

КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ПЕРЕДНЕЙ ГРАНИ РЕЗЦА ПРИ РЕЗАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

In the article theoretical preconditions branches of a shaving determining process from a file are submitted due to use of a method of contact pressure at interaction of a cutter with wood.

Цель процесса резания – образование в обрабатываемом древесном материале новых поверхностей, которое достигается путем срезания мелких частиц древесины в виде стружки. Функцию отделения стружки выполняет главная режущая кромка, которая в материале создает напряженное состояние, приводящее к деформированию этого срезаемого элемента вплоть до его отделения от массива обрабатываемой заготовки.

Теоретические разработки В.И. Любченко [1] показывают, что закономерность деформирования древесины определяется следующими условиями: анатомическим строением древесины, ее физико-механическими свойствами, формой резца, толщиной стружки и скоростью резания. Резец, двигаясь в древесине и образуя в ней новые поверхности, воздействует на ее микроструктурные элементы. При сжатии, растяжении и сдвиге древесины объем древесного вещества, из которого образованы микроструктурные элементы в виде древесных клеток, практически не изменяются, а значительно меняются формы и внутренний объем самих клеток, за счет чего они деформируются.

Разрушения в древесине могут произойти в результате многократного перерезания стенок клеток, что вызывает напряжение сжатия. В то же время часть древесины испытывает напряжения растяжения, что вызывает незначительные деформации в древесине, которыми можно пренебречь.

Теоретические исследования [2, с. 19] позволили построить диаграмму деформирования древесины при резании (рис. 1).

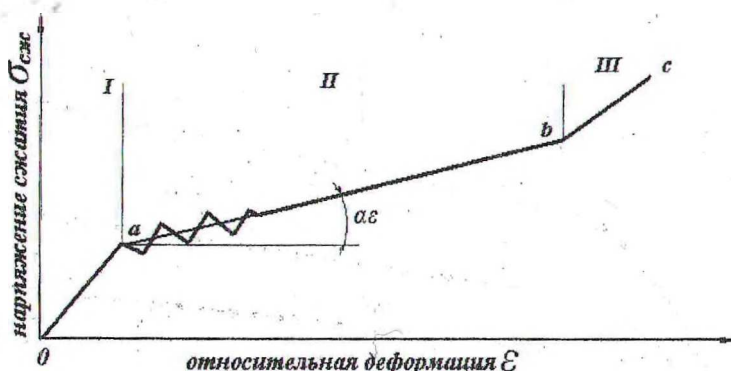


Рис. 1. Деформирование древесины при резании

На диаграмме различают три участка, соответствующие трем зонам деформирования. Зона I характеризуется только упругими деформациями. В этом случае клетки древесины не теряют устойчивости. Возрастающее в зоне I напряжение при переходе в зону II (точка a) приводит к потере устойчивости клеток, которые соприкасаются с лезвием инструмента и получают значительную остаточную деформацию. Устойчивость этих клеток вначале резко падает, а затем, по мере их уплотнения возрастает, что приводит к потере устойчивости стенок второго ряда клеток, расположенных вблизи первого. Процесс повторяется до того времени, пока не будут деформированы все ряды клеток за один проход. Периодичность описанного процесса отражена на графике зубчатой формой на прямой в зоне II.

Вследствие незначительного различия размеров клеток и прочности их рядов в зоне II происходит малое приращение напряжения сжатия, которое характеризуется углом α_ϵ .

На графике точка б соответствует моменту, когда все ряды клеток, подлежащих перерезанию главной режущей кромкой, оказываются полностью деформированными, и зона контакта резца с древесиной представляет собой сплошную без полостей массу, т. е. зона III характеризуется деформациями уплотненной древесины. При достижении критического значения напряжения (точка С) происходит отделение срезаемой стружки от массива.

В то же время следует отметить наличие контакта выступающей части резца с древесиной в точке а, которое вызывает местные напряжения. Так как взаимодействие резца с древесиной происходит на небольшой площадке соприкосновения их между собой, то возникают контактные напряжения, которые при достижении определенных величин вызывают разрушение связей между волокнами.

Для определения контактных напряжений рассмотрим сначала простейший случай давления двух шаров радиусами r_1 и r_2 (рис. 2, а).

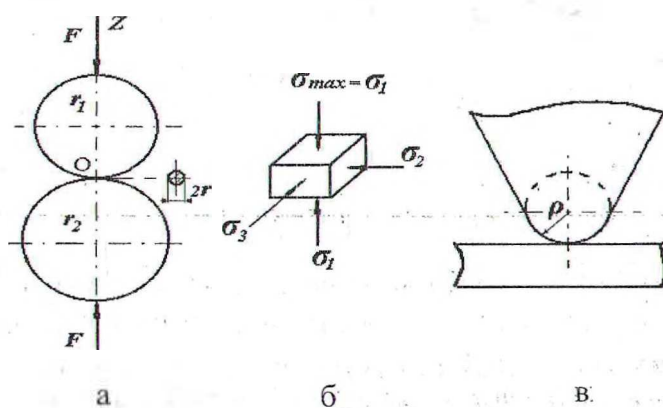


Рис. 2. Контактные напряжения при давлении тел

По оси Z , проходящей через точку касания шаров O , действуют снимающие силы F , вызывающие местные деформации в области точки касания. Поверхность касания имеет в сечении малый круговой контур радиусом r . Из условия симметрии, согласно теории упругости, разработанной Герцем [3], эпюра интенсивности давления по круговой площади касания будет симметрична оси z , а максимальная интенсивность по оси $-\sigma_{\max}$. Распределение давления происходит по полусфере с максимальной ординатой σ_{\max} .

