

УДК 674.028

UDC 674.028

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ КЛЕЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДРЕВЕСИНЫ**EFFECT OF PROCESSING TIME OF GLUE IN A MAGNETIC FIELD AND TEMPERATURE ON HARDNESS OF WOOD 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 статье приводятся результаты экспериментальных исследований по влиянию времени воздействия магнитным полем и температуры на свойства клея, используемого для склеивания древесины

The article presents the results of experimental studies on the effect of exposure time by a magnetic field and temperature on the properties of adhesive used for wood gluing

Ключевые слова: МАГНИТНОЕ ПОЛЕ, КЛЕЕВОЕ СОЕДИНЕНИЕ, КЛЕЙ, НАПРЯЖЕННОСТЬ ПОЛЯ, ВРЕМЯ ОБРАБОТКИ, ТЕМПЕРАТУРА

Keywords: MAGNETIC FIELD, GLUE JOINT, FIELD INTENSITY, PROCESSING TIME, TEMPERATURE

На современных деревоперерабатывающих предприятиях широко применяется технологический прием соединения отдельных деталей путем их склеивания [1]. Во многих случаях и особенно при склеивании конструкций из массивной древесины остро стоит вопрос повышения прочности клеевых соединений. Совершенствование технологии склеивания и разработка новых марок клеев уже не в состоянии удовлетворить растущим требованиям к прочности клеевых соединений древесины [2, 3]. Наступил период, когда требуется разработка новых интенсивных технологий склеивания, когда направленно изменяется структура полимерной основы клея в сторону упорядочения макромолекулярных образований. В работе [4] на примере композиции из смолы ЭД-5 и отвердителя ПЭПА рассматривается влияние магнитного поля на микротвердость и прочность блочного полимера. Отмечается рост этих механических характеристик для обработанной в магнитном поле композиции по сравнению с необработанной. На основе проведенного рентгеноструктурного анализа магнитообработанных полимеров делается вывод о протекании процесса ориентации макромолекул под действием магнитного поля, приводящего к обра-

зованию упорядоченных структур, имеющих дальний порядок. Основываясь на выводах работы [4], проведен цикл экспериментальных исследований по влиянию магнитного поля на прочность клеевых соединений [5–7]. Экспериментально установлено повышение прочности клеевых соединений из различных пород древесины с увеличением напряженности поля. Вместе с тем остается открытым вопрос о влиянии времени воздействия магнитным полем на клей и температуры на прочность клеевых соединений древесины.

Для получения информации о влиянии времени выдержки клея в магнитном поле и температуры на прочность клеевых соединений древесины сконструирована установка для намагничивания, принципиальная схема которой представлена на рис. 1.

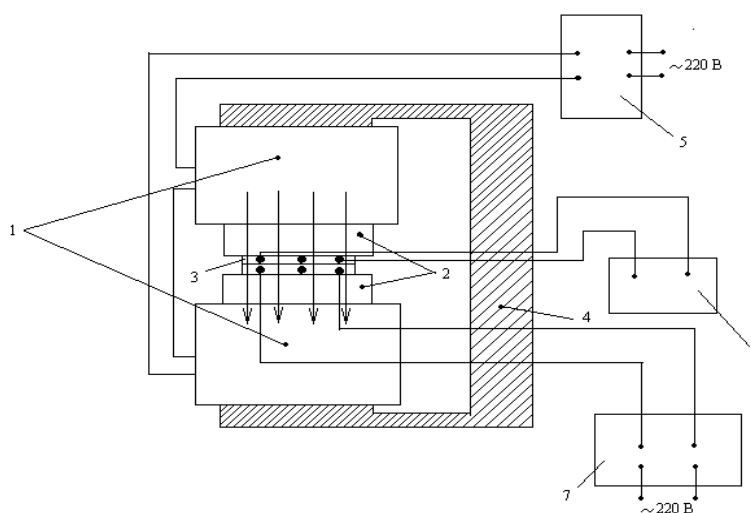


Рисунок 1. Схема установки для обработки в магнитном поле клея: 1 – обмотка электромагнита; 2 – башмаки электромагнита; 3 – рабочая ячейка с нагревательным устройством; 4 – ярмо; 5 – блок питания; 6 – потенциометр; 7 – источник питания нагревательного устройства.

