

УДК 674.028

UDC 674.028

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДРЕВЕСИНЫ

EFFECT OF CONSTANT MAGNETIC FIELD ON THE PROCESS OF INTERNAL STRESSES FORMATION OF WOOD ADHESIVE JOINTS

Попов Виктор Михайлович
д.т.н., профессор
Воронежская государственная лесотехническая академия, Воронеж, Россия

Popov Victor Mikhaylovich
Dr.Sci.Tech., professor
Voronezh State Academy of Forestry and Technologies, Voronezh Russia

В данном сообщении рассматривается проблема повышения прочности клееной древесины путем снижения внутренних напряжений клеевых соединений при воздействии на клей магнитным полем. Предложенная модель процесса формирования внутренних напряжений клеевых соединений древесины позволяет прогнозировать и направленно изменять внутренние напряжения соединения древесины на магнитообработанных клеях

In this article, the problem of strength of increase of plywood by reducing the internal stresses in the adhesive joints during affecting by magnetic field on glues is examined. The proposed model of internal stress formation in wood adhesive joints allows predicting and directionally changing internal stresses in wood joints on glues, treated my magnetic field

Ключевые слова: МАГНИТНОЕ ПОЛЕ, ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ, НАПРЯЖЕННОСТЬ ПОЛЯ, ПРОЧНОСТЬ, КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, КЛЕЙ

Keywords: MAGNETIC FIELD, INTERNAL STRESSES, FIELD INTENSITY, STRENGTH, ADHESIVE JOINTS, GLUE

Специальными исследованиями [1, 2] установлено, что внутренние напряжения в клеевых соединениях металлов и различных неметаллических материалов и, в частности, древесины являются определяющим критерием прочности соединения. Подобные напряжения возникают из-за неравномерного нагрева изделия при кондуктивном способе подвода тепла, за счет различных значений коэффициентов объемного расширения древесины и ее сушке. Возникающие напряжения действуют против адгезионных сил и в зависимости от скорости их реакции вызывают усталость и влияют на прочность и долговечность клеевых соединений конструкций из древесины. Такой характер действия внутренних напряжений объясняется тем, что они направлены против сил молекулярного сцепления в клеевых швах и их действие по существу аналогично действию длительной нагрузки.

Совершенно очевидно, что все мероприятия по повышению прочности клееной древесины направлены в первую очередь на снижение внутренних напряжений клеевых соединений. Предлагается метод снижения внутренних напряжений клеевых соединений древесины, в основу которого заложено воздействие на расплав полимерного компонента клея или непосредственно на клей постоянным магнитным полем. Для реализации этой задачи использовалась ранее изготовленная установка для обработки клея в магнитном поле [3]. Воздействию магнитным полем подвергались клеи КФЖ и ПВА при напряженности поля соответственно $18 \cdot 10^4$ А/м и $16 \cdot 10^4$ А/м при температуре 25°C в течении 25...30 мин. Приготовленные таким способом клеи использовались для сравнительного исследования процесса формирования внутренних напряжений клеевых соединений древесины.

На сегодняшний день имеется несколько способов определения внутренних напряжений клеевых соединений древесины [4, 5]. Однако предлагаемые методы позволяют получить только конечные значения сформировавшихся внутренних напряжений и не дают полной картины кинетики формирования внутренних напряжений в процессе отверждения клеевых прослоек соединений.

Для проведения исследований по определению внутренних напряжений клеевых соединений древесины разработан метод, в основу которого положен так называемый консольный способ [6], когда исследуемый образец в виде двух склеенных пластин с клеевой прослойкой между ними зажимается одним концом в рабочую ячейку, а смещение второго конца по мере отверждения прослойки замеряется оптическим измерителем длин.

