

зубьев пил в работе // Лесн. журн.—1970.—№ 3.—С. 85—88.—(Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 7 декабря 1990 г.

УДК 674.023(075.8)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ РЕЗАНИИ ДРЕВЕСИНЫ

А. И. СОПОТУН, М. Т. БЕЦЬ

Львовский лесотехнический институт

Сложность полей напряжений и деформаций, вызываемых в древесине резцом, не позволяет с достаточной полнотой представлять механику возникновения и аналитическое описание сил на режущем органе и, соответственно, решать ряд прикладных задач. Тем не менее свойства сред в пространстве в теории упругости и механике сплошных сред достаточно хорошо описаны [1, 5, 7] уравнениями в частных производных в виде задач Дирихле, Ляме, Неймана, Римана и др.

В общем случае решение задачи Дирихле, когда на границе некоторой области определена непрерывная функция [6], сводится к отысканию метода, позволяющего непрерывно продолжать определенные функции от границы на всю замкнутую область. При этом исследуемая функция должна быть непрерывно дифференцируема в ней и иметь регулярное решение, например [2]:

$$\iint_F \left[\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right)^2 \right] dx dy = 0, \quad (1)$$

где, φ — силовая функция Эри.

Компоненты тензора напряжений, выраженные через φ , имеют вид

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}; \quad \tau_{xy} = - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}, \quad (2)$$

значит функционал (1) можно исследовать с позиций баланса моментов сил по всей напряженной области F . При выражении условия баланса моментов сил, приложенных к контуру напряженной области S , как

$$\int_S \varphi dS = 0 \quad (3)$$

получаем краевые условия на границе исследуемого напряженного тела:

$$\varphi_l = \int_0^l dy X dS - \int_0^l dx Y dS = \int_0^l (R_x dy - R_y dx), \quad (4)$$

где X, Y — составляющие единичных поверхностных сил;
 dS — элемент поверхности (контур) области S ;
 R_x, R_y — проекции сил на оси x, y соответственно.

Переход к внутренней задаче осуществляем, используя условие баланса сил, отнесенных к единице длины контура S и площади F (плоская задача) замкнутой области, по интегральной формуле Грина

$$\iint_F \left(\frac{\partial R_x}{\partial x} + \frac{\partial R_y}{\partial y} \right) dx dy = \int_S (R_x dy - R_y dx) = 0. \quad (5)$$

Приведенные уравнения требуют дискретного представления в виде набора многих элементов континуума. Однородность древесины

следует изучать на уровне дифференциально малых размеров, включающих достаточное количество элементов микроструктуры строения материала (квазиоднородность), на основании теоремы о среднем, т. е.:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial x} &= \lim_{F \rightarrow 0} \frac{\int_S \varphi dy}{F}; \\ \frac{\partial \varphi}{\partial y} &= \lim_{F \rightarrow 0} \frac{\int_S \varphi dx}{F}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

При этом естественные и технологические дефекты (трещины усушки, повреждения, сучья и др.) пока должны быть исключены из начальных (граничных) условий. Кроме того, сколь угодно малый размер напряженной области древесины, в которой можно обнаружить силы близкого действия или эффекты локальной микроструктуры, нельзя изучить без включения дополнительных условий в уравнения (1)–(6).

Функция Эри безотносительна к деформациям (распределение напряжений не зависит от свойств материала), а решение бигармонического уравнения

$$\nabla^2 \nabla^2 \varphi = \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0 \quad (7)$$

справедливо для консервативных систем [7]. Отсюда следует, что по третьему закону Ньютона систему внешних нагрузок можно приравнять к сумме внутренних сил, распределенных по некоторому (еще неизвестному) закону в фиксированном числе точек данного напряженного тела.

