

УДК 674.023

Л.В. ОРЛЕНКО, Е.О. ОРЛЕНКО

Орленко Людмила Владимировна родилась в 1967 г., окончила в 1989 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики и основ конструирования Архангельского государственного технического университета. Имеет 20 печатных работ в области исследования процесса резания древесины.



Орленко Евгений Олегович родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики и основ конструирования Архангельского государственного технического университета. Имеет 20 печатных работ в области исследования трения и изнашивания зубчатых передач.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ РЕЗАНИИ

Предложен алгоритм решения задачи о напряженном состоянии древесины при продольном и торцовом резании, основанный на методе конечных элементов, причем древесина рассматривается как ортогонально анизотропный материал.

The algorithm of problem solving is suggested related to the timber stress under length and butt cutting, based on the method of final elements, timber being viewed as orthogonal anisotropic material.

Исследование напряжений в древесине при ее резании рассмотрено в многочисленных экспериментальных и теоретических работах. Однако в расчетной практике пока используют упрощенные подходы к моделированию процесса резания. Задача по определению напряженного состояния древесины основана на технической теории деформации стержней. При этом отделяемый слой представляют либо как консольную балку [2], либо как балку на упругом основании [8]. Очевидно, что эти расчетные схемы не позволяют полностью оценить напряженное состояние в окрестности внедряемого резца. Кроме того, схемы-балки образуются в результате каких-либо разрушений, при этом из рассмотрения исключается значительная часть процесса нагружения.

В работах [5, 6] задачу о напряженном состоянии древесины решают с помощью метода сеток. Однако решение получено для изотропного материала и результаты расчета являются приближенными.

По нашему мнению наиболее целесообразно для анализа напряженно-деформированного состояния использовать метод конечных элементов в форме перемещений для треугольных элементов с тремя степенями свободы (рис. 1). Ниже мы рассматриваем древесину как ортогонально анизотропный материал. Одна из главных осей анизотропии совпадает с вектором подачи, другая – перпендикулярна ей. Для продольного резания направление волокон совпадает с осью x (a), для торцового – с осью y (r). Нагружение древесины производится перемещением резца, при этом полагается линейная связь между напряжениями и перемещениями. Если определено напряженное состояние области для единичных перемещений резца, то для других перемещений напряжения умножаются на соответствующую величину перемещения. Расчеты выполнены для следующих значений упругих характеристик: $E_a = 16\ 225$ МПа, $E_t = 400$ МПа, $E_r = 701$ МПа, $G_{ra} = 645$ МПа, $\nu_{ra} = 0,028$, $\nu_{ra} = 0,330$. Приведенные значения приняты по данным работы [1] для еловой древесины влажностью $W = 15\%$.

Для более влажной древесины пересчет упругих характеристик производили по формуле [3]

$$E_W = E_{15} - \alpha (W - 15), \quad (1)$$

где E_{15} – соответствующий модуль упругости для $W = 15\%$;

α – поправочный коэффициент.

При отрицательных температурах (мерзлая древесина) упругие характеристики находили по формуле [4]

$$E_T = E_{20} K_t, \quad (2)$$

где K_t – температурный коэффициент;

E_{20} – соответствующий модуль упругости, определенный при комнатной температуре ($t = 20\text{ }^\circ\text{C}$).

Проведенные расчеты показали следующее.

Для продольного резания при любых ее гидротермических состояниях наибольшие напряжения являются концентрированными у лезвия резца перед режущей кромкой (рис. 2). Так как