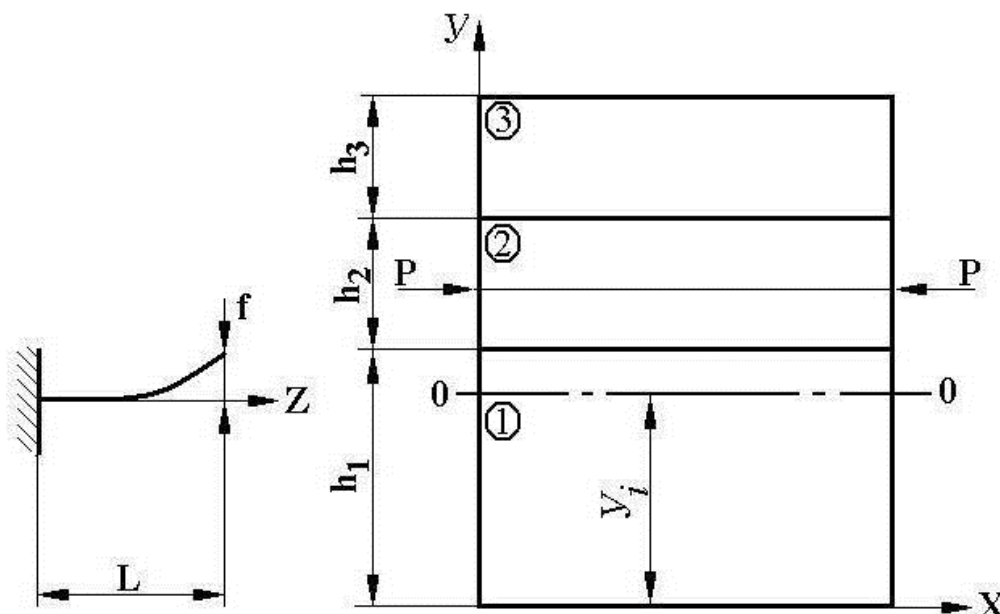


Рисунок 1. Схема формирования внутренних напряжений в клеевых прослойках: 1, 3 – склеиваемые пластины; 2 – клеевая прослойка.

На рис. 1 приведена схема действия сил в области клеевой прослойки между двумя пластинами различной толщины. В результате анализа предлагаемой модели клеевого соединения получено уравнение, позволяющее рассчитывать внутренние напряжения для конкретного клеевого соединения [7].

$$s_6 = \frac{2f_{\max} \cdot E_1 \cdot J}{S_2 \cdot (h_1 - y_i + 0,5h_2) \cdot L^2} + \frac{2f_{\max} \cdot (h_1 - y_i + 0,5h_2) \cdot E_2}{L^2}, \quad (1)$$

где f_{\max} - максимальное отклонение конца склеенной пары;

L - длина склеенной пары;

J - момент инерции по сечению пластины;

h_1 - толщина деревянной пластины большей толщины;

h_2 - толщина клеевой прослойки;

y_i - расстояние от центра тяжести склеенной пары;

E_1, E_2 - соответственно модули упругости древесины и клеевой прослойки.

Для практической реализации метода создана установка, которая состоит из рабочей ячейки, в которой консольно закрепляется склеиваемая пара, состоящая из древесных пластин длиной 10 см и шириной 1 см с соотношением толщин 1:3 и клеевой прослойкой нормированной толщины между ними. Склеиваемая пара соединена с источником постоянного тока и цифровым измерителем RLCE7-22 для преобразования аналоговых сигналов в цифровые. Технология измерения внутренних напряжений клеевой прослойки в процессе ее отверждения заключается в следующем. На предварительно подготовленную поверхность деревянной пластины наносится слой предварительно обработанного в магнитном поле и необработанного клея нормированной толщины (расход клея согласно ГОСТа составляет 180...250 г/м²). На эту пластину с клеем после открытой выдержки помещается вторая деревянная пластина.