Основным элементом установки является электромагнитный индуктор. Магнитное ярмо смонтировано из двух подвижных башмаков. Намагничивающие катушки соединены между собой последовательно. Электро-

магнит подключен к специальному блоку питания, от которого на обмотку катушек подается ток силой до 12 А.

Напряженность магнитного поля регулируется величиной подаваемого тока и расстоянием между полюсами электромагнита. Установка позволяет создавать магнитное поле напряженностью до $30 \cdot 10^4$ А/м. Для создания требуемого по технологии теплового режима в зоне рабочей ячейки в виде фторопластовой кюветы с обрабатываемым клеем помещается специальный нагревательный элемент с универсальным источником питания. Информация о тепловом режиме в рабочей ячейке поступает от двух хромель-копелевых термопар через потенциометр. Специальное устройство в комплекте с потенциометром позволяет осуществлять одновременно фиксацию температуры в зоне расположения кюветы с клеем и автоматическую регулировку температурного режима.

Перед запуском в рабочий режим установка прошла тарировочную операцию, что позволяет регулировать напряженность магнитного поля в зависимости от межполюсного расстояния электромагнита (рис. 2). Электромагнит проходил также апробацию на однородность магнитного поля в межполюсном пространстве в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Имеющие место отклонения лежат в пределах допустимого, не превышая 0,01...0,02 %.

Операция по обработке клеев в магнитном поле проводилась следующим образом. В кювету вводился полимерный компонент одного из двух двухкомпонентных клеев марок КФЖ, Supraterm 436 или однокомпонентный клей ПВА. Затем кювета помещалась в рабочую ячейку с нагревателем, которая располагалась между полюсами электромагнита. По напряженности магнитного поля обработка проводилась при $H = 6 \cdot 10^4$ А/м, $H = 12 \cdot 10^4$ А/м и $H = 24 \cdot 10^4$ А/м.

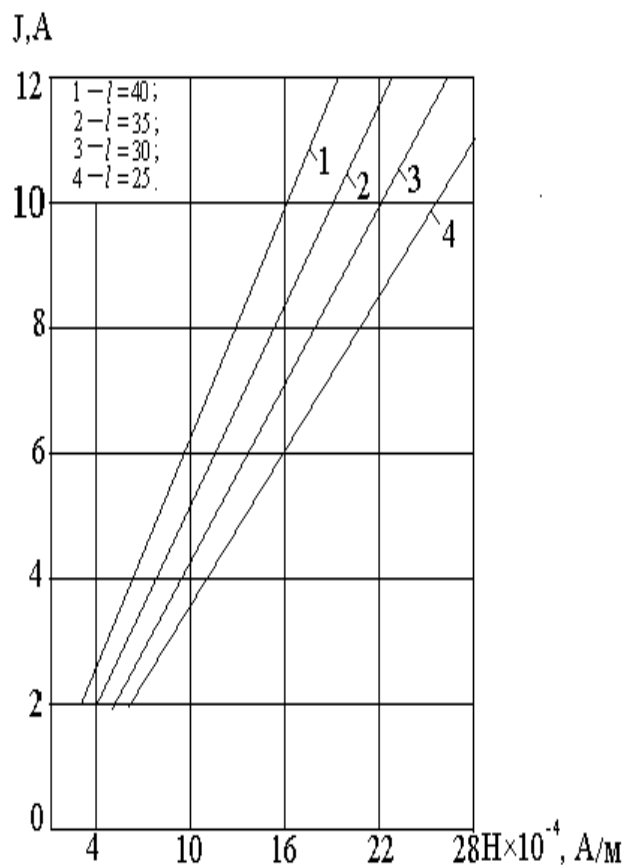


Рисунок 2. График зависимости напряженности магнитного поля от силы тока при различном расстоянии между полюсами электромагнита l (мм).

При каждой фиксированной напряженности поля время воздействия магнитным полем составляло 4, 8, 12, 16 и 20 минут. Температура клея при обработке поддерживалась на уровне $30^{\circ}C$. Обработанный клей затем наносился на поверхности образцов из дуба для испытания предела прочности клеевых соединений на скалывание вдоль волокон согласно ГОСТу 15613.1–84 [8].

Отверждение клеевой прослойки проводилось в термошкафу при температуре $60^{\circ}C$ в течение двух часов. Приготовленные таким способом образцы в течении суток и затем испытывались на разрывной машине ИР–50–3.

