

Научная статья
УДК665.939.57

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СКЛЕИВАНИЯ МАССИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ КЛЕЕВЫМ СОСТАВОМ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ ПРИ ПОМОЩИ ИНФРАКРАСНОГО НАГРЕВА

**Кирилл Васильевич Носоновских¹, Екатерина Юрьевна Лыхина²,
Максим Владимирович Газеев³, Алексей Владиславович Свиридов⁴**

^{1, 2, 3, 4} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

¹ kirya.nosonovskikh@mail.ru

² katya_kot7012002@mail.ru

³ gazeevmv@usfeu.ru

⁴ sviridovav@m.usfeu.ru

Аннотация. В статье рассмотрена зависимость прочности склеивания древесины клеевой композицией на основе эпоксидной смолы от продолжительности активации клеевого слоя инфракрасным нагревом перед склеиванием. Приведена методика проведения испытаний. Сделана статистическая обработка данных, в том числе корреляционный, дисперсионный и линейный регрессионный анализы. Также построено уравнение зависимости влияния инфракрасного нагрева на прочность склеивания.

Ключевые слова: эпоксидные смолы, клей, склеивание древесины, прочность клеевого соединения, инфракрасный нагрев

Для цитирования: Интенсификация склеивания массивной древесины клеевым составом на основе эпоксидной смолы при помощи инфракрасного нагрева / К. В. Носоновских, Е. Ю. Лыхина, М. В. Газеев, А. В. Свиридов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. 2023. С. 43–49.

Scientific article

INTENSIFICATION OF GLUING OF SOLID WOOD WITH EPOXY RESIN-BASED ADHESIVE COMPOSITION USING INFRARED HEATING

Kirill V. Nosonovskikh¹, Ekaterina Yu. Lykhina², Maxim V. Gazeev³, Alexey V. Sviridov⁴

^{1, 2, 3} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ kirya.nosonovskikh@mail.ru

² katya_kot7012002@ @mail.ru

³ gazeevmv@usfeu.ru

⁴ sviridovav@m.usfeu.ru

Abstract. The article considers the dependence of the strength of gluing wood with an epoxy-based adhesive composition on the duration of activation of the adhesive layer by infrared heating before gluing. The method of conducting tests is given. Statistical data processing, including correlation, variance and linear regression analyses, has been performed. An equation of the dependence of the effect of infrared heating on the bonding strength is also constructed.

Keywords: epoxy resins, glue, wood gluing, adhesive joint strength, infrared heating

For citation: Intensification of gluing solid wood with an adhesive composition based on epoxy resin using infrared heating / K. V. Nosonovskikh, E. Yu. Lykhina, M. V. Gazeev, A.V. Sviridov // Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century. 2023. P. 43–49.

Древесина представляет собой простой в обработке материал, относительно недорогой, а также обладающий высокими показателями физико-механических и декоративных свойств. Благодаря склеиванию появляется возможность производства деталей больших сечений и сложных форм [1]. Однако технология производства клееной древесины предполагает большое количество технологических операций, а операция склеивания является так называемым узким местом в любом технологическом процессе и ограничивает производительность производства [2].

В связи с этим как никогда актуальны исследования по совершенствованию технологии склеивания и разработки новых быстроотверждаемых клеев для древесины.

В Уральском государственном лесотехническом университете (УГЛТУ) ведется разработка быстроотверждаемой клеевой композиции на основе эпоксидной смолы, а также рассматривается возможность применения энергоэффективных способов интенсификации склеивания [3].

Одним из таких способов интенсификации является активация клеевого слоя перед склеиванием при помощи инфракрасного (ИК) нагрева. Цель работы – изучить влияние продолжительности ИК-активации клеевого слоя на адгезионную прочность клеевого соединения древесины.

Образцы для определения предела прочности клеевого соединения выпиливали из заготовок древесины березы сечением 30×30 мм и максимальной длиной 500 мм. Влажность образцов (7–8 %) фиксировалась электровлагомером Testo-606-2 так же, как и температура и влажность воздуха в помещении: 18–19 °С и 60–70 % соответственно.

При проведении эксперимента использовали клеевую композицию эпоксидной смолы на основе бисфенола А с добавлением отвердителя аминного типа.

С помощью электронных весов АСОМЖВ-1С осуществлялся контроль массовых частей клеевой композиции и определялся ее расход при нанесении на поверхность древесины. Расход составил 120–130 г/м².

Нагрев клевого слоя осуществлялся ИК-нагревателем с трубчатыми теннами. Температура нагрева поверхности клевого слоя измерялась пирометром MIKRON M120CF.

Испытание предела прочности клевого соединения выполняли согласно ГОСТ 33120–2014 на испытательной машине VEB Werkstoffprufmaschinen Leipzig [4].

Технологический процесс склеивания ламелей массивной древесины состоит из следующих операций.

1. Очистка поверхности (удаление пыли и т. п.) – осуществляли сухой щеткой.
2. Нанесение клея на склеиваемые поверхности – осуществляли вручную кистью.
3. Открытая выдержка под инфракрасным нагревателем в течение заданного времени (1, 2 или 3 мин) при 80–85 °С.
4. Склеивание заготовок при помощи винтового прессы, давление – 0,4–0,6 МПа (схема прессования заготовок приведена на рис. 1).
5. Технологическая выдержка.

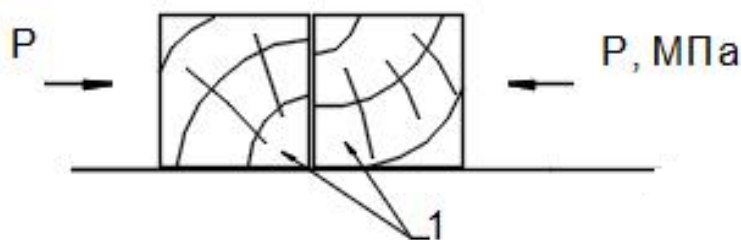


Рис. 1. Схема склеивания ламелей: 1 – березовые ламели

Из полученных ламелей были выпилены образцы, форма и размеры которых регламентируются ГОСТ 33120–2014 [4].

При проведении испытаний на скалывание вдоль волокон образец устанавливали в специальное приспособление, которое показано на рис. 2.

Образец нагружается непрерывно до его разрушения и фиксации разрушающей нагрузки. Затем рассчитывается предел прочности по формуле

$$\sigma = P/F.$$



Рис. 2. Образец, закрепленный в специальном приспособлении под нагрузкой испытательной машины

В ходе эксперимента было сформировано четыре группы образцов. Первая, контрольная группа (К.О.), была склеена без активации клеевого слоя. Вторая (М1), третья (М2) и четвертая (М3) группы образцов выдерживались в инфракрасном нагревателе в течение 1, 2 и 3 мин соответственно для интенсификации склеивания путем предварительной активации клеевого слоя.

Значения, полученные в результате эксперимента, были проверены при помощи статистической обработки (табл. 1).

Таблица 1

Результаты статистической обработки

Значение	Среднее арифметическое \bar{X}	Среднее квадратическое отклонение S	Средняя ошибка S_r	Коэффициент вариации V	Относительная точность P_γ
К.О	9,74	1,02	0,46	10,48	12,04
М1	7,91	2,71	1,02	34,29	31,72
М2	11,33	1,79	0,59	15,83	12,17
М3	11,17	1,94	0,65	17,34	13,33

Также были проведены корреляционный, дисперсионный и линейный регрессионный анализы полученных результатов [