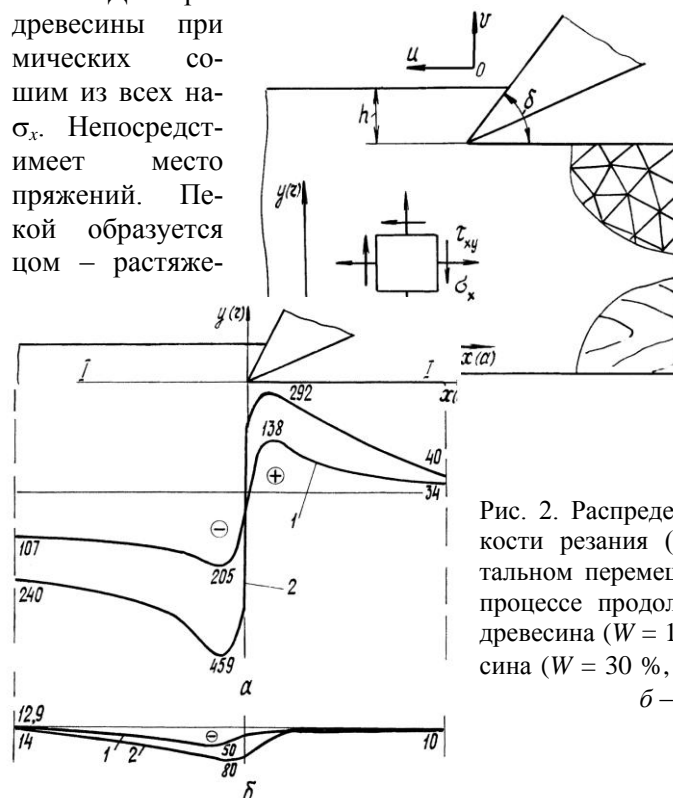


Рис. 2. Распределение напряжений в плоскости резания (сечение I-I) при горизонтальном перемещении резца ($u = 1$ мм) в процессе продольного резания: 1 – талая древесина ($W = 15\%$); 2 – мерзлая древесина ($W = 30\%$, $t = -30\text{ }^\circ\text{C}$); а – σ_x (МПа); б – τ_{xy} (МПа)

древесина при растяжении в направлении волокон имеет прочность почти в 3 раза выше, чем при сжатии, то эти напряжения не опасны и не могут послужить причиной возникновения актов разрушения. Со стороны передней грани резца характер распределения σ_x по толщине снимаемого слоя не изменяется. В области, расположенной ниже плоскости резания, напряжения быстро убывают по мере удаления от лезвия.

Напряжения σ_y по всей области деформации малы (не превышают 2 % от σ_x), характер их распределения аналогичен характеру распределения σ_x .

Наибольшие касательные напряжения возникают в плоскости резания. Их максимальные значения составляют 25 ... 30 % от σ_x .

Увеличение влажности древесины приводит к уменьшению всех напряжений. Однако изменение напряжений не является существенным. Сопротивление древесины резанию по мере увеличения ее влажности снижается, так как происходит снижение показателей прочностных свойств.

При внедрении резца в мерзлую древесину напряжения увеличиваются более чем в 2 раза по сравнению с талой. Качественная картина распределения напряжений при этом не изменяется.

По мере внедрения резца напряжения возрастают. Полученное распределение напряжений сохраняется до появления первых актов разрушения (под разрушениями понимают смятие волокон, потерю ими устойчивости, образование трещин). Все эти явления можно расценивать как наступление предельного состояния. Его описывают уравнением [1]

$$\frac{\sigma_x^2}{\sigma_0^2} + \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{90}^2} + \frac{\tau_{xy}^2}{\tau_0^2} - \frac{\sigma_x \sigma_y}{\sigma_0 \sigma_{90}} = 1, \quad (3)$$

где σ_0, σ_{90} – пределы прочности древесины в направлении главных осей анизотропии (если ось x направлена вдоль волокон, то $\sigma_0 = \sigma_a$, а σ_{90} есть σ_r или σ_t в зависимости от того, какая плоскость анизотропии рассматривается – ra или ta);

τ_0 – предел прочности древесины на сдвиг.

Размер области вдоль волокон, напряженное состояние которой удовлетворяет (3), в дальнейшем, независимо от вида повреждений, будем рассматривать как длину начальных трещин. Переход их в нестабильный режим развития определим по уравнению [7]

$$\frac{K_I}{K_{Ic}} + \frac{K_{II}}{K_{IIc}} = 1, \quad (4)$$

где K_I, K_{II} – коэффициенты интенсивности напряжений для трещин нормального отрыва и плоского сдвига;

K_{Ic}, K_{IIc} – критические коэффициенты интенсивности напряжений, определяющие способность материала сопротивляться развитию трещин.

При выполнении условия (4) происходит существенное изменение схемы нагружения. Часть материала, отделенная образовавшейся трещиной, начинает скользить по передней грани резца. При этом напряженное состояние будет создаваться вертикальными перемещениями контактирующей с резцом поверхностью древесины.

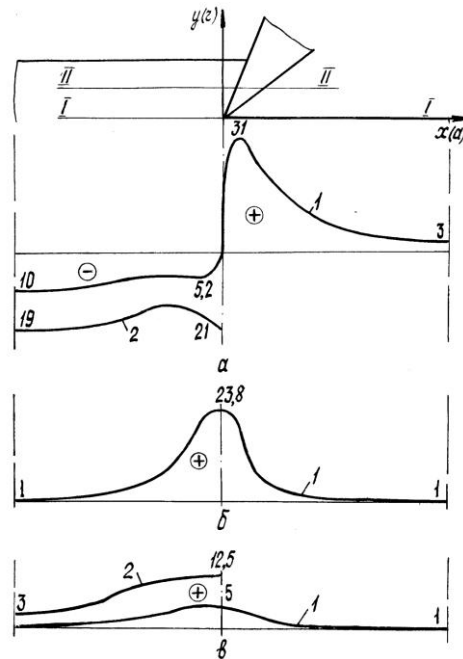


Рис. 3. Распределение напряжений при вертикальных перемещениях контактной поверхности снимаемого слоя ($v = 1$ мм) в процессе продольного резания (таяя древесина, $W = 15\%$): 1 – в плоскости резания (сечение I – I); 2 – над плоскостью резания (сечение II – II); $a - \sigma_x$ (МПа); $b - \sigma_y$ (МПа); $v - \tau_{xy}$ (МПа)