Результаты испытаний в виде кривых зависимостей $t(t)$ частично приведены на графиках рис. 3 и 4.

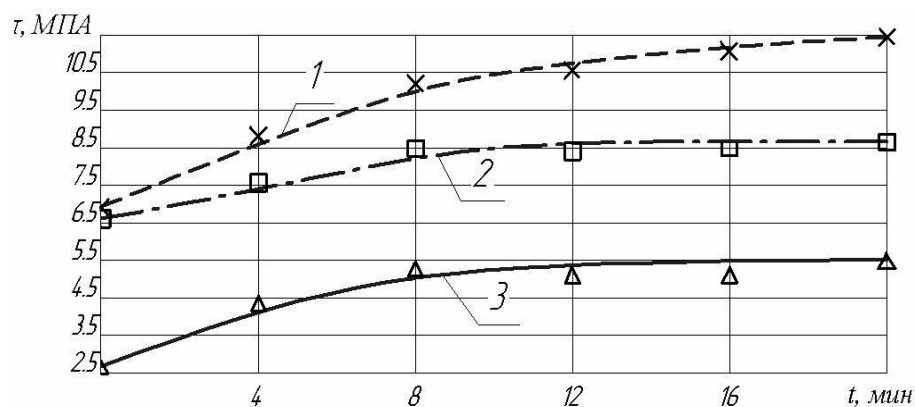


Рисунок 3. Зависимость предела прочности при скалывании клеевых соединений от времени воздействия постоянным магнитным полем напряженностью $H = 24 \cdot 10^4$ А/м для различных клеев: 1 – клей КФЖ; 2 – ПВА; 3 – Supraterm-436.

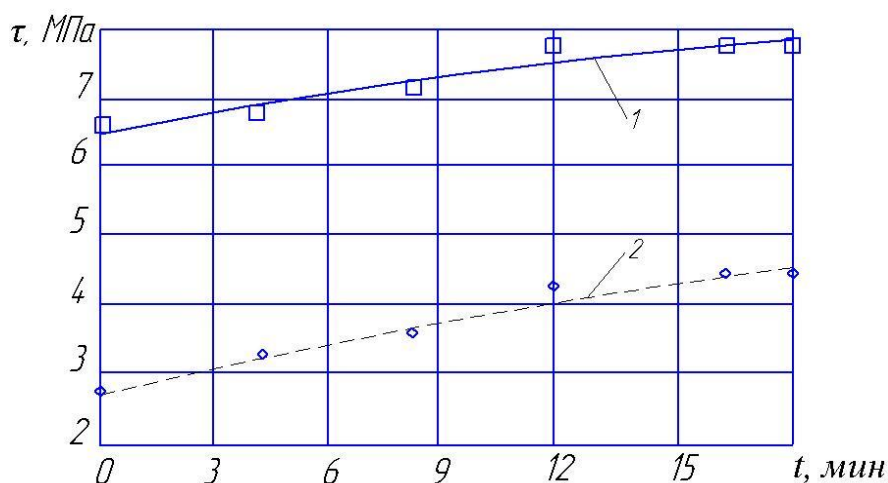


Рисунок 4. Зависимость предела прочности при скалывании клеевого соединения для клеев ПВА (1) и Supraterm-436 (2) от времени выдержки в магнитном поле напряженностью $H = 12 \cdot 10^4$ А/м.

Как видно из рис. 3, для магнитного поля достаточно высокой напряженности $H = 24 \cdot 10^4$ А/м прочность клеевого соединения для всех трех разновидностей клеев начинает стабилизироваться с 16 минут после начала обработки клея в магнитном поле. Снижение напряженности поля увеличивает время наступления стабилизации прочности (рис. 4). Объяс-

нить отмеченный эффект ускорения процесса формирования более прочных структур клеевой прослойки для магнитного поля более высокой напряженности можно ростом энергии активизации процесса отверждения.

В процессе постановки экспериментов отмечен эффект ускорения процесса желатинизации клея в условиях клеевой прослойки при магнитной обработке по сравнению с необработанным клеем. Для изучения этого вопроса были проведены исследования зависимости времени желатинизации от напряженности постоянного магнитного поля. В качестве отвердителя применялся 10% раствор хлорида аммония в соотношении 10% от массовой доли. Приготовленный клей помещался в кипящую воду и подвергался интенсивному перемешиванию. С помощью секундомера устанавливалось время желатинизации. Полученные данные опытов представлены в таблице.