Заменим континуум исследуемого тела сеточной областью (рис. 1) с распределением внутренних сил в узлах сетки. Толщину стружки примем за независимую переменную. Центральные конечные разности для уравнения (7) представим по квадратной сетке

$$\nabla^2 \nabla^2 \varphi = \begin{array}{c} \boxed{1} \\ \boxed{2} \mid \boxed{-8} \mid \boxed{2} \\ \boxed{1} \mid \boxed{-8} \mid \boxed{20} \mid \boxed{-8} \mid \boxed{1} \\ \boxed{2} \mid \boxed{-8} \mid \boxed{2} \\ \boxed{1} \end{array} \varphi = 0, \quad (8)$$

а шаг дифференцирования dy — по толщине стружки через $h\beta$ (h — шаг сетки) с дискретными значениями β , которые также содержатся в начальных условиях [6]. Например, для точки 20 (рис. 1) имеем

$$2 \frac{9,5(1+\beta) + 1}{1+\beta} \varphi_{20} - 8(\varphi_{11} + \varphi_{19} + \varphi_{21} + \varphi_{29}) + \\ + 2(\varphi_{19} + \varphi_{28} + \varphi_{30}) + \varphi_{18} + \varphi_{22} + \varphi_{38} + 2 \frac{1}{\beta(1+\beta)} \varphi_2 - 2\varphi_{10} = 0. \quad (9)$$

Это позволяет при установлении условия равновесия (8) не составлять для каждого исследуемого значения $h\beta$ отдельную систему из 25 тринадцатичленных линейных уравнений вида (9). При решении системы линейных уравнений $\varphi = AC$ [3] достаточно в матрицу A и формулы начальных условий C внести соответствующее значение β и определить значения функции напряжений во всех узловых точках напряженной области.

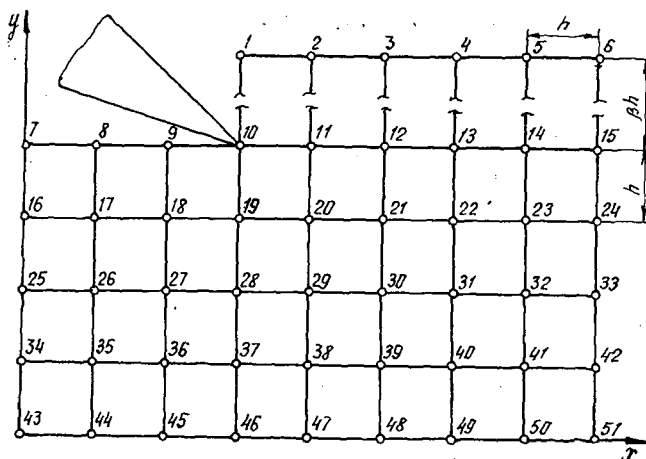


Рис. 1. Аппроксимация континуума напряженной области сеточной

Начальные условия [6] зависят от функционального изменения внешней нагрузки. Отметим, что векторы сил со стороны реза P_v и P взаимосвязаны. Их можно найти по формулам

$$P_v = N (\cos \delta - f \sin \delta); \tag{10}$$

$$P = N (f \cos \delta + \sin \delta), \tag{11}$$

где N — нормальная составляющая усилий со стороны реза на древесину;

δ — угол резания;

f — коэффициент трения между резом и древесиной.

Нельзя принять вектор (10) или (11) в качестве постоянной величины, например $P = 1$, так как в этом случае второй вектор P_v будет неправомочно и односторонне определять «будущее» напряженное состояние тела.

