

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.812.02

*В.А. ШАМАЕВ, В.Б. ОГАРКОВ, Н.И. ВИННИК*

Воронежская государственная лесотехническая академия



Шамаев Владимир Александрович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Воронежский государственный университет, доктор технических наук, зам. директора по науке Научно-производственного центра «ВОСМОДДРЕВ» при Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет 32 изобретения в области модификации древесины.



Винник Николай Иосифович родился в 1927 г., окончил в 1951 г. Львовский лесотехнический институт, кандидат технических наук, профессор, зам. генерального директора Научно-производственного центра «ВОСМОДДРЕВ» при Воронежской государственной лесотехнической академии, председатель Межгосударственного технического комитета МТК-196 по стандартизации, руководитель Испытательного центра и зам. руководителя Органа по сертификации, главный ученый секретарь и академик Академии проблем качества РФ. Имеет около 90 научных трудов в области комплексного использования древесного сырья.

### ДЕФОРМИРОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ СЖАТИИ И ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Предложена математическая модель деформирования древесины в условиях температурно-влажностного воздействия под механическим давлением.

The mathematical model of wood deformation has been suggested in the conditions of temperature-moistening action under mechanical pressure.

Для получения модифицированной древесины перспективно применять совмещенный способ, в котором сырую древесину, содержащую

10...15 % карбамида по отношению к массе сухой древесины, сушат и одновременно уплотняют до плотности  $\rho = 1000...1200 \text{ кг/м}^3$  [2].

Рассмотрим процесс сушки пластифицированной карбамидом древесины при сжатии ее поперек волокон. Физическая модель процесса, представленная на рис. 1, заключается в следующем. При нагружении образца древесины силой  $P$  в направлении

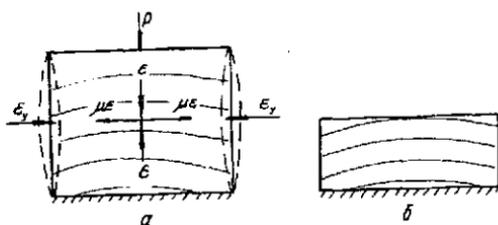


Рис. 1. Физическая модель деформирования древесины при сушке под давлением:  $a$  – начало процесса (температура  $T = 373 \text{ K}$ );  $b$  – окончание процесса ( $P = 0$ ,  $T = 293 \text{ K}$ ,  $\epsilon_y = -\mu\epsilon$ )

сжатия возникают и развиваются во времени напряжения  $\sigma$  и относительные деформации  $\epsilon$ . При отсутствии боковых ограничений имеет место поперечная деформация  $\mu\epsilon$ , где  $\mu$  – коэффициент Пуассона. В процессе сушки древесины в направлении, поперечном сжатию, начинает развиваться деформация усушки, относительную величину которой обозначим  $\epsilon_y$ . Она вызывает уменьшение поперечных размеров.

Сущность рассматриваемого способа сушки заключается в том, чтобы задать закон нагружения, при котором в течение всего процесса сушки максимально минимизировать разность между величиной поперечной деформации и усушкой в поперечном сжатии направлении, т. е. обеспечить условие

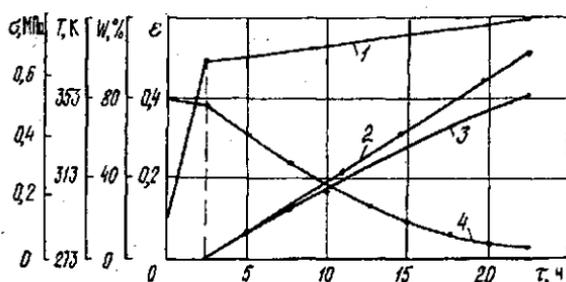
$$\epsilon_y = -\mu\epsilon. \quad (1)$$

При соблюдении требования (1) упрощается технологическая оснастка и существенно повышается качество получаемой модифицированной древесины.

Графики изменения технологических параметров процесса, построенные на основании данных экспериментальных исследований, представлены на рис. 2. При  $\tau \geq 2,5$  ч имеем следующие зависимости: изменение влажности  $W$  во времени  $\tau$ , аппроксимируемое экспонентой

$$W = -110 + 148e^{0,025(\tau-10)}; \quad (2)$$

Рис. 2. Изменение технологических факторов при сушке сжимаемой древесины во времени  $\tau$ : 1 – температура; 2 – напряжение; 3 – деформация в направлении сжатия; 4 – влажность



изменение температуры  $T$  во времени, аппроксимируемое линейным уравнением

$$T = 373 + 0,5\tau. \quad (3)$$

При реализации полного факторного эксперимента при сжатии натуральной древесины в тангенциальном направлении получено уравнение связи для зависимости модуля упругости  $E_{pWT}$  от плотности  $\rho$ , влажности  $W$  и температуры  $T$ :

$$E_{pWT} = 2626 + 0,5833\rho - 5,0T - 21,7W - 0,032TW + 0,014\rho W - 0,00005\rho TW. \quad (4)$$