Таблица. Зависимость времени желатинизации клея КФЖ от напряженности магнитного поля

Напряженность магнитного поля $H \cdot 10^4$, А/м	Время желатинизации t , с
0	70,3
4	69,8
8	67,5
12	65,3
16	63,3
20	60,4
24	60,5

Из таблицы видно, что повышение напряженности магнитного поля ускоряет процесс желатинизации. Максимальная скорость желатинизации клея имеет место при напряженности поля $H = 20 \cdot 10^4$ А/м. При такой

напряженности поля процесс желатинизации ускоряется почти на 10 с по сравнению с временем желатинизации необработанного клея.

Отмеченный эффект ускорения процесса желатинизации магнитообработанного клея открывает перспективы в технологии склеивания древесины, повышая производительность труда на стадии изготовления изделий из клееной древесины.

Аппроксимируя экспериментальные зависимости прочности клеевого соединения от времени выдержки в магнитном поле $t(t)$ приведенные на рис. 3 и 4, получаем следующие выражения.

Для клея ПВА при напряженности поля $H = 6 \cdot 10^4$ А/м

$$t(t) = 7,32 + \frac{6,40 - 7,32}{1 + e^{\frac{t-6,11}{2,97}}}; \quad (1)$$

при напряженности поля $H = 12 \cdot 10^4$ А/м

$$t(t) = 7,96 + \frac{6,40 - 7,96}{1 + e^{\frac{t-7,07}{3,00}}}; \quad (2)$$

при напряженности поля $H = 24 \cdot 10^4$ А/м

$$t(t) = 8,84 + \frac{6,40 - 8,84}{1 + e^{\frac{t-6,76}{2,25}}}; \quad (3)$$

Для клея Supraterm-436 при напряженности поля $H = 6 \cdot 10^4$ А/м

$$t(t) = 3,21 + \frac{2,61 - 3,21}{1 + e^{\frac{t-4,21}{2,37}}}; \quad (4)$$

при напряженности поля $H = 12 \cdot 10^4$ А/м

$$t(t) = 4,57 + \frac{2,62 - 4,57}{1 + e^{\frac{t-7,20}{2,77}}}; \quad (5)$$

при напряженности поля $H = 24 \cdot 10^4$ А/м

$$t(t) = 5,03 + \frac{-7,49 - 5,03}{1 + e^{\frac{t+5,91}{3,98}}}; \quad (6)$$

Анализируя значения констант в аппроксимирующих выражениях, можно прийти к выводу, что с увеличением напряженности поля увеличи-

вается амплитуда сигмоидальной функции, т.е. повышается прочность клеевого соединения. С увеличением времени выдержки прочность соединения выходит на постоянное значение, поэтому для достижения большей производительности без ущерба качеству изделий из клееной древесины достаточно выдерживать клей в магнитном поле в пределах 16 минут.

Температура, при которой производится операция по скалыванию, с одной стороны, определяет скорость протекания химических процессов при склеивании и процесса изменения свойств клея при обработке его в магнитном поле. Поэтому повышение температуры может благоприятно влиять на прочность клеевого соединения. С другой стороны, при горячем склеивании и последующем охлаждении прослойки клеевого соединения изменение температуры вызывает появление внутренних напряжений, которые существенно снижают прочность соединения [9, 10]. Для того, чтобы выяснить, будет ли преобладать положительный или отрицательный температурный эффект, проведена серия экспериментов по изменению температуры. Температуру варьировали на уровнях $T = 15, 20, 25, 30^{\circ}\text{C}$, соответствующих холодному склеиванию и на уровнях $T = 50, 60, 80^{\circ}\text{C}$, соответствующих горячему склеиванию. На графиках рис. 5 представлены температурные зависимости $t(t)$ для случаев обработки в сильном магнитном поле при $H = 24 \cdot 10^4$ А/м и без обработки в магнитном поле.