Не ограничивая векторы P и P_v , принимаем независимую переменную N за весовую функцию $N = 1$, а квадратично интегрируемой функции в уравнении (1) даем стационарное значение. Это позволяет выражать в дальнейшем ортонормированную последовательность компонентов тензора напряжений в функции переменных уравнения (10) в виде

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{\psi(f, \delta, N)}.$$

Для определения численных значений компонентов тензора напряжений при вышеизложенных условиях уравнения (2) надо заменить их конечно-разностными аналогами

$$\sigma_x = \frac{1}{h^2} \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{bmatrix} \varphi; \quad \sigma_y = \frac{1}{h^2} \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \varphi;$$

(12)

$$\tau_{xy} = \frac{1}{4h^2} \begin{bmatrix} 1 & & -1 \\ & & \\ -1 & & 1 \end{bmatrix} \varphi.$$

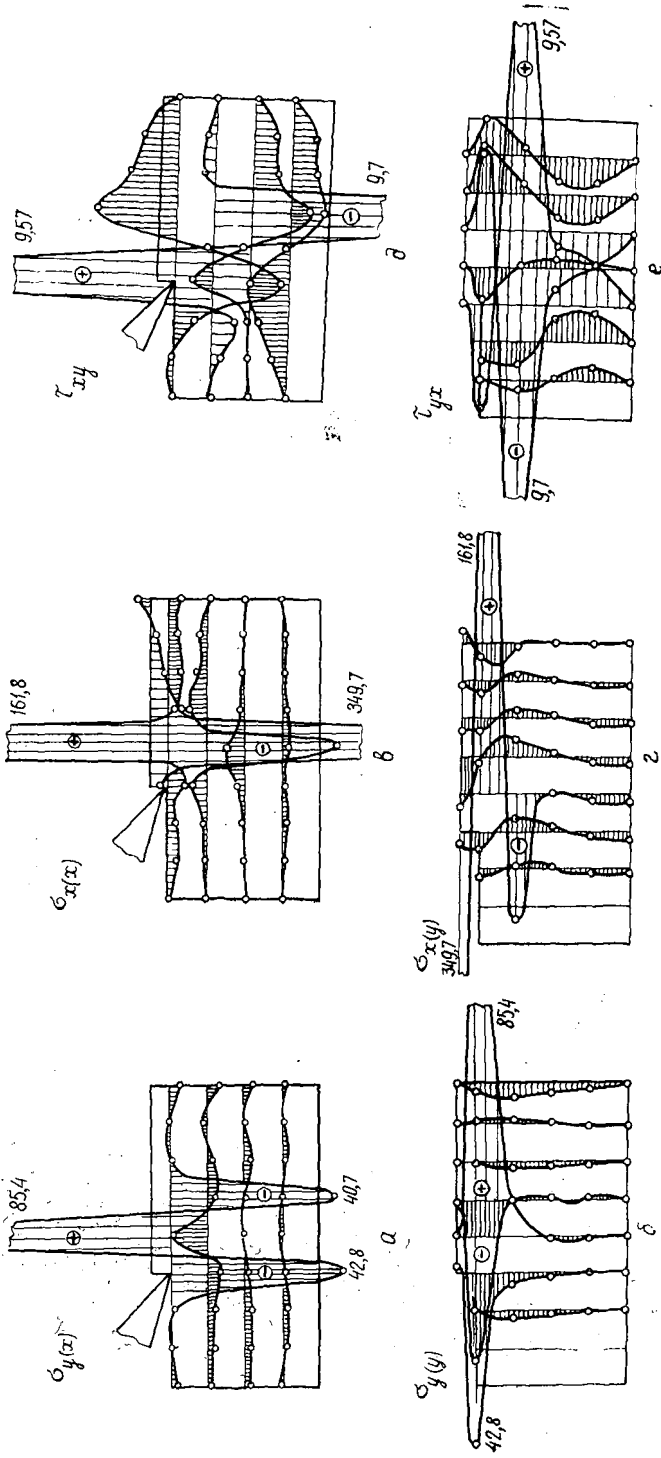


Рис. 2. Эпюры компонентов напряжений при $N = 1$; $\delta = 45^\circ$; $h\beta = 0,5$; $l = 0,2$; $f = 0,2$; а — $\sigma_y(x)$; б — $\sigma_y(y)$; в — $\sigma_x(x)$; г — $\sigma_x(y)$; д — τ_{xy} ; е — τ_{yx}

В качестве примера на рис. 2 представлены эпюры напряжений по горизонтальным и вертикальным сечениям напряженной области.

