В целях обеспечения оптимального центрирования бревен перед обработкой на четырехкантный брус полной длины необходимо осуществлять обмер бревна непосредственно в линии формирования сечения пиломатериала.

Литература

1. А к с е н о в П.П. Теоретические основы раскроя пиловочного сырья. М., 1960. 2. С т у п н е в Г.К. Новые принципы базирования круглых лесоматериалов при механической обработке. М., 1978. 3. Л а х т а н о в А.Г. Влияние кривизны бревен на оптимальные размеры и объемный выход четырехкантных брусьев // Деревообрабатывающая пром-сть. 1983. № 7. С. 8–9. 4. Л а х т а н о в А.Г., Д р о з д о в А.М. Определение сечений с равной шириной горбылевой зоны в заготовке с односторонней кривизной при базировании по хорде выпуклой кромки // Механическая технология древесины. Мн., 1985. Вып. 15. С. 20–23.

УДК 539.376:674.04

С.С.МАКАРЕВИЧ

РЕЛАКСАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ В МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЕ

В работе [1] решена задача определения температурных напряжений в модифицированной древесине в упругой постановке. Фактически температурные напряжения, возникающие после термообработки пропитанной полимерами древесины, не будут постоянными, а с течением времени будут уменьшаться, т.е. релаксировать. Для правильного назначения режимов термообработки важно знать изменение напряжений во времени при заданном перепаде температур.

Поскольку древесина — анизотропный материал, температурные напряжения будут различными в продольном и поперечном направлении.

Напряжения в продольном направлении. Для определения температурных напряжений принята модель модифицированной древесины, представляющая собой трубки из древесного вещества, покрытые внутри полимерным слоем. Учитывая, что коэффициенты линейного расширения у древесного вещества и у полимера различны, при изменении температуры в них возникнут внутренние усилия.

Рассмотрев равновесие модифицированной древесины вдоль волокон, получим

$$\sigma_а + \sigma_п km = 0, \qquad (1)$$

где $\sigma_а$ и $\sigma_п$ — напряжения в древесине и полимере; k — коэффициент объемного заполнения пустот древесины [2]; m — пористость древесины.

Условие совместности деформаций древесного и полимерного слоев может быть записано уравнением

$$\epsilon_а - \epsilon_п = (\alpha_п - \alpha_а)(T - T_0), \qquad (2)$$

где $\epsilon_а$, $\epsilon_п$ — относительная продольная деформация древесины от напряжения $\sigma_а$ и полимера от напряжения $\sigma_п$; $\alpha_а$, $\alpha_п$ — коэффициенты линейного расширения древесины вдоль волокон и полимера; T, T_0 — конечная и начальная температура.

Поведение древесины [3] и полимера [4] во времени можно описать наследственной теорией Больцмана—Вольтерра:

$$\left.\begin{aligned} \epsilon_а &= (\sigma_а + \int_0^t K_а (t-\tau)\,\sigma_а(\tau)\,d\tau)/E_а; \\ \epsilon_п &= (\sigma_п + \int_0^t K_п (t-\tau)\,\sigma_п(\tau)\,d\tau)/E_п, \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

где $E_а$, $E_п$ — модули упругости древесного вещества вдоль волокон и полимера; $K_а (t - \tau)$ — ядро ползучести древесного вещества вдоль волокон; $K_п (t - \tau)$ — ядро ползучести полимера.

В качестве ядра ползучести для древесины и полимера примем экспоненциальную функцию

$$K_а (t-\tau) = A\exp(-\alpha(t-\tau)); \; K_п (t-\tau) = B\exp(-\beta(t-\tau)), \quad (4)$$

где A, α, B, β — вязкоупругие константы, определяемые по опытным кривым ползучести.

Подставим выражения (3) в уравнение (2) :

$$(\sigma_а + \int_0^t K_а (t-\tau)\sigma_а(\tau)d\tau)/E_а - (\sigma_п + \int_0^t K_п(t-\tau)\sigma_п(\tau)d\tau)/E_п =$$

$$= (\alpha_п - \alpha_а)(T - T_0). \quad (5)$$

Будем считать, что температура изменяется мгновенно и в дальнейшем некоторое время остается неизменной. Тогда правая часть уравнения (5) будет постоянной.

