

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ РЕЗАНИИ

**Булатасов Э.О., Попов В.П., Ханин В.П.
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

В настоящее время работы по деформированию древесины при резании немногочисленны. Сложность полей деформаций, вызываемых в древесине резцом, является одной из главных причин их неполного теоретического и экспериментального изучения. Научные знания, полученные в этой области, изначально составляют основу для ограничения остаточных деформаций пределами стружки и делают возможным управление формой профиля реза при износе его поверхностей [1].

Подходя к рассмотрению процесса деформирования древесины при резании необходимо отметить способность древесины проявлять свои свойства при деформировании как конструкции и как вещества (в зависимости от величины прикладываемой силы, времени и площади воздействия). Проявление свойств древесины при деформировании как конструкции происходит за счёт наличия в её структуре конструктивных элементов – волокон, границ между ними, полостей, воды, других веществ и объектов макроструктуры древесины. Раскалывание древесины вдоль волокон и сжатие древесины за счёт уменьшения объёма полостей – примеры проявления свойств древесины как конструкции при деформировании.

Проявление свойств древесины при деформировании как вещества происходит при деформировании самих конструктивных элементов в отдельности и при деформировании малых объёмов древесины (например, при воздействии режущей кромки реза на древесину в процессе её резания).

Боровиков А. М. [2] предлагает рассматривать древесину как упруго-вязко-пластическое тело. Следовательно, в процессе резания древесины следует рассматривать не только напряжения, но и деформации древесины, вызываемые усилиями резания [3].

На деформирование древесины при резании большое влияние оказывает начальная плотность древесины. Чем она больше, тем меньше максимальная величина полной деформации и тем значительнее напряжение, при котором стенки клеток первого ряда теряют устойчивость [1].

Существенная особенность разрушения древесины лезвием состоит в стеснённом характере деформирования материала при резании. Некоторым аналогом этому может служить сжатие образца в замкнутом пространстве [4].

Анализ диаграммы напряжение – деформация при сжатии древесины в замкнутом пространстве (рис. 1) показывает, что направление сжимающей силы относительно волокон не меняет формы графиков, но влияет на численные значения координат характерных точек. При этом диаграмма имеет три чётко выраженных участка [4].

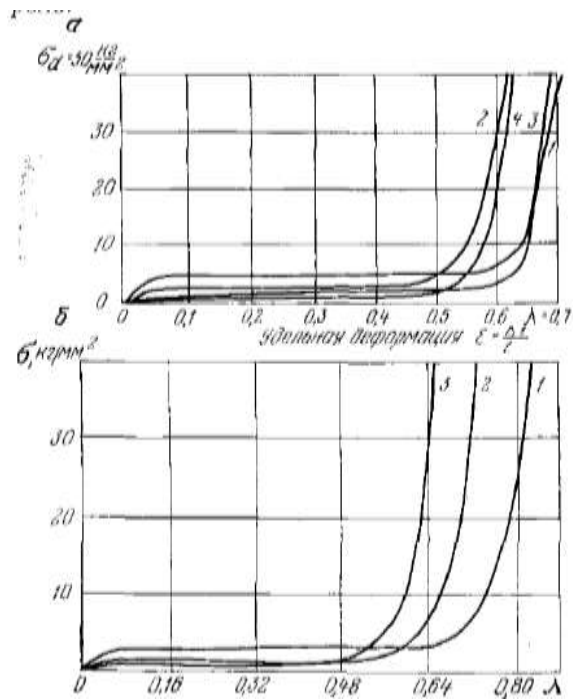


Рисунок 1 – Диаграмма напряжение – деформация при сжатии древесины в замкнутом пространстве [5]:

а – сжатие сосны и стружек (по Е. Г. Ивановскому):

1 – влажность древесины $W = 20 \%$, объёмный вес $\gamma = 0,54 \text{ г/см}^3$; 2 – влажность древесины $W = 55 \%$, объёмный вес $\gamma = 0,70 \text{ г/см}^3$; 3 – влажность стружек $W = 20 \%$, объёмный вес $\gamma = 0,54 \text{ г/см}^3$; 4 – влажность стружек $W = 55 \%$, объёмный вес $\gamma = 0,70 \text{ г/см}^3$;

б – сжатие сосны (по В. И. Микулинскому):

1 – вдоль волокон; 2 – в тангенциальном направлении; 3 – в радиальном направлении.