Полученные эпюры напряжений показывают, что в точках твердого тела, достаточно удаленных от реза, напряжения зависят от глав-

ного вектора и главного момента заданных сил и концентрируются около лезвия резца. Это соответствует принципу Сен-Венана.

Графики на рис. 2 иллюстрируют периодическое изменение компонентов поля напряжений сравнительно больших амплитуд. Оно особенно заметно перед внедряемым в древесину резцом по плоскости резания и по вертикальным сечениям напряженного тела.

Влияние толщины стружки $h\beta$ на компоненты напряжений у лезвия резца показано на рис. 3. Для $\delta = 45^\circ$ компоненты нормальных напряжений в точке соприкосновения лезвия с древесиной сжимаемы. Разрушение древесины происходит в результате контактного воздействия режущей кромки.

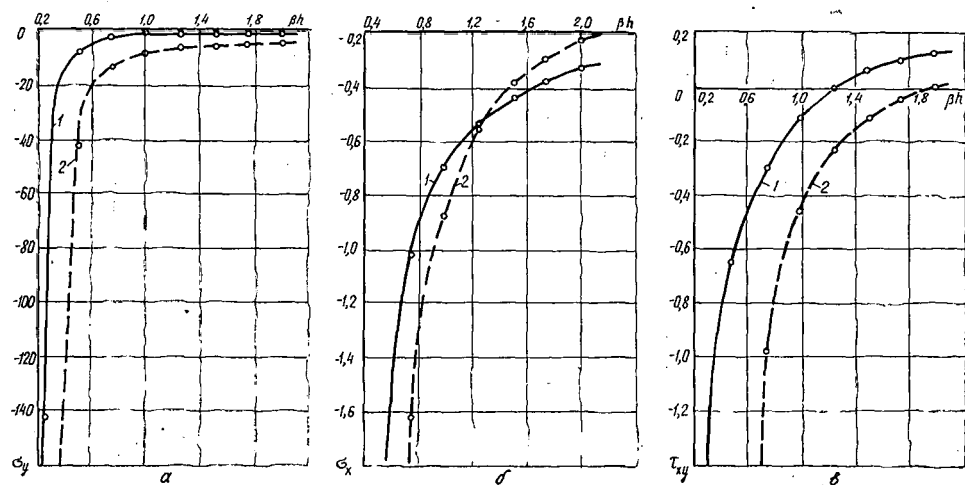


Рис. 3. Зависимость компонентов напряжений в точке соприкосновения лезвия резца с древесиной от толщины стружки при $N = 1$; $\delta = 45^\circ$; $l = 0,2$: а — σ_y ; б — σ_x ; в — τ_{xy} ; 1 — $f = 0,2$; 2 — $f = 0,6$

Наличие сравнительно больших значений амплитуд напряжений растяжения δ_y и δ_x (см. рис. 2) на некотором незначительном расстоянии от лезвия резца (непосредственно у лезвия имеем напряжения сжатия) можно объяснить по гипотезе [4], согласно которой всякая пластическая деформация (по передней грани резца) сопровождается увеличением объема и «разрыхлением» материала. Следовательно, контактному разрушению древесины предшествуют возникновение и концентрация отрицательных (растягивающих материал) нормальных напряжений в плоскости резания, особенно касательных у режущей кромки.

Характерно, что при сравнительно больших толщинах срезаемого слоя ($h\beta > 1,5$) «скорость» изменения компонентов тензора напряжений стабилизируется, а при $h\beta = 0,8$ наблюдается их резкое изменение.

