\sigma_u \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}}, \quad (3)$$

где величина  $y$  определяет собой место излома лезвия.

Основной недостаток приведенных формул заключается в том, что все они получены для абсолютно острого лезвия, а сосредоточенная сила приложена на режущей кромке.

Значения  $X$  или  $y$ , подсчитанные по (1–3) дают завышенные и не сопоставимые друг с другом результаты. Так, для твердого сплава ВК15, для которого  $\sigma_u = 1765 \text{ Н/мм}^2$ , при угловых параметрах  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\beta = 40^\circ$  и усилии  $P = 100 \text{ Н}$ , величина излома составляет:

по (1)  $x = 0,185 \text{ мм}$ ; по (2)  $x = 0,08 \text{ мм}$ ; по (3)  $y = 0,64 \text{ мм}$ .

Такие схемы нагружения передней поверхности лезвия могут иметь место только при очень малых толщинах срезаемого слоя и малых толщинах стружек.

Целесообразнее определять не величину излома, а значение возникающих напряжений в сечении ножа и сопоставлять их с пределом прочности на изгиб.

Современные исследования показывают, что силовое воздействие на рабочую поверхность лезвия режущего инструмента при обработке материалов имеет нагрузку различного закона распределения, что подтверждает так же характер изнашивания рабочих поверхностей лезвия фрезерного инструмента [7–9]

Изучение механизма разрушения (износа) определение его закономерностей, разработка теоретических методов расчета прочности лезвия инструмента, являются актуальными вопросами теории резания древесины и древесных материалов.

Характер и интенсивность износа дереворежущего инструмента в большей степени зависят от схемы нагружения рабочих поверхностей лезвия. Так, вероятность хрупкого разрушения режущей кромки при цилиндрическом фрезеровании древесины и древесных материалов сильно возрастает в момент выхода лезвия из зоны контакта с обрабатываемым материалом.

Ссылаясь на вышеизложенное, устанавливаем, что для повышения точности расчета хрупкой прочности лезвия, очевидно, необходимо вести расчет не на нагрузку, сосредоточенную на режущей кромке, а на нагрузку, распределенную на некоторой ширине поверхности лезвия. Именно таким образом ведется расчет прочности лезвия инструмента в научных трудах [1, 10, 11, 12 и др.]

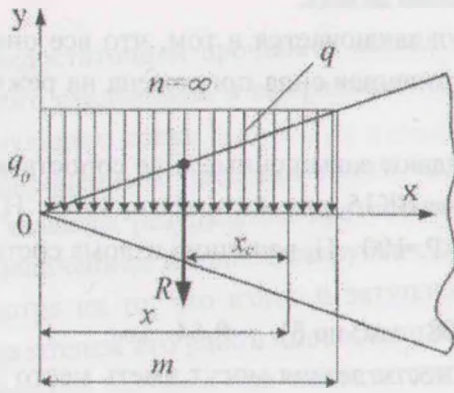
В основу предлагаемых теоретических расчетов положено предположение о том, что на переднюю поверхность лезвия действует некоторая сплошная нагрузка, равномерно распределенная по ширине режущей кромки, и имеющая криволинейный характер распределения по длине контакта.

На рисунке 1 представлены основные виды нагрузок.

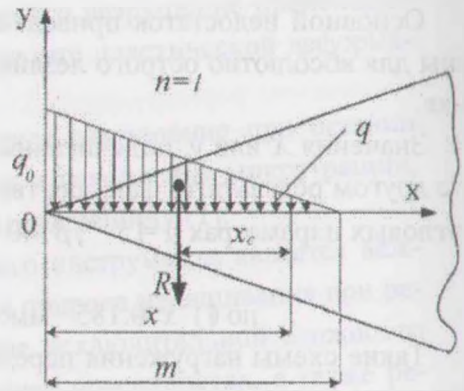
В числе факторов, влияющих на характер распределения нагрузки на переднюю поверхность лезвия, наиболее существенными являются: геометрические параметры инструмента, свойства обрабатываемого материала.

С увеличением переднего угла резания характер нагрузки, действующей на переднюю поверхность лезвия, значительно изменяется. Если передний угол равен нулю, то основная часть нагрузки приходится на режущую кромку лезвия.

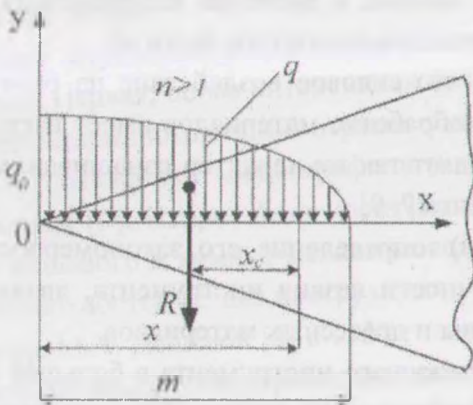
В работе [10] указывается на то, что характер эпюры распределения нагрузки в большей степени зависит от свойств обрабатываемого материала.