На первом участке древесина испытывает практически упругую деформацию, подчиняясь закону Гука $\sigma = E \cdot \varepsilon$. Относительное сжатие древесины на этом участке составляет 3-6 % [5]. В момент, соответствующий потере устойчивости ряда клеток, напряжения достигают предела пропорциональности [1]. С этого момента начинается вторая стадия деформирования в замкнутом пространстве. Потерявший устойчивость ряд клеток получает существенную деформацию без заметного прироста напряжения. При дальнейшем сжатии теряет устойчивость другой ряд клеток, оказавшийся несколько более прочным, чем первый. Этот процесс повторяется многократно, до тех пор, пока не окажутся деформированными все ряды клеток. Увеличение напряжений с ростом относительной деформации на этой стадии характеризует несовершенство строения материала. Чем меньше различий в прочности клеток древесины, тем слабее рост напряжений [4]. Объём сжимаемого образца древесины на второй стадии деформирования в замкнутом пространстве уменьшается в 1,5-2,5 раза [5]. Третья стадия – деформирование древесинного вещества. Образец древесины приближается к относительной сплошности структуры, и малейшее дальнейшее уменьшение

объёма влечёт за собой значительное увеличение напряжения. Наиболее вероятно, что деформирование древесины лезвием соответствует второй стадии [4].

Бершадский А. Л., учитывая особенности деформирования древесины при сжатии в замкнутом пространстве и величины остаточных деформаций стружки, образующихся при резании древесины, предположил, что стружкообразование при резании древесины происходит при постоянном давлении передней поверхности резца (второй участок кривой линии диаграммы напряжение – деформация при сжатии древесины в замкнутом пространстве (рис. 1)). Основываясь на этом предположении и используя графические экспериментальные данные зависимости единичной касательной силы резания от толщины срезаемого слоя (при ширине резания равной 1 мм), Бершадский А. Л. выводит эмпирическую формулу этой зависимости и называет её «общий закон резания» древесины. Причём Бершадский А. Л. считает, что процессы деформирования и разрушения древесины при резании происходят в полужамкнутом пространстве.

Ивановский Е. Г. вместе с сотрудниками [6] исследовали деформирование древесины при резании. При осевом сжатии поперек волокон в радиальном направлении образцов ($2 \times 1,5 \times 5$ мм) древесины берёзы (весенняя часть годового слоя) по искажению координатной сетки, нанесённой на боковую поверхность, была установлена связь между полной Γ_n и остаточной Γ_o деформациями сдвига, соответствующим полной и остаточной деформациям объёма древесины [6]:

$$\Gamma_o = 0,852 \cdot \Gamma_n - 0,039. \quad (1)$$

Уравнение (1) справедливо при относительной деформации не больше 14% (коэффициент корреляции $r = 0,954$).

В результате анализа экспериментальных данных в [6] отмечены следующие особенности:

1. Остаточные деформации в древесине появляются уже при самом малом сжатии. Эти деформации при воздействии некоторых факторов (например, при увлажнении сухой древесины) исчезают.

2. Клеточное строение древесины определяет характер ее деформирования. При сжатии образца малых размеров обнаруживается периодичность процесса деформирования (изменение действующей силы): величины деформации сдвига изменяются волнообразно по всему полю деформаций.

В первой фазе одного периода стенки клеток наименее прочного ряда сначала получают только упругую деформацию, а во второй – упругую и остаточную. С ростом полной деформации ряда он упрочняется до величины, при которой теряют устойчивость стенки клеток второго ряда – наименее прочного из остальных рядов. Далее процесс повторяется.

В результате кривая «напряжение – относительная деформация» состоит из трёх участков. Первый участок характеризует упругое деформирование

образца – стенок всех его клеток. Тангенс угла наклона кривой здесь близок к модулю упругости. Второй участок – зубчатая линия, колеблющаяся около прямой, составляющей с осью абсцисс малый угол. Этот угол будет тем меньше, чем меньше различие в прочности рядов клеток. Переход от второго участка к третьему свидетельствует о полном уплотнении древесины. Третий участок демонстрирует деформирование древесины в виде вполне плотного (без воздушных промежутков) тела, характеризующееся ростом напряжений до произвольно больших величин.

3. Если на деформирование древесины затрачено меньше энергии, то исследуемый образец представляется в виде упруго деформированных участков, разделенных участком, деформированным до полного уплотнения.