С учетом (2) и (3) уравнение (4) принимает следующий вид:

$$E_{pWT} = 2626 + 0,5833\rho - 5(373 - 0,5\tau) - (21,7 - 0,014\rho) \times x \left[ -110 + 148e^{-0,025(\tau-10)} \right] + (0,032 - 0,00005\rho)(373 + 0,5\tau) \times x \left[ -110 + 148e^{-0,025(\tau-10)} \right]. \quad (5)$$

По закону Гука имеем

$$d\sigma = E_{pWT} d\varepsilon_c, \quad (6)$$

где  $\varepsilon_c$  — относительная силовая деформация в направлении сжатия;

$E_{pWT}$  — модуль упругости, МПа;

$\sigma$  — напряжение сжатия, МПа.

Интегрируя (6), получаем

$$\sigma = \int_0^{\varepsilon_c} E_{pWT} \dot{\varepsilon}_c d\varepsilon_c, \quad (7)$$

где  $\dot{\varepsilon}_c = \frac{d\varepsilon_c}{d\tau}$  — интенсивность изменения деформации во времени.

Введем в рассмотрение единичную функцию Хевисайда  $H_+(\varepsilon_c - \varepsilon_c^*)$ .

Тогда

$$H_+(\varepsilon_c - \varepsilon_c^*) = \begin{cases} 0, & \text{если } \varepsilon_c - \varepsilon_c^* < 0; \varepsilon_c \leq \varepsilon_c^*; \\ 1, & \text{если } \varepsilon_c - \varepsilon_c^* > 0; \varepsilon_c > \varepsilon_c^*; \end{cases} \quad (8)$$

$$1 - H_+(\varepsilon_c - \varepsilon_c^*) = \begin{cases} 1, & \text{если } \varepsilon_c - \varepsilon_c^* \leq 0; \varepsilon_c < \varepsilon_c^*; \\ 0, & \text{если } \varepsilon_c - \varepsilon_c^* > 0; \varepsilon_c > \varepsilon_c^*. \end{cases}$$

Здесь  $\varepsilon_c^*$  — относительная силовая критическая деформация, при которой происходит скачкообразное изменение вида реологического уравнения.

В качестве исходного расчетного уравнения процесса используем уравнение Б.Н. Уголева [1]

$$\varepsilon = \alpha \bar{W} + \int_0^{\tau} \frac{\dot{\sigma}}{E_{pWT}} d\tau, \quad (9)$$

где  $\alpha$  – коэффициент усушки в направлении сжатия,  $\alpha = \frac{k_y}{100\%}$ ;

$k_y$  – коэффициент усушки, выраженный в процентах.

Общий закон деформирования древесины сжатием поперек волокон при одновременном температурно-влажностном воздействии выражается уравнением

$$\varepsilon_\tau = \alpha \bar{W} + H_+(\varepsilon_c - \varepsilon_c^*) \int_0^\tau \frac{\dot{\sigma}}{E_{pWT}} d\tau + \left[ 1 - H_+(\varepsilon_c - \varepsilon_c^*) \right] \frac{\sigma}{E_{pWT}} + \alpha_T T, \quad (10)$$

где  $\varepsilon_\tau$  – деформация, изменяющаяся во времени;

$\bar{W}$  – влажность, изменяющаяся во времени;

$\alpha_T$  – коэффициент температурной деформации, которым из-за малости можно пренебречь.

Как видно из рис. 2, скорость нагружения во времени является линейной величиной и аппроксимируется уравнением

$$\sigma = V_c \tau, \quad (11)$$

где  $V_c = \int_0^\tau \dot{\sigma} d\tau$  – скорость нагружения.

При этом зависимость  $\sigma$ – $\varepsilon$  также линейна. С учетом (11) деформация  $\varepsilon_c^*$  определяется из условия

$$\varepsilon_c^* = \frac{V_c \tau}{E_{pWT}}. \quad (12)$$

В окончательной форме уравнение (10) имеет вид

$$\varepsilon_\tau = \alpha \left[ W_{\tau_0} + 110 - 148e^{0,025} \right] + H_+(\varepsilon_c - \varepsilon_c^*) \times \left[ \int_0^\tau \frac{\dot{\sigma} d\tau}{E_{pWT}} + \left[ 1 + H_+(\varepsilon_c - \varepsilon_c^*) \right] \frac{V_c \tau}{E_{pWT}} \right], \quad (13)$$

где  $E_{pWT}$  и  $\varepsilon_c^*$  рассчитывают по формулам (5) и (12).

Уравнение (13) представляет собой рабочий вариант математической модели деформирования древесины в условиях температурно-влажностного воздействия под механическим давлением и пригодно для практического использования при больших деформациях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Уголев Б.Н., Лапшин Ю.Г., Кротов Е.В. Контроль напряжений при сушке древесины. - М.: Лесн. пром-сть, 1980. - 208 с. [2]. Шамаев В.А. Модификация древесины. - М.: Экология, 1991. - 127 с.