Из условия равновесие имеем:

$$\sigma_{\max} \frac{2}{3} \pi r^2 = F, \text{ или } \sigma_{\max} = 1,5 \frac{F}{\pi r^2}, \quad (1)$$

т. е. максимальное напряжение на поверхности касания равно $1,5 \sigma_{\text{cp}}$, где σ_{cp} – среднее напряжение.

Методом теории упругости определим радиус площади касания по формуле 2.

$$r = 1.1093 \sqrt{\frac{F \cdot r_1 r_2}{E (r_1 + r_2)}}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости, ГПа.

Данная зависимость справедлива для случая, когда шары имеют равные модули E и коэффициент Пуассона μ . Если модули различны, то величина радиуса определяется по формуле 3.

$$r = 0.883 \sqrt{F \left(\frac{E_1 + E_2}{E_1 E_2} \right) \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}} \quad (3)$$

Напряжение по касательной площади распределяется по закону полусферы и σ_{\max} в центре касания будет иметь зависимость 4.

$$\sigma_{\max} = 1.5 \frac{F}{\pi r^2} = 0.6173 \sqrt{F \left(\frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \right)^2 \left(\frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2} \right)^2} \quad (4)$$

Как видно из формулы, с увеличением радиусов шаров возрастает радиус круга касания и, как следствие, напряжение уменьшается. Причем напряжение нелинейно связано с давлением, а горизонтальные главные напряжения имеют соотношения

$$\sigma_2 = \sigma_3 \approx 0.8 \sigma_{\max} = 0.8 \sigma_1$$

По четвертой теории прочности (рис 2, б) имеем

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(0.2 \sigma_1)^2 + (0.2 \sigma_2)^2} = 0.2 \sigma_1, \quad (5)$$

а из условия прочности

$$0.2 \sigma_1 \leq [\sigma_{\text{см}}], \quad \sigma_1 = 5 [\sigma_{\text{см}}]. \quad (6)$$

Для случая контакта режущего элемента с древесиной (рис 2, в) имеет место давление цилиндра на плоскости, так как $r_2 = \infty$. В этом случае есть также площадка контакта в виде прямоугольника со стороной a . Преобразование формул 3 и 4 дает возможность получить окончательные расчетные зависимости ширины площади (7) и максимального напряжения σ_{\max} (8):

$$C = 3.68 \sqrt{q_{\text{л}} \left(\frac{E_1 + E_2}{E_1 E_2} \right) r}. \quad (7)$$

$$\sigma_{\max} = 0.418 \sqrt{\frac{q_{\text{л}}}{r} \left(\frac{E_1 E_2}{E_1 + E_2} \right)}, \quad (8)$$

где $q_{\text{л}}$ – равномерно распределенная нагрузка режущей кромки на древесину.

Если использовать данные физико-механических свойств [4], представленных в таблице, получим, что при пилении древесины сосны режущим элементом, имеющем степень затупления $\rho = 10 - 50$ мкм, удельное давление режущей кромки на древесину составит

$$4000 \cdot 10^6 = 0.418 \sqrt{\frac{q_{\text{л}} 10^3}{0.01 \div 0.05} \left(\frac{220 \cdot 11.9}{220 + 11.9} \right) 10^9},$$

откуда

$$q_{\text{л}} = 941.7 \div 4691 \text{ Н/м}, \quad \text{или} \quad q_{\text{л}} = 0.942 \div 4.691 \text{ Н/мм}.$$

Таким образом, отделение микрочастиц древесины сосны от массива происходит при силе резания на кромке лезвия

$$F_{\text{л}} = qb = (0.94 \div 4.69)b,$$

где b – ширина главной режущей кромки, мм.

Таблица

**Основные средние показатели предела прочности
и модуля упругости**

Материал	Плотность, гр/см ³	Средний предел прочно- сти σ , МПа	Средний модуль упруго- сти E , ГПа
Береза	0.62	81.7	16.1
Дуб	0.70	57.1	14.2
Сосна	0.47	46.3	11.9
Ель	0.47	45.0	14.4
Бук	0.68	52.9	12.4
Граб	0.80	60.9	13.2
Инструментальная сталь	7.6–7.8	4000	220

Полученная сила резания на лезвии резца практически является сосредоточенной, т. к. ширина площадки C имеет незначительные размеры. Согласно формуле 7: для острых резцов

$$C = 3.68 \sqrt{0.94 \frac{(220 + 11.9)10^6}{220 \cdot 11.9 \cdot 10^9} 0.01} = 0.003 \text{ мм};$$

для затупленных с радиусом затупления $r=50$ мкм

$$C = 3.68 \sqrt{4.69 \frac{(220 + 11.9)10^6}{220 \cdot 11.9 \cdot 10^9} 0.05} = 0.017 \text{ мм}.$$

Таким образом, можно считать, что сила, предопределяющая стружкообразование, зависит от древесного материала, подлежащего механической обработке, и состояния главной режущей кромки. Кроме этого, точка контакта является зоной разделения работы резца. Физические явления, происходящие в этой точке и выше взаимодействия инструмента с объектом обработки, можно считать силообразованием на передней грани, а ниже – силообразованием на задней грани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 294 с.
2. Ивановский Е.Г. Резание древесины. – М.: Лесная промышленность, 1975. – 200 с.
3. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 607 с.
4. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 294 с.