Реальные значения компонентов напряжений в зависимости от толщины срезаемого слоя необходимо исследовать, принимая во внимание, что $N = 1$, т. е. полученные значения являются обратными величинами реального процесса или геометрической инверсией функционального представления напряжений с позиций преобразований Лапласа. Однако при дальнейшем отыскании аналитической зависимости изменения внешних сил вряд ли следует отдавать предпочтение оригиналу $\sigma_{l(\beta h)}$ над его изображением $\psi(\sigma_{l(\beta h)}^{-1})$ (рис. 3).

Влияние угла резания δ на напряженное состояние древесины у лезвия резца показано на рис. 4. Можно сделать вывод, что напряже-

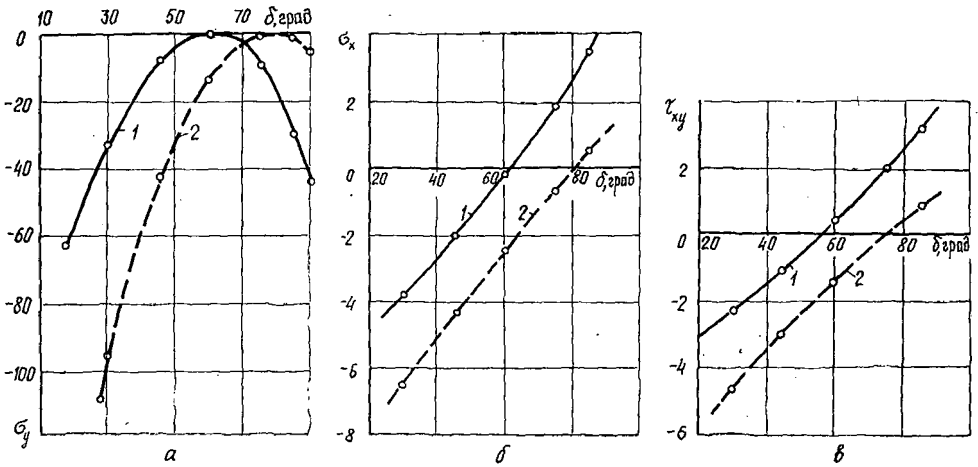


Рис. 4. Зависимость компонентов напряжений в точке соприкосновения лезвия реза с древесиной от угла резания при $N = 1$; $h\beta = 0,5$; $l = 0,2$: а — σ_y ; б — σ_x ; в — τ_{xy} ; 1 — $f = 0,2$; 2 — $f = 0,6$

ния σ_y имеют положительное значение — растяжение (при $\delta \approx 60^\circ$ и $f = 0,6$, а также при $\delta \approx 80^\circ$ и $f = 0,2$), а компоненты σ_x , изменив знак, продолжают возрастать с повышением δ . При увеличении коэффициента трения контактирующей пары резец — древесина смена направления вектора внешней нагрузки P_v и компоненты σ_x происходит при меньших углах резания (передняя грань снимает концентрацию напряжений сжатия σ_x у лезвия и перераспределяет их вверх по толщине стружки).

Выводы

1. Результаты исследований по определению поля напряжений при резании древесины подтверждают необходимость обоснования корректных краевых условий [6] и возможность реализации задачи по вычислению тензоров поля напряжений и раскрытию физической сущности разрушения древесины при механическом воздействии клинообразного тела.

2. Решение внутренней задачи позволяет выявить характер распределения сил по передней грани резца и получить аналитическую зависимость сил резания в функции технологических переменных и свойств материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности / Пер. с англ.—М.: Мир, 1987.— 542 с. [2]. Караманский Т. Д. Численные методы строительной механики / Пер. с болг.—М.: Стройиздат, 1981.— 436 с. [3]. Марчук Т. И. Методы вычислительной математики.—М.: Наука, 1980.— 536 с. [4]. Новожилов В. В. О пластическом разрушении // Прикладная математика и механика.— 1965.— Т. XXIX, вып. 4.— С. 681—689. [5]. Пространственные задачи теории упругости и пластичности / Под общей ред. акад. АН УССР А. Н. Гузя.—К.: Наук. думка.— Т. 3.— 1985.— 280 с.; Т. 6.— 1986.— 272 с. [6]. 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). [7]. Эриксен Дж. Исследования по механике сплошных сред / Пер. с англ.—М.: Мир, 1977.— 246 с.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

