

III. МОДИФИЦИРОВАННАЯ ДРЕВЕСИНА

УДК 674.03:531

М.И.Губич, ассистент (БТИ им. С.М.Кирова)

УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ СМОЛОЙ ПН-1*

В настоящей работе приводятся результаты исследования устойчивости сжатых стержней из модифицированной древесины, проведенные при следующих способах закрепления концов: "шарнир — шарнир", "зашемление — шарнир", "зашемление — зашемление".

Пропитке подвергалась здоровая прямослойная древесина. Пропитка древесины и режим термообработки осуществлялись по технологии, разработанной проблемной научно-исследовательской лабораторией модификации древесины БТИ им. С.М.Кирова.

Прежде чем приступить к испытаниям на устойчивость, были определены плотности натуральной древесины ρ и смолы ПН-1 ρ_H ; модули упругости при сжатии вдоль волокон натуральной E_a и модифицированной E_a^* древесины и смолы ПН-1 E_H , а также определены коэффициенты объемного заполнения пустот полимером k . Методика определения модулей упругости описана в работе [1]. В результате испытаний получены следующие данные: $\rho = 0,625 \text{ г/см}^3$; $\rho_H = 1,25 \text{ г/см}^3$; $E_a = 20,5 \cdot 10^3 \text{ МПа}$; $E_a^* = 21,82 \cdot 10^3 \text{ МПа}$; $E_H = 2,6 \cdot 10^3 \text{ МПа}$.

Модифицированные ламельки распиливались на заготовки образцов размером $10 \times 17 \times 340 \text{ мм}$, из которых в дальнейшем вырезались образцы требуемой гибкости для испытаний на устойчивость.

При изготовлении стержней особое внимание уделялось постоянству размеров по длине и первоначальной прямолинейности. Во всех образцах направление годичных слоев было параллельно большему размеру сечения образца.

Для определения коэффициента объемного заполнения пустот древесины полимером выборочно из стержней вырезались их ра-

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук С.С.Макаревича.

бочие участки (середины стержней) длиной, примерно равной 20 мм. Выпиленные образцы высушивались до постоянного веса, взвешивались на аналитических весах с точностью 0,001 г, замерялись с точностью 0,001 мм. По результатам измерений определялись плотность ρ^* -образцов. Зная плотности, определяли коэффициенты объемного заполнения пустот древесины полимером $k [1]$ по формуле

$$k = \frac{\rho_0 (\rho^* - \rho)}{\rho_n (\rho_0 - \rho)}, \quad (1)$$

где ρ_0 - плотность древесного вещества ($\rho_0 = 1,54$ г/см³).

В результате были определены $k = 0,85 - 0,9$.

Влажность модифицированной древесины определялась как отношение количества поглощенной влаги к весу образца натуральной древесины в абсолютно сухом состоянии. Влажность испытываемых стержней составляла 4-6%.

Нагружения проводились на 3-тонном гидравлическом прессе. Пресс специально переоборудован для испытания стержней различных гибкостей. Скорость нагружения составляла 20 МПа/мин. Нагрузка, передаваемая на стержень, измерялась по манометру с ценой деления 100 Н.

Шарнирное крепление концов стержня осуществлялось с помощью ножевых опор. Ножевые опоры крепились к опорным плитам прессы, а концы стержня - в металлических наконечниках, снабженных гнездами.

Защемление концов стержня осуществлялось с помощью металлических наконечников, жестко скрепленных с верхней неподвижной платформой и нижней платформой, жестко скрепленной с поршнем прессы.

Конструкция металлических наконечников разработана так что на естественную жесткость стержня не сказывается влияние металлической части их. За длину стержня принимается расстояние между границами защемления концов стержня в наконечниках.

При испытании образец располагался в металлических наконечниках, грубо центрировался в них и нагружался. Точное центрирование стержня осуществлялось под нагрузкой с применением двух индикаторов часового типа, установленных на обеих сторонах стержня. В зависимости от показаний индикаторов концы стержня смещались в ту или иную сторону и стержень снова нагружался. Эта операция продолжалась до тех пор, пока пока-

зания индикаторов не совпадали или отличались на малую величину. После этого стержень подвергался испытаниям.