Полученная склеенная пара консольно закрепляется в рабочей ячейке, подключенной к источнику постоянного тока. В процессе отверждения клеевой прослойки происходит деформация (изгиб) свободного конца образца, что вызывает изменение емкости плоского конденсатора. постоянное изменение емкости фиксируется цифровым прибором в течение всего времени отверждения прослойки и передается на ПК. С помощью специальной программы по формуле (1) ведется расчет внутренних напряжений в прослойке в зависимости от времени. После ввода тарировочных данных ПК обрабатывает данные опытов и выводит результаты обработки на печать. Индуцируемое значение в виде уровней напряжений в двоично-десятичном коде 8-4-2-1 и сигналы, описывающие выбранный предел измерений, транспортируются через два устройства параллельного обмена 15КС-180-032 в ЭВМ. Периодичность измерений задается программно. Считывание сигналов и их преобразование из двоично-десятичного в дво-

ичный код производится программами «EMOPR» и «EMPER». Преобразованное значение емкости применяются для вычисления внутренних напряжений в клеевой прослойке программой «EMOSN». По истечении времени опыта полученные данные аппроксимируются методом наименьших квадратов подпрограммой «Appus», после чего программа «NCRAF» строит график, на котором наносятся опытные точки и аппроксимируется кривая. Перед запуском в рабочий режим проводилась операция по тарировке рабочей ячейки.

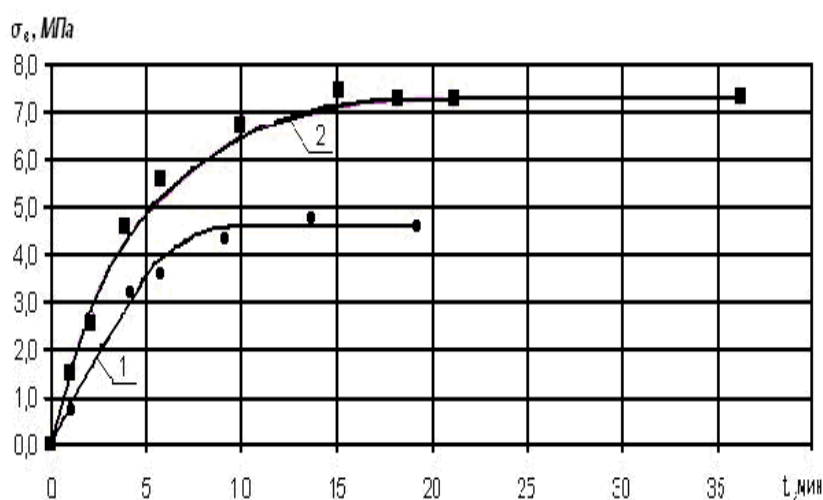


Рисунок 2. Кинетика формирования внутренних напряжений клеевых соединений древесины на основе клея КФЖ: 1 – клей, подвергнутый воздействию магнитного поля напряженностью

$$H = 18 \cdot 10^4 \text{ А/м}; 2 – \text{необработанный клей.}$$

На рис. 2 и 3 приводятся данные по кинетике формирования внутренних напряжений для магнитообработанных и необработанных клеев КФЖ и ПВА. Из приведенных графиков зависимости $s_e(t)$ видно, что внутренние напряжения клеевых соединений на основе магнитообработанных клеев по абсолютной величине значительно меньше, чем для необработанных клеев. При этом вырождение зависимости $s_e(t)$ или по-другому

стабилизация процесса формирования внутренних напряжений протекает в более ускоренном режиме для магнитообработанного клея.

