

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

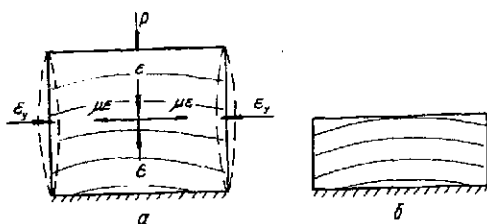


Рис. 1. Физическая модель деформирования древесины при сушке под давлением: a – начало процесса (температура $T = 373 \text{ К}$); b – окончание процесса ($P = 0$, $T = 293 \text{ К}$, $\epsilon_y = -\mu\epsilon$)

сжатия возникают и развиваются во времени напряжения σ и относительные деформации ϵ . При отсутствии боковых ограничений имеет место поперечная деформация $\mu\epsilon$, где μ – коэффициент Пуассона. В процессе сушки древесины в направлении, поперечном сжатию, начинает развиваться деформация усушки, относительную величину которой обозначим ϵ_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

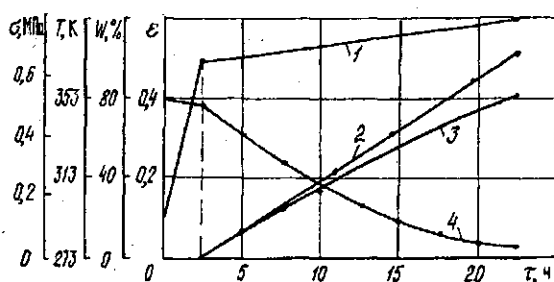
$$\epsilon_y = -\mu\epsilon. \quad (1)$$

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 τ , аппроксимируемое экспонентой

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

Рис. 2. Изменение технологических факторов при сушке сжимаемой древесины во времени τ : 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 ρ , 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:

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

По закону Гука имеем

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

где ϵ_c — относительная силовая деформация в направлении сжатия;

E_{pWT} — модуль упругости, МПа;

σ — напряжение сжатия, МПа.

Интегрируя (6), получаем

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

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

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

Тогда

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

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

Здесь ϵ_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]

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

где α – 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 ε_τ – деформация, изменяющаяся во времени;

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

α_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 σ – ε также линейна. С учетом (11) деформация ε_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 ε_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.