ЛУДК 676.1.023.1

ВЛИЯНИЕ ХЕЛАТНОГО СОЕДИНЕНИЯ
НА ПРОЦЕСС ОТБЕЛКИ ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ
РАСТВОРАМИ ДИТИОНИТА НАТРИЯТ. А. ТУМАНОВА, А. Р. ГАБРИЕЛЯН, В. А. ЧАСОВЕННАЯ,
Ю. И. ДЬЯЧЕНКО, С. С. ПУЗЫРЕВ

Ленинградская лесотехническая академия

Проблема отбелки древесной массы является весьма важной в современных условиях в связи с возрастающим дефицитом белых волокнистых полуфабрикатов. Поиск новых эффективных отбеливающих реагентов и их изучение представляют большой интерес. Отбелке дитионитом натрия (ДН) посвящено немного работ, а изложенные в них данные о режимах и влиянии хелатных соединений на протекание процессов в растворах ДН весьма противоречивы [2, 3, 6—10, 12, 13, 15].

В настоящей работе приведены результаты изучения влияния предварительной обработки небеленого полуфабриката раствором ЭДТА (динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты) на процесс разложения ДН и свойства белимой волокнистой массы.

В качестве полуфабриката использовали рафинерную древесную массу (РДМ) Сыктывкарского ЛПК из древесины ели со степенью помола 65 °ШР, массовой долей лигнина 30, смол и жиров — 4,2, зольных веществ — 0,8 %. Препарат ДН содержал 82,4 % дитионита, 10,0 % сульфита, 6,0 % сульфата и 1,5 % тиосульфата.

Отбелку образцов РДМ раствором ДН производили при температуре 20, 35, 55 и 70 °С. Во время опытов величина рН растворов не менялась и была равной 5, 6, 7. Продолжительность отбелки τ составляла от 15 до 120 мин, концентрация отбелного раствора по ДН — 20,6 ммоль/л, концентрация массы — 3 %.

Образцы небеленой РДМ предварительно обрабатывали раствором ЭДТА (из расчета 0,25 % к массе абс. сухого вещества). В нагретую реакционную массу после установления рН вносили при перемешивании навеску ДН. Параллельно проводили опыты по отбелке в тех же условиях, но без обработки ЭДТА. После отбелки массу промывали водой до нейтральной реакции.

В отработанном отбелном растворе определяли содержание С дитионита натрия, гидросульфита, тиосульфата, сульфата [1], рН (рис. 1), а также наличие катионов железа и марганца. В образцах массы после промывки фиксировали содержание золь, а затем — железо и марганец в ней с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра ААС-1N (ГДР). Белизну отливок (Б) определяли на лейкометре.

Для изучения реверсии белизны РС рафинерной древесной массы использовали УФ-излучение с длиной волны 340 и 390 нм. Продолжительность освещения 15 ч.

Полученные кинетические кривые разложения ДН и образования гидросульфита аппроксимировали уравнениями кубической параболы. Сравнение результатов расчета показало, что коэффициенты кинетических уравнений b_1 , отвечающие начальной скорости разложения, возрастают по модулю при снижении рН и в целом — с увеличением температуры. В присутствии РДМ процесс разложения ДН сначала ускоряется, затем резко замедляется [1].

По температурной зависимости находили эффективную энергию активации E_a^\ddagger разложения ДН. Выявлена связь между E_a^\ddagger и рН: при величине рН, равной 7 и 6, эффективная энергия активации соответственно составляет 18 ± 4 и 8 ± 1 кДж/моль, а при рН 5 — около 0 кДж/моль. Это говорит о том, что на механизм реакций (или соотношение долей их участия в общей сумме реакций) активно влияет рН.