Так как стержни подвергались точному центрированию, то при сжатии в начале нагружения почти не отмечалось отклонения от прямолинейной формы. Отклонения становились большими, когда нагрузка приближалась к критической. Индикаторы, установленные с двух сторон, почти не показывали отклонения вплоть до потери устойчивости. Визуальные наблюдения показали, что при достижении максимального значения нагрузка резко падает. Эта нагрузка принималась за критическую.

В процессе экспериментальных испытаний определены критические силы для стержней различной гибкости и подсчитаны критические напряжения. Результаты испытаний приведены на рис. 1. По горизонтали отложены гибкости стержней, а по вертикали – критические напряжения. Гибкость определялась по формуле

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}}, \quad (2)$$

где l – длина стержня; i_{\min} – минимальный радиус инерции; μ – коэффициент приведения длины.

На рис. 1 построена кривая 1, соответствующая определению критических напряжений по формуле Эйлера

$$\sigma_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 E_a^*}{\lambda^2}. \quad (3)$$

Из рисунка видно, что на некотором участке точки хорошо соответствуют кривой Эйлера.

Для определения предельной гибкости, при которой еще справедлива формула Эйлера, нами были построены диаграммы сжатия шести образцов из модифицированной древесины. Для испытаний были приняты образцы размерами 20x20x60 мм. Испытания проводились на машине УМ-10. Деформации измерялись одновременно на двух гранях образца с помощью специального тензометра с базой Б-20 мм, сконструированного на основе ин-

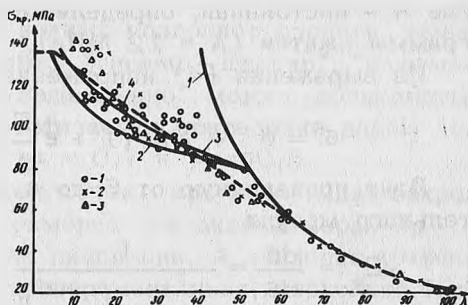


Рис. 1. Зависимость критического напряжения от гибкости модифицированной древесины: 1 – шарнир – шарнир; 2 – шарнир – защемление; 3 – защемление – защемление.

дикаторов с ценой деления $C = 0,001$ мм. Замер деформаций производился от начала нагружения до появления явных признаков разрушения. По данным измерений были определены напряжения и соответствующие им относительные деформации, а также построены диаграммы $\epsilon = f(\sigma)$. Разбив затем точки диаграммы на группы, были определены центры тяжести точек групп, а по ним построена окончательная диаграмма сжатия.

Из диаграммы сжатия определен предел пропорциональности $\sigma_{\Pi} = 80$ МПа и модуль упругости $E_a^* = 21,82 \cdot 10^3$ МПа. Следовательно, предельная гибкость, согласно выражению [3], равная $\lambda = 51,9$. При $\lambda > 51,9$ расчет на устойчивость стержней из древесины березы, модифицированной смолой ПН-1, можно производить по формуле Эйлера.

Из рис. 1 видно, что экспериментальные точки хорошо согласуются с кривой Эйлера до этой гибкости. Правда, на участке $\lambda = 50-60$ экспериментальные точки отклоняются от кривой Эйлера.

На участке $\lambda < 51,9$ построена кривая 2 за пределом упругости, соответствующая определению критических напряжений по формуле Эйлера с заменой модуля упругости E касательным модулем E_k .

Для определения касательного модуля получено уравнение диаграммы сжатия на участке, не согласующемся с законом Гука, в виде:

$$\epsilon = \frac{A}{E} \left(\frac{\sigma_{\Pi}}{A} - 1 + e^{\frac{\sigma - \sigma_{\Pi}}{A}} \right), \quad (4)$$

где A — постоянная, определяемая в результате обработки диаграммы сжатия ($A = 12$ МПа).