Распределение напряжений, соответствующее этой стадии нагружения, показано на рис. 3. Значения σ_x в этом случае малы и не влияют на разрушение материала. Они будут зависеть от величины σ_y , так как раньше, чем σ_x и τ_{xy} , достигают предела прочности. Кроме того, эти напряжения оказываются положительными и способствуют раскрытию трещин. Отмеченные ранее упрощенные расчетные схемы соответствуют именно этой стадии нагружения. Очевидно, что силы сопротивления древесины внедрению резца на этой стадии значительно меньше, чем на стадии формирования начальных актов разрушения.

Вид напряженного состояния определяет вид стружкообразования. Если резание происходит с большими углами резания δ , то влияние механизма раскрытия трещин (действие σ_y) оказывается менее значительным. В этом случае стружка образуется либо мелкоэлементная, либо сливная (при $\delta = 90^\circ$) в результате действия σ_x и τ_{xy} .

При торцовом резании древесины эпюры распределения напряжений (рис. 4) принципиально не отличается от аналогичных эпюр при продольном резании (см. рис. 2). Наибольшими из всех напряжений здесь оказываются τ_{xy} . Тем не менее, первыми актами разрушения являются смятие волокон перед резцом и образование трещин разрыва со стороны задней грани

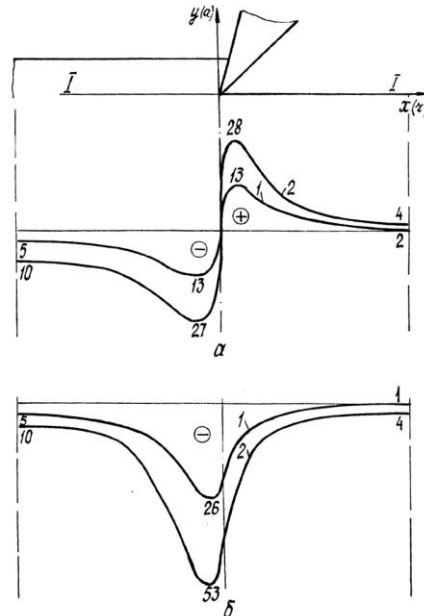


Рис. 4. Распределение напряжений в плоскости резания (сечение I – I) при торцовом резании ($u = 1$ мм): 1 – талая древесина ($W = 15\%$); 2 – мерзлая древесина ($W = 30\%$, $t = -30$ °C); а – σ_x (МПа); б – τ_{xy} (МПа)

резца в области растягивающих напряжений. Эти разрушения не приводят к отделению элементов стружки. Процесс нагружения будет продолжаться до тех пор, пока касательные напряжения не приведут к перерезанию волокон. Перемещение отдельных элементов по передней грани

резца не вызывает возникновения напряжений, способствующих отделению последующих элементов стружки. В этом случае силы сопротивления резанию будут определяться условием наступления предельного состояния на первой стадии нагружения.

Изменение гидротермического состояния древесины не приводит к изменению напряженного состояния, однако следует отметить, что величина напряжений при резании мерзлой древесины, так же как и при продольном резании, возрастает более чем в два раза по сравнению с талой.

Проведенные расчеты показывают, что процесс резания следует рассматривать как состоящий из ряда последовательных стадий, каждой из которых соответствуют свой закон распределения напряжений и механизм разрушения материала. Соответственно для каждой стадии должны быть определены и силы сопротивления резанию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов. - М.: Лесн. пром-сть, 1978. - 224 с. [2]. Воскресенский С.А. Резание древесины. - М.: Гослесбумиздат, 1955. - 200 с. [3]. Древесина. Показатели физико-механических свойств // Руководящие технические материалы. - М.: Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1962. - 48 с.

- [4]. Курицин В.Н. Особенности резания мерзлой древесины. - М.: Лесн. пром-сть, 1981. - 103 с. [5]. Сопотун А.И., Бець М.Т. О корректности краевых условий при решении задачи Дирихле для случая резания древесины // Лесн. журн. - 1990. - № 4. - С. 62-66.- (Изв. высш. учеб. заведений). [6]. Сопотун А.И., Бець М.Т. Определение компонентов поля напряжений при резании древесины // Лесн. журн. - 1991.- № 3. - С.70-75.- (Изв. высш. учеб. заведений). [7]. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения.- М.: Наука, 1974. - 640 с. [8]. Mckezie, W.M. Fundamental Aspects of the Wood Cutting Process // For Prod. Jonr. - 1960. - 10, N 9. - С. 447-456.

Поступила 6 июня 1997 г.