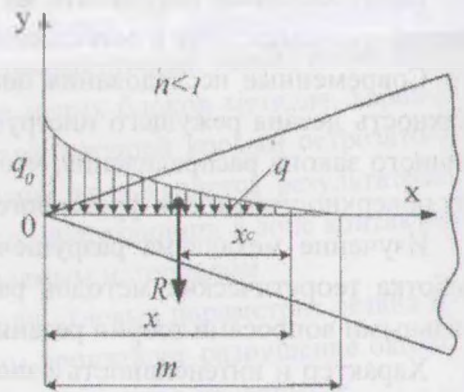
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1 – Схемы распределения давлений на режущую кромку ножа: а – равномерно распределенная нагрузка; б – нагрузка, распределенная по закону треугольника; в – нагрузка, распределенная по закону выпуклой параболы; г – нагрузка, распределенная по закону вогнутой параболы

По-видимому, при резании древесины и древесных материалов могут иметь место все четыре вида нагрузки на переднюю поверхность лезвия.

Мало вероятно, чтобы нагрузка на переднюю поверхность лезвия от сходящей по ней стружки могла быть равномерно распределенной. При фрезеровании древесных материалов (ДСтП, МДФ), когда стружка практически не образуется, то здесь даже можно предположить, что действует сосредоточенная нагрузка.

Для фрезерного ножа можно считать силу  $F_u$ , как равнодействующую сплошной нагрузки, распределенной на длине  $m$ , представляющей проекцию длины контакта стружки с резцом передней поверхности лезвия на биссектрису угла заострения  $\beta$ .

Если начало координат выбрать на режущей кромке лезвия, то любой из представленных на рисунке 1 случаев распределения нагрузки может быть представлен формулой:

$$q = q_0 \left[ 1 - \left( \frac{x}{m} \right)^n \right] \quad (4)$$

Необходимо иметь в виду, что  $q$  и  $q_0$  – это интенсивности нагрузки, приходящиеся на единицу длины биссектрисы угла заострения  $\beta$  (рис. 2).

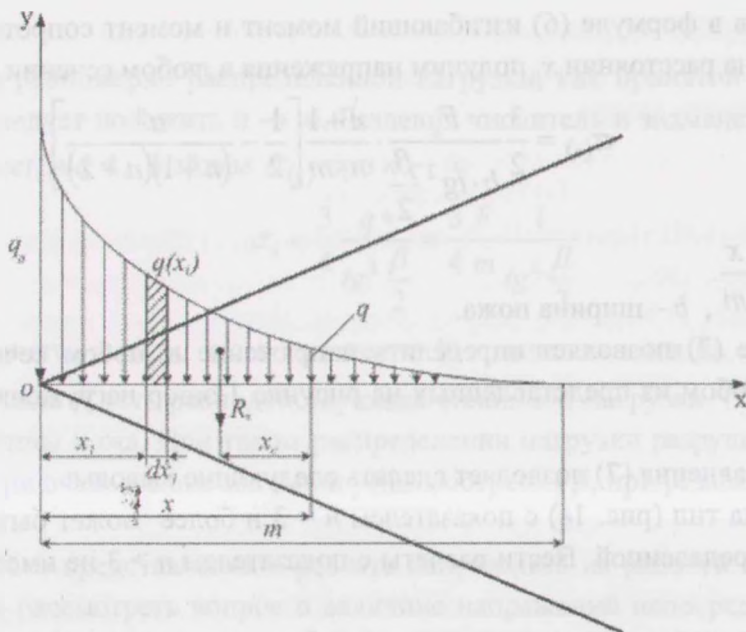


Рисунок 2 – Схема для расчета нагрузок

Величина  $m$  с достаточной степенью точности может быть определена по формуле, полученной на основании анализа (рисунок 3)

$$m = e \frac{\beta}{\gamma} \quad (6)$$

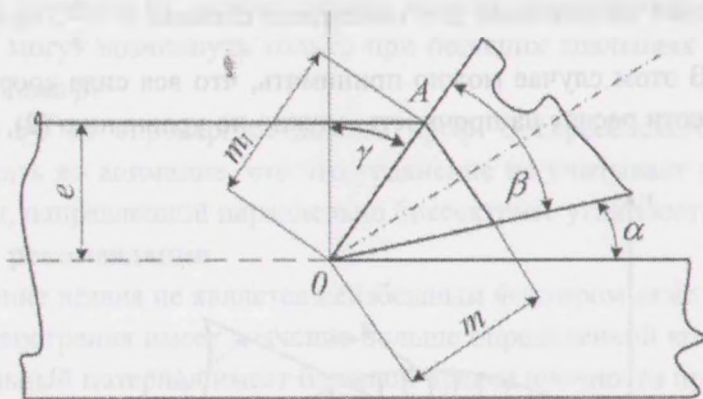


Рисунок 3 – Схема для определения условий длины контакта  $m$

Если эпюра нагрузки, описывающая закон изменения интенсивности нагрузки, ограничена выпуклой параболой, то показатель  $n \gg 1$ , если она ограничена вогнутой параболой, то  $0 < n \ll 1$ , если эпюра нагрузки треугольная,  $n = 1$  и, наконец, если она распределена равномерно, то  $n = \infty$ .