Также в работе [6] изучалось поле деформаций, образующееся при внедрении на 2 мм клина с гранями, доведёнными до 12-го класса чистоты, с углом заострения, равным 40°. Лезвие клина при внедрении располагалось параллельно волокнам, а его перемещение со скоростью $v = 0,15$ мм/сек происходило нормально к волокнам. Перемещение и деформации определялись в предположении, что при внедрении клина (а в дальнейшем и при резании) древесина испытывает плоскую деформацию, достаточно точно представленную полем деформации на наружной поверхности древесины, на которую нанесена координатная сетка в виде квадратов. Обобщение полученных материалов исследования показало, что:

1. Величины истинных сдвигов достигают больших значений только в той зоне, где происходит разрушение древесины. Сдвиги всегда отрицательны, т. е. искажение прямых углов сетки происходит при повороте элементов от оси y и оси x по часовой стрелке.

2. Главные деформации характеризуются волнообразным законом распределения как поперёк, так и вдоль направления движения клина с быстрым затуханием волн по мере удаления от него. Например, величины главных деформаций у самого клина достигают 35 – 40 %, а на расстоянии примерно 1 мм от клина они не превышают 10 %, причём деформация растяжения в зоне разрушения оказывается значительно больше деформации сжатия. Частота колебания деформаций поперёк направления внедрения клина несравненно больше, чем вдоль его. Характер распределения деформаций объясняется не только чередованием годовых слоёв (анизотропией механических свойств ранней и поздней древесины), но, и, с одной стороны, сравнительно малой зоной обследования (около 1 мм²), с другой – различным характером волнового процесса вдоль и поперёк направления резания.

3. Вычисленные изменения объёма в поле деформации изменяются волнообразно, как и главные деформации. Зоны уменьшения объёма чередуются с зонами его увеличения. Чередование наблюдается вдоль направления движения резца. Преобладают зоны уменьшения объёма. Разрушение древесины происходит в основном при сдвиге, смежном со сжатием. Это справедливо при соблюдении подобия напряжённого и деформированного состояния. Следовательно, резание древесины отличается от

резания металлов (сплошных тел), где разрушение всегда происходит при чистом сдвиге.

Результаты опытов, полученные при прямолинейном поперечном, продольном и торцовом резании сухой берёзы, подтвердили волнообразное изменение деформаций древесины [6].

При комплексном исследовании процесса фрезерования древесины [6] на основании полученных результатов установлено явление повышения упругих свойств древесины при изменении скоростей резания от 0 до 39 м/сек. Это соответствует теоретическим положениям [7], в которых содержится информация о том, что с увеличением скорости резания возрастает роль упругих деформаций и уменьшается роль остаточных. Эту закономерность можно изложить следующим образом: механические свойства древесины являются функцией скорости деформирования (при резании – функцией скорости движения резца в древесине).

Санаев В. Г. [8] определил величину объёма зоны деформаций, образующихся при внедрении сферического индентора диаметром 60 мкм в древесину различных пород под усилием 0,3 Н. Радиус индентора вполне соизмерим с радиусом округления режущей кромки, как и величина зоны существенного деформирования ($5 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-4}$ мм³), близкая к значениям объёма деформируемого при резании материала [4].

Представленная информация может быть использована при исследовании процессов деформирования и разрушения древесины при резании, а также процессов изнашивания режущего инструмента.

Список литературы

1. Ивановский Е. Г. *Резание древесины*. М.: Лесная, 1974. – 200 с.
2. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. *Справочник по древесине: справочник / под ред. Б. Н. Уголева*. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 296 с.
3. Чурилин А. А. *Новое в резании древесины*. М.: Лесная промышленность, 1967. – 122 с.
4. Зотов Г. А., Памфилов Е. А. *Повышение стойкости дереворежущего инструмента*. М.: Экология, 1991. – 304 с.
5. Бершадский А. Л., Цветкова Н. И. *Резание древесины*. Минск: Вышэйшая школа, 1975. – 304 с.
6. Ивановский Е. Г., Василевская П. В., Лаутнер Э. М. *Новые исследования резания древесины*. М.: Лесная промышленность, 1972. – 128 с.
7. Ивановский Е. Г. *Исследование резания древесины с использованием фотокиносъёмки*. Научные труды ЛТА, 1967. № 100, с. 75
8. Санаев В. Г. *Метод контроля твёрдости защитно-декоративных покрытий на древесных подложках: дис. канд. техн. наук*. М., 1983.