Найдем изображение уравнений (1) и (5) по Лапласу:

$$\left.\begin{aligned} &\sigma_а(p) + \sigma_п(p)\,km = 0; \\ &(\sigma_а(p) + K_а(p)\,\sigma_а(p))/E_а - (\sigma_п(p) + K_п(p)\,\sigma_п(p))/E_п = \\ &= (\alpha_п - \alpha_а)(T - T_0)/p, \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

где p — параметр преобразования.

Изображениями ядер ползучести (4) по Лапласу соответственно будут

$$K_а(p) = A/(p+\alpha); \; K_п(p) = B/(p+\beta). \quad (7)$$

Из уравнений системы (6) с учетом (7) найдем

$$\sigma_а(p) = \frac{(\alpha_п - \alpha_а)(T - T_0)(p^2 + C_1 p + C_2)}{(S_а + S_п)(p^2 + D_1 p + D_2)p};$$

$$
\sigma_{п}(p) = -\frac{(a_{п}-a_{а})(T-T_0)(p^2+C_1p+C_2)}{km(S_{а}+S_{п})(p^2+D_1p+D_2)p}, \tag{8}
$$

где $S_{а} = 1/E_{а}$; $S_{п} = 1/kmE_{п}$; $C_1 = \alpha+\beta$; $C_2 = \alpha\beta$;

$$
D_1 = \frac{S_{а}(A+C_1)S_{п}(B+C_1)}{S_{а}+S_{п}};\quad D_2 = \frac{S_{а}(A+\alpha)\beta + S_{п}(B+\beta)\alpha}{S_{а}+S_{п}}.
$$

Таким образом, получены напряжения в древесном слое и в полимере в зависимости от параметра p.

Введем обозначения $Q(p) = p^2 + C_1p + C_2$; $R(p) = p^2 + D_1p + D_2$. В работе [5] показано, что корни уравнения $R(p) = 0$ действительные и отрицательные. В этом случае дробь $Q(p)/R(p)$ можно разложить на элементарные дроби и сделать обратное преобразование уравнений (8). В результате получим изменение во времени напряжений в древесных и полимерных слоях:

$$
\left.
\begin{aligned}
\sigma_{а} &= \frac{(a_{п}-a_{а})(T-T_0)}{S_{а}+S_{п}}\left(\frac{Q(0)}{R(0)} + \sum_{i=1}^{2}\frac{Q(r_i)}{r_iR'(r_i)}e^{r_it}\right);\\
\sigma_{п} &= -\frac{(a_{п}-a_{а})(T-T_0)}{km(S_{а}+S_{п})}\left(\frac{Q(0)}{R(0)} + \sum_{i=1}^{2}\frac{Q(r_i)}{r_iR'(r_i)}e^{r_it}\right),
\end{aligned}
\right\} \tag{9}
$$

где $Q(0)$, $R(0)$ — значения многочленов $Q(p)$ и $R(p)$ при $p = 0$; r_i — корни уравнения $R(p) = 0$; $Q(r_i)$ — значение многочлена $Q(p)$ при $p = r_i$; $R'(r_i)$ — значение производной $dR(p)/dp$ при $p = r_i$.

Формулы (9) позволяют определить температурные напряжения в древесине и полимере в любой момент времени после изменения температуры от T_0 до T.

Напряжения в поперечном направлении. Согласно принятой модели, модифицированную древесину можно считать состоящей из множества составных толстостенных цилиндров разного диаметра. Внутренний радиус древесных сосудов (трубок) обозначим R, наружный — R_1, внутренний радиус полимерных трубок — R_2.

При изменении температуры на границе "полимер—древесина" возникает давление q, направленное по радиусу в каждом сосуде (трубке). Поэтому от давлений q границу R_1 можно считать неподвижной.

Радиальное по отношению к сосуду перемещение произвольно взятой точки обозначим u, текущий радиус — r. Тогда относительные деформации в радиальном и окружном направлении

$$
\epsilon_r = du/dr;\quad \epsilon_\theta = u/r. \tag{10}
$$

Рассмотрев равновесие выделенного из сосуда элемента, получим

$$\sigma_r + r d\sigma_r/dr - \sigma_\theta = 0, \tag{11}$$

где σ_r, σ_θ — напряжения в радиальном и окружном направлении.