С учетом допущений, принятых в сопротивлении материалов, напряжение от  $F_u$  в любом сечении на расстоянии  $x$  от режущей кромки может быть определено по формуле

$$\sigma_{max} = \frac{M_{(x)}}{J_{(x)}} Y_{max} \quad \text{или} \quad \sigma_{(x)} = \frac{M_{(x)}}{W_{(x)}} \quad (6)$$

Определив в формуле (6) изгибающий момент и момент сопротивления в сечении, отстоящем на расстоянии  $x$ , получим напряжения в любом сечении ножа

$$\sigma_{(x)} = \frac{3}{2} \frac{F_y}{b \cdot \text{tg}^2 \frac{\beta}{2}} \cdot \frac{n+1}{n \cdot m} \left[ \frac{1}{2} - \frac{a^n}{(n+1)(n+2)} \right], \quad (7)$$

где  $a = \frac{x}{m}$ ,  $b$  – ширина ножа.

Уравнение (7) позволяет определить напряжение в любом сечении лезвия на участке  $m$  при любом из представленных на рисунке 1 эпюр нагружения передней поверхности ножа.

Анализ уравнения (7) позволяет сделать следующие выводы:

1. Нагрузка тип (рис. 1в) с показателем  $n = 3$  и более может быть приравнена к равномерно распределенной. Вести расчеты с показателем  $n > 3$  не имеет практического смысла;

2. При таком распределении нагрузки  $n > 3$  маловероятно, что напряжения могут достичь значений, при которых возможен облом лезвия;

3. В некоторых случаях (главным образом при продольном резании на больших скоростях подачи материала, когда этот процесс сопровождается образованием опережающей трещины) характер распределения нагрузки может принять вид, изображенный на рисунке 4. Такое распределение нагрузки еще менее опасно для лезвия инструмента. Напряжения, возникающие при такой схеме нагружения, не могут вызвать облом даже при самых малых углах заострения ( $\beta = 20^\circ$ ).

4. Вести расчет напряжений для показателя степени  $n < \frac{1}{3}$ , по-видимому, также нецелесообразно. В этом случае можно принимать, что вся сила сосредоточена на режущей кромке, а вести расчет на прочность можно по уравнению (2), предложенным в работе [5].

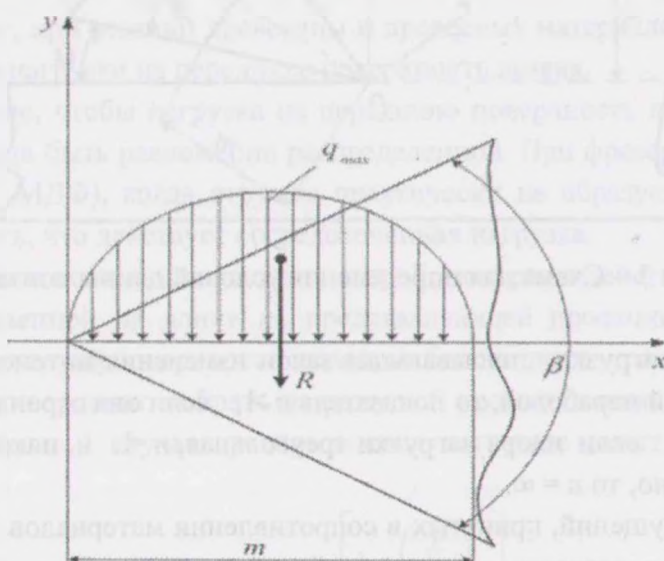


Рисунок 4 – Предполагаемый характер распределения нагрузки при продольном резании

В случае равномерно распределенной нагрузки, как принятой в работе [3] в уравнении (7) следует положить  $n \rightarrow \infty$ . Разделив числитель и знаменатель в (7) на  $n$  и учитывая, что всегда  $a < 1$ , найдем  $\sigma_{(u)}$  при  $n \rightarrow \infty$

$$\sigma_u = \frac{3}{4} \frac{q^*}{\operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}} = \frac{3}{4} \frac{F}{m} \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}} \quad (8)$$

Следует иметь в виду, что в уравнении (8) расчет ведется на единицу ширины ножа. Поэтому сила  $F$  есть равнодействующая сплошной нагрузки  $q^*$ , приходящейся на единицу ширины ножа. При таком распределении нагрузки разрушение может произойти только при очень малом значении угла заострения  $\beta$ , при резании очень твердых материалов.