Из выражения (4) напряжение будет равно

$$\sigma = \sigma_{\Pi} + A \ln \left(1 + \epsilon \frac{E}{A} - \frac{\sigma_{\Pi}}{A} \right), \quad (5)$$

Взяв производную от σ по ϵ , получим выражения для касательного модуля

$$E_k = \frac{d\sigma}{d\epsilon} = \frac{E}{1 + \epsilon \frac{E}{A} - \frac{\sigma_{\Pi}}{A}}. \quad (6)$$

Задаваясь значениями напряжений $\sigma_{\Pi} < \sigma < \sigma_B$, по формуле (4) определяем ϵ , а по формуле (6) — E_k . Для полученного значения E_k по формуле (3) определяем гибкость, соответствующую принятому критическому напряжению

$$\lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E_k}{\sigma_{кр}}} \quad (7)$$

Таким образом, получаем кривую для гибкостей $\lambda_B < \lambda < \lambda_{II}$. Гибкость, при которой критическое напряжение достигает временного сопротивления σ_B , определяется по формулам (4)...(7), если принять $\sigma_{II} = \sigma_B = \sigma_{кр}$, и будет равна $\lambda = 5$. При гибкости $\lambda < 5$ расчет сжатого стержня следует производить только на прочность.

За пределом упругости также построена кривая 3, соответствующая определению критических напряжений по формуле Эйлера с заменой модуля E приведенным модулем E_{II} .

Для прямоугольного сечения приведенный модуль равен

$$E_{II} = \frac{4EE_k}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_k})^2} \quad (8)$$

Из рис. 1 видно, что при гибкости $\lambda < 60$ экспериментальные точки значительно отклоняются от кривой Эйлера. На этом участке зависимость критического напряжения от гибкости может быть аппроксимирована прямой 4:

$$\sigma_{кр} = a - b\lambda, \quad (9)$$

где a и b — коэффициенты, которые определяются из опытов. В нашем случае для коэффициента объемного заполнения пустот древесины полимером $k = 0,85 - 0,9$ обработка опытных данных дает следующие значения коэффициентов: $a = 137$ МПа; $b = 1,34$ МПа.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что при креплении концов стержня "шарнир—шарнир", "защемление—шарнир" и "защемление—защемление" можно пользоваться теоретическими значениями коэффициента приведения длины соответственно равными $\mu = 1$; $\mu = 0,7$ и $\mu = 0,5$.

Как видно из рис. 1, разброс точек при всех видах закрепления концов стержня имеет примерно одинаковый характер и укладывается в одном и том же диапазоне. А значения критических напряжений, полученные экспериментально, несколько больше значений за пределом упругости, полученных по формуле Эйлера с заменой модуля упругости касательным модулем.

Таким образом, расчет стержней из модифицированной древесины по касательно-модульному критическому напряжению дает дополнительный запас устойчивости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаревич С.С., Любецкий Д.И. Определение модуля упругости модифицированной древесины при сжатии. - В сб.: Модификация древесины синтетическими полимерами. Минск: Высшая школа, 1973, с. 128-137.

УДК 674.048

С.С.Макаревич, канд. техн. наук (БТИ им. С.М.Кирова)

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В ДРЕВЕСИНЕ В ПРОЦЕССЕ МОДИФИКАЦИИ ЕЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

При модификации древесины термохимическим методом после пропитки ее полимером производится термообработка. Температура постепенно доводится до 120°C. При этой температуре происходит отверждение полимера, введенного в древесину. В дальнейшем полимер и древесинное вещество стенок клеток работают совместно. Так как коэффициенты линейного расширения у полимеров значительно больше, чем у древесины, то при падении температуры будут возникать напряжения в полимерном слое и древесине. Так, для древесины березы коэффициенты линейного расширения равны [1]: в продольном направлении $\alpha_a = 2,5 \cdot 10^{-6}$, в радиальном - $\alpha_r = 27,2 \cdot 10^{-6}$, в тангенциальном $\alpha_t = 30 \cdot 10^{-6}$. Для смолы ПН-1 коэффициент линейного расширения равен $\alpha_n = (70-100) \cdot 10^{-6}$ [2].

Для определения температурных напряжений, возникающих в модифицированной древесине, примем модель, представляющую собой трубки из древесинного вещества, покрытые внутри полимерным слоем.

Напряжения в продольном направлении. Статическая сторона задачи запишется уравнением

$$\sigma_a F_a + \sigma_n F_n = 0, \quad (1)$$

где σ_a , σ_n - напряжения в древесине и полимере; F_a , F_n - площади поперечного сечения натуральной древесины и полимера.

Учитывая, что при модификации термохимическим методом размеры древесины меняются незначительно, можно принять

$$F_a = F; \quad F_n = k m_n F, \quad (2)$$

где F - площадь поперечного сечения модифицированной древе-