Учитывая, что произвольная точка сосуда от нагрузки q находится в условиях плоского напряженного состояния, физическую сторону задачи запишем уравнениями

$$\left.\begin{aligned} &\sigma_r + \int_0^t K(t-\tau)\sigma_r(\tau)d\tau = (\epsilon_r + \mu\epsilon_\theta)E/(1-\mu^2); \\ &\sigma_\theta + \int_0^t K(t-\tau)\sigma_\theta(\tau)d\tau = (\epsilon_\theta + \mu\epsilon_r)E/(1-\mu^2), \end{aligned}\right\} \tag{12}$$

где μ—коэффициент Пуассона древесины или полимера в зависимости от того, для какого слоя записаны уравнения (коэффициент Пуассона можно считать не зависящим от времени).

Напряжения σ_r и σ_θ в древесине и полимере определяем из уравнений (10) — (12). Решение, как и в предыдущем случае, удобно проводить с помощью преобразования Лапласа. При этом необходимо использовать следующие граничные условия: для древесного слоя — при $r = R\ \sigma_r = -q$; при $r = R_1\ u = 0$; для полимерного слоя — при $r = R\ \sigma_r = -q$; при $r = R_2\ \sigma_r = 0$.

В результате решения для древесного слоя получим

$$\left.\begin{aligned} &\sigma_r = -q\frac{(1+\mu_1) + (1-\mu_1)R_1^2/r^2}{(1+\mu_1) + (1-\mu_1)R_1^2/R^2}; \\ &\sigma_\theta = -q\frac{(1+\mu_1) - (1-\mu_1)R_1^2/r^2}{(1+\mu_1) + (1-\mu_1)R_1^2/R}; \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

для полимерного слоя

$$\sigma_r = -q\frac{1 - R_2^2/r^2}{1 - R_2^2/R^2}; \quad \sigma_\theta = -q\frac{1 + R_2^2/r^2}{1 - R_2^2/R^2}, \tag{14}$$

где μ_1 — коэффициент Пуассона древесного слоя при нагружении поперек волокон.

В уравнениях (13) и (14) остается неизвестным давление q. Для его определения запишем уравнение совместности деформаций на границе слоев

$$u_д - u^*_д - u_п + u^*_п = 0, \tag{15}$$

где $u_д$, $u_п$ — перемещения соответственно в древесном и полимерном слоях от нагрузки q; $u^*_д$, $u^*_п$ — перемещения в тех же слоях от изменения температуры.

Перемещения от температуры на границе слоев

$$u^*_д = a_д R(T - T_0); \, u^*_п = a_п R(T - T_0), \tag{16}$$

где $a_д$ — коэффициент линейного расширения древесных слоев поперек волокон.

Подставив уравнение (16) в (15), получим

$$u_д - u_п = R(a_д - a_п)(T - T_0). \tag{17}$$

Решая уравнение (17) совместно с уравнениями (10) – (12) и используя преобразования Лапласа, получаем

$$q = \frac{(a_д - a_п)(T - T_0)}{\lambda_1 + \lambda_2} \left(\frac{Q_1(0)}{R_1(0)} + \sum_{i=1}^{2} \frac{Q_1(\eta_i)}{\eta_i R_1'(\eta_i)} e^{\eta_i t} \right), \tag{18}$$

где $Q_1(0)$, $R_1(0)$ — значения многочленов $Q_1(p) = p^2 + C_3 p + C_4$; $R_1(p) = p^2 + D_3 p + D_4$ при $p = 0$; η_i — корни уравнения $R_1(p) = 0$; $Q_1(\eta_i)$ — значение многочлена $Q_1(p)$ при $p = \eta_i$; $R_1'(\eta_i)$ — значение производной $dR_1(p)/dp$ при $p = \eta_i$; $C_3 = a_1 + \beta$; $C_4 = a_1 \beta$;

$$\lambda_1 = \frac{(1 - \mu_1^2)(R_1^2 - R_2^2)}{E_1((1 + \mu_1)R^2 + (1 - \mu_1)R_1^2)}; \quad \lambda_2 = \frac{(1 - \mu_п)R^2 + (1 + \mu_п)R_2^2}{E_п(R^2 - R_2^2)};$$