Для полного представления о расчете напряжений на рабочей поверхности лезвия необходимо рассмотреть вопрос о величине напряжений непосредственно у режущей кромке. Из уравнения (7) следует, что этот случай будет иметь место, если  $a \rightarrow 0$  (микростружка) или  $x \rightarrow 0$  (к вершине режущей кромки) тогда

$$\sigma_* = \frac{3}{4} \frac{n+1}{n \cdot m} \frac{F_*}{b \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\beta}{2}} \quad (9)$$

Из уравнения (9) следует, что при  $a = 0$  величина напряжения имеет конечное значение, следовательно, если угол заострения ножа  $\beta$  достаточно велик, то режущая кромка не обязательно должна разрушаться под действием силы  $F_u$ .

Из анализа формулы (9) можно сделать вывод о том, что опасные напряжения у режущей кромки могут возникнуть только при больших значениях  $F_{\text{бис}}$  и при малых углах заострения ножа  $\beta$ .

Уравнение (9) не опровергает доводы проф. Воскресенского С.А., поскольку необходимо принять во внимание, что это уравнение не учитывает действия на режущую кромку силы, направленной параллельно биссектрисе угла заострения ножа.

### Выводы и рекомендации

1. Разрушение лезвия не является неизбежным фактором даже для очень острого ножа, если угол заострения имеет значение больше определенной критической величины, инструментальный материал имеет большой предел прочности при изгибе.

2. Следует обоснованно подходить к выбору инструментального материала для конкретной технологической операции. Например, применение твердого сплава ВК15, для которого предел прочности на изгиб составляет  $\sigma_u = 1765$  МПа, предпочтительнее сплаву ВК4 для которого  $\sigma_u = 1324$  МПа, хотя и в ущерб износостойкости.

3. Расчет прочности лезвия следует вести на нагрузку, распределенную по определенному закону на некоторую площадку рабочей поверхности ножа.

4. Так как напряжения, возникающие в лезвии инструмента от изгибающей силы резания значительно превышают напряжения, возникающие от сжимающей силы, то в большинстве случаев расчет прочности острого лезвия можно вести только по формулам нормальных напряжений от изгибающей силы.

5. Предложены теоретические уравнения для расчета напряжений в лезвии инструмента от величины изгибающей силы резания в зависимости от эпюры нагружения передней поверхности лезвия.

#### Библиографический список

1. Лолодзе Т.Н., Прочность и износостойкость режущего инструмента. - М.: «Машиностроение», 1982. - 320с.
2. Ящерицын П.И. и др., Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах.: Учеб. для вузов /П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн. – Мн.: Выш. шк., 1990. – 512с.
3. Дереворежущие инструменты. Грубе А.Э. Изд. 3-е, перераб. и доп. «Лесная промышленность», 1971г., 344с
4. Дешевой М.А. Механическая технология дерева. – Л.: 1934.-511с.
5. Воскресенский С.А. Резание древесины. – М., Л.: Гослесбумиздат, 1955.- 199с.
6. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. М, «Машиностроение», 1975. - 311с.
7. Старков В.К. Дислокационные представления о резании металлов. – М.: «Машиностроение», 1979, - 160с.
8. Силин С.С. Методы подобия при резании материалов. – М.: «Машиностроение», 1979. - 152с.
9. Остафьев В.А. Расчет динамической прочности режущего инструмента. – М.: «Машиностроение», 1979г. - 168с.
10. Бетанели А.И. К исследованию прочности режущей части инструмента, Вестник машиностроения, № 2 , 1964.
11. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. М., Машгиз, 1956. 376с.
12. Износостойкость инструмента для фрезерования древесины. К.И. Демьяновский. М., «Лесная промышленность», 1968. - 128с.
13. Бершадский А.Л. Расчет режимов резания древесины. – М.: «Лесная промышленность», 1967г. - 175с.

**Исаков С.Н.** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [cbp@usfeu.ru](mailto:cbp@usfeu.ru)

## ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВИХРЕВЫХ ОЧИСТИТЕЛЕЙ<sup>1</sup> *THE BASIS THE USING THE NUMERICAL ANALYSIS FOR BESIGNING THE WHIRLERS*

Вихревые очистители (ВО) широко применяются в деревообрабатывающей промышленности, например для очистки воздуха от технологических выбросов: пыли, стружкой и опилками. В целлюлозно-бумажной промышленности вихревые очистители

<sup>1</sup> Работа выполнена под руководством профессора, д.т.н. А.А. Санникова