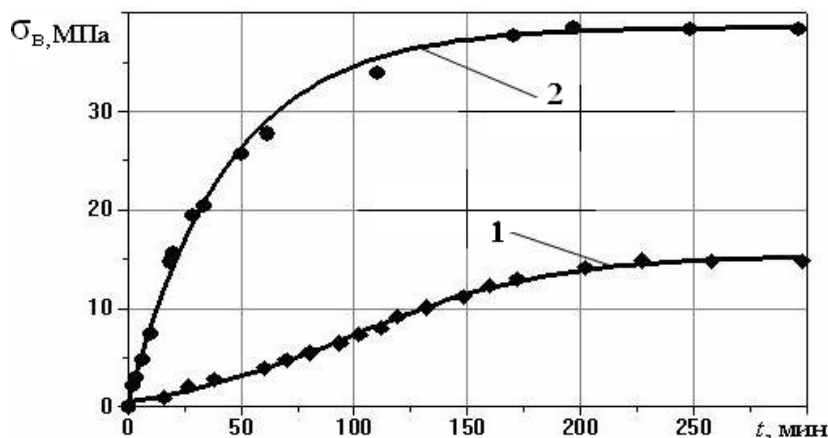


Рисунок 3. Кинетика формирования внутренних напряжений клеевых прослоек древесины на основе клея ПВА: 1 – клей, подвергнутый воздействию магнитного поля напряженностью $H = 16 \cdot 10^4$ А/м; 2 – необработанный клей.

О позитивном влиянии процесса воздействия магнитным полем на снижение внутренних напряжений клеевых соединений древесины можно также судить по результатам исследований автором микроструктуры магнитообработанных и необработанных клеев [8], проведенных с помощью электронного растрового микроскопа Jelio 6380-Lf с возможным максимальным увеличением 3 нм. Немагнитообработанные клеи имеют в отличие от магнитообработанных в структуре шероховатость или слоистость, а также крупные трещины, которые являются концентраторами внутренних напряжений. Процесс формирования внутренних напряжений в клеевых прослойках относится к классу переходных процессов. В этих процессах зависимость некоторого физического параметра X от времени t , как правило, является экспоненциальной [9]. Экспоненциальная зависимость следует из решения дифференциального уравнения, составляемого из физиче-

ских соображений, в котором скорость изменения величины X пропорциональна ее абсолютному значению, т.е. уравнение вида

$$\frac{dX(t)}{dt} = -kX(t), \quad (2)$$

Здесь k - коэффициент пропорциональности.

Решением данного уравнения является экспоненциальная функция

$$X(t) = e^{-kt} + C, \quad (3)$$

где C – некоторая константа, определяемая использованием начальных условий.

В зависимости от особенностей задачи данное решение может быть преобразовано так, чтобы лучше отображать физический смысл, для чего в выражение (3) вводятся дополнительные коэффициенты и дополнительные слагаемые. В частности, исходя из сути эксперимента, будем использовать следующую аппроксимирующую зависимость $s_{\sigma}(t)$ для случая отсутствия магнитного поля

$$s_{\sigma}(t) = s_{\sigma}(\infty) - (s_{\sigma}(0)) \cdot e^{-\frac{t-t_0}{h}}, \quad (4)$$

где $s_{\sigma}(\infty)$ - сформировавшиеся внутренние напряжения по окончании склеивания;

$s_{\sigma}(0)$ - внутренние напряжения в момент начала склеивания;

h - коэффициент быстроты возникновения внутренних напряжений;

t_0 - время начала измерений.

Коэффициент h имеет важный смысл, поскольку, находясь в знаменателе экспоненты, он показывает, за какой промежуток времени разность напряжений $s_\varepsilon(\infty) - s_\varepsilon(t)$ уменьшится в некоторое число раз (в частности, в $e \approx 2,72$ раз). Таким образом, h характеризует быстроту появления внутренних напряжений. Следует отметить, что для проведенных экспериментов принимается $t_0 = 0$, поскольку отсчет времени начинается в момент времени, соответствующий моменту склеивания.

Аппроксимизация методом наименьших квадратов для клея ПВА (рис. 3) позволяет получить следующую зависимость [10]

$$s_\varepsilon(t) = 38,61 - 38,06 \cdot e^{-\frac{t}{44,30}}. \quad (5)$$

Из рис. 3 видно хорошее соответствие графика зависимости (5) с данными эксперимента. Из рис. 2 и 3 также следует, что магнитное поле снижает темп формирования внутренних напряжений. При этом зависимость напряжений от времени $s_\varepsilon(t)$ является более сложной, чем используемая в предыдущем случае экспоненциальная зависимость.