$$D_3 = \frac{\lambda_1(A_1 + a_1 + \beta) + \lambda_2(B + a_1 + \beta)}{\lambda_1 + \lambda_2};$$

$$D_4 = \frac{a_1\beta(A_1 + a_1) + a_2 a_1(B + \beta)}{a_1 + a_2},$$

где A_1, a_1 — вязкоупругие постоянные ядра ползучести $K_1(t - \tau) = A_1 \exp(-a_1(t - \tau))$ при нагружении древесины поперек волокон.

Подставив значение q из формулы (18) в формулы (13), можно определить изменение напряжений во времени в древесине и полимере при заданном перепаде температур. В начальный момент времени при $t = 0$

$$q(0) = \frac{(a_д - a_п)(T - T_0)}{\lambda_1 + \lambda_2}. \tag{19}$$

При достаточно большом времени $(t \to \infty)$

$$q(\infty) = \frac{(a_д - a_п)(T - T_0)}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_1 A_1/a_1 + \lambda_2 B/\beta}. \tag{20}$$

По формулам (19) и (20) давление q со временем падает, следовательно, будут уменьшаться и напряжения в древесине и полимере.

Полученные результаты можно использовать для правильного назначения режимов термообработки древесины при модифицировании. На последней стадии термообработки температура доводится до 120 °С. Если после этого произвести резкое охлаждение до 20 °С, в древесине и полимере возникнут большие напряжения, которые могут привести к образованию микротрещин. Полученные зависимости позволяют вычислить такой перепад температур, при котором напряжения в древесине и полимере не будут превышать допускаемых. Через некоторое время возникшие температурные напряжения уменьшатся , и можно снова изменить температуру так, чтобы вновь возникшие напряжения и напряжения, оставшиеся после релаксации, в сумме не превышали допускаемых и т.д.

Таким образом,при помощи полученных зависимостей можно определить такой ступенчатый режим охлаждения, который будет наиболее целесообразным и при котором напряжения на каждой ступени не будут превышать допускаемых.

Литература

1. Макаревич С.С. Температурные напряжения, возникающие в древесине в процессе модификации ее термохимическим методом // Механическая технология древесины. Мн., 1982. Вып. 12. С. 80–84. 2. Макаревич С.С., Любецкий Д.И. Определение модуля упругости модифицированной древесины при сжатии // Модификация древесины синтетическими полимерами. Мн., 1973. С. 128–137. 3. Хвесько Г.М., Макаревич С.С. Ползучесть древесины, модифицированной термохимическим способом // Изв. вузов. Лесн. журн. 1984. № 6. С. 87–92. 4. Тарнопольский Ю.М., Скудра А.М. Конструкционная прочность и деформативность стеклопластиков. Рига, 1966. 5. Макаревич С.С. Устойчивость вязкоупругих слоистых стержней // Изв. АН БССР. Сер. физ.-техн. наук. 1982. № 2. С. 21–25.

УДК 674.048

А.И.САНКОВИЧ

ПРОЧНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ПЕРЕРЕЗЫВАНИИ ПОПЕРЕК ВОЛОКОН

Применение древесины и древесных материалов в различных отраслях народного хозяйства непрерывно расширяется. Для получения рекомендаций на рациональное конструирование из древесины проводятся многочисленные механические испытания как натуральной, так и модифицированной древесины.

При расчете на прочность элементов деревянных конструкций часто используются критерии (теории) прочности, в состав которых входят и пределы прочности при чистом сдвиге, примером которого и является перерезывание поперек волокон натуральной и модифицированной древесины. Для проведения испытаний на перерезывание поперек волокон в радиальной плоскости были изготовлены образцы древесины березы, которые партиями пропитывались фенолоспиртами различной концентрации (10, 20, 35, 50 %-й). Опыты проводились на испытательной машине Р-5 со скоростью перемещения подвижной траверсы 1 мм/мин с записью диаграммы деформирования образца в координатах "нагрузка–деформация". При этом использовалось приспособление в соответствии с ГОСТ 17483. 13–72.