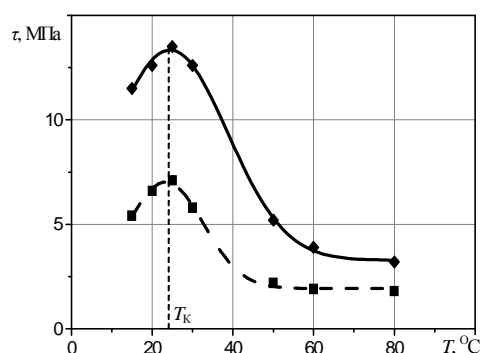


Рисунок 5. Зависимость предела прочности на скалывание τ соединения клеем КФЖ от температуры T : сплошная кривая – при $H = 20 \cdot 10^4$ А/м, $t = 20$ мин, $p = 0,5$ МПа; штриховая кривая – $H = 0$ А/м, $p = 0,5$ МПа

На графиках рис. 5 максимум зависимости $t(t)$ наблюдается при комнатной температуре $T_k \approx 23^\circ\text{C}$. Увеличение или уменьшение температуры обрабатываемого и необрабатываемого клея ведет к снижению прочности. Этот эффект можно предположительно объяснить формированием внутренних напряжений, снижающих прочность. И чем больше отличается температура от комнатной, тем сильнее выражен отрицательный эффект. Однако, при температурах выше $50\dots 60^\circ\text{C}$ предел прочности при скалывании почти перестает снижаться и выходит на некоторое постоянное значение, что может быть связано с тем, что внутренние напряжения могут возрасти лишь до некоторого определенного уровня.

Положение точек на графике и физико-химическая причина такой зависимости позволяют для аналитического описания зависимости использовать гауссовскую функцию вида

$$t(T) = t_0 + \frac{A}{W\sqrt{p/2}} \cdot e^{-\frac{(T-T_k)^2}{W^2}}, \quad (7)$$

где t_0 – минимальное значение предела прочности клеевого соединения на скалывание;

A – «площадь» гауссовского пика на графике;

W – полуширина на полувисоте (характеризует быстроту спада зависимости);

T_k – комнатная температура (центр пика).

Аппроксимация экспериментальных данных гауссовскими зависимостями приводит к следующим результатам. При выдержке клея в магнитном поле напряженностью $H = 24 \cdot 10^4$ А/м имеем

$$t(T) = 3,284 + \frac{259,7}{28,54\sqrt{p/2}} \cdot e^{-\frac{(T-24,42)^2}{28,54^2}} \quad (8)$$

При склеивании на необработанном клее зависимость $t(T)$ подчиняется закону

$$t(T) = 1,930 + \frac{120,0}{18,79\sqrt{p/2}} \cdot e^{-2\frac{(T-23,34)^2}{18,79^2}} \quad (9)$$

Сравнивая параметры гауссовской зависимости, можно заметить существенную разницу в полуширинах пика W (28,54 и 18,79). Это свидетельствует о том, что обработка клея магнитным полем делает технологический процесс значительно менее зависимым от температуры, чем в случае отсутствия магнитного поля.

В заключении следует отметить, что результаты представленных в данном сообщении исследований позволяют технологическим службам деревообрабатывающих предприятий прогнозировать и направленно регулировать процессами склеивания для создания изделий из клееной древесины повышенной прочности.

Список использованной литературы

1. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. М.: Лесная промышленность, 1987. 248 с.
2. Хрулев В.М. Прочность клеевых соединений. М.: Стройиздат, 1973. 84 с.
3. Фрейдин А.С., Вуба К.Т. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины. М.: Лесная промышленность, 1980. 224 с.
4. Молчанов Ю.М., Кисис Э.Р., Родин Ю.П. Структурные изменения полимерных материалов в магнитном поле // Механика полимеров. 1973. № 4. С. 737–738.
5. Попов В.М., Иванов А.В. Интенсивная технология получения клееной древесины повышенной прочности // Вестник МГУЛ. «Лесной вестник». 2007. № 4. С. 89–91.
6. Попов В.М., Платонов А.Д., Иванов А.В. Способ получения клееной древесины повышенной прочности // Вестник МГУЛ. «Лесной вестник». 2007. № 6. С. 123–125.
7. 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.
8. ГОСТ 15613.1–84. Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности при скалывании.
9. Кардашов Д.А. Синтетические клеи. М.: Химия, 1976. 504 с.
10. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений. М.: Химия, 1981. 272 с.