По S-образному виду графика и, исходя из смысла протекающих физико-химических процессов, можно заключить, что целесообразно использовать в качестве аппроксимирующего выражения функцию Больцмана.

$$s_\varepsilon(t) = s_0(0) + \frac{s_\varepsilon(\infty) - s_\varepsilon(0)}{1 + e^{-\frac{t-t_c}{h}}}, \quad (6)$$

где $s_\varepsilon(0)$ - внутренние напряжения в момент начала склеивания;

$s_\varepsilon(\infty)$ - сформировавшиеся внутренние напряжения по окончании склеивания;

t_c - момент смены характера изменения функции (точка перегиба сигмоидальной функции Больцмана).

Поиск коэффициентов формулы (6) для аппроксимизации экспериментальных данных произведен на основе метода наименьших квадратов с использованием итерационного алгоритма, в результате чего получена зависимость

$$s_{\epsilon}(t) = -1,20 + \frac{15,42 + 1,20}{1 + e^{\frac{t-97,33}{45,03}}}, \quad (7)$$

Анализируя выражение (7), можно заключить, что магнитное поле эффективно подавляет процесс появления внутренних напряжений на начальном этапе склеивания ($t_c = 97,33$ мин). Воздействие магнитным полем приводит к тому, что рост напряжений протекает не по резкому экспоненциальному закону, что привело бы к достижению напряжений до 40 МПа, а по слабовозрастающему, почти линейному участку сигмоидальной функции, сменяющейся в момент времени 100 мин и выходящей на повышение экспоненциальной зависимостью. При этом максимальные напряжения не превышают 15 МПа.

Тот факт, что показатели t и h для обоих случаев практически одинаковы ($t = 44,30$ мин, $h = 45,03$ мин), свидетельствует о том, что магнитное поле не уменьшает скорость появления внутренних напряжений, а изменяет сам механизм появления внутренних напряжений. Можно предположить, что магнитное поле упорядочивает полимерную структуру клеевого шва, в результате чего объем клея мало изменяется [11, 12]. В тоже время известно, что при отсутствии магнитного поля из-за неупорядоченного застывания полимерных звеньев объем клея должен возрастать.

Предлагаемая в данном сообщении модель процесса склеивания древесины магнитообработанным клеем открывает возможность создавать

клеевые соединения с пониженными внутренними напряжениями и таким образом повышать прочность изделий из клееной древесины.

Список использованной литературы

1. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений. М.: Химия, 1981. 278 с.
2. Хрулев В.М. Прочность и долговечность клеевых соединений в строительных конструкциях и деталях. М.: Госстройиздат, 1961. 251 с.
3. Попов В.М., Платонов А.Д., Иванов А.В., Шендриков М.А. Способ получения клееной древесины повышенной прочности // Вестник МГУЛ «Лесной вестник». 2007. № 6. С. 123–125.
4. Шрейнер С.А., Зубов П.И. Определение внутренних напряжений при склеивании твердых поверхностей // Докл. АН СССР. 1959. Т.124. № 5. С. 211–214.
5. Гриб А.Е. Особенности определения остаточных напряжений полимеров на древесине // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1976. №5. С. 18–22.
6. Иволгин В.Я. Определение напряжений в клеевом слое, возникающих вследствие усадочных явлений при склеивании металлов // Механика полимеров. 1970. № 1. С. 53–57.
7. Попов В.М., Песков Н.Е., Лушникова Е.Н. Метод контроля качества композиционных материалов класса «препег» // Дефектоскопия. 1994. № 1. С. 50–51.
8. Попов В.М., Иванов А.В., Шендриков М.А. Влияние магнитного поля на прочность клееной древесины // Вестник МГУЛ «Лесной вестник». 2008. № 6. С. 80–81.
9. Троицкий В.А. Инженерные расчеты на ЭВМ. Л.: Машиностроение, 1979. 288 с.
10. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука, 1971. 192 с.
11. Займан Дж. Модели беспорядка. Теоретическая физика однородно неупорядоченных систем. М.: Мир, 1982. 592 с.
12. Лихачев В.А., Шудегов В.Е. Принципы организации аморфных структур. Спб.: Изд-во С. Петербургского университета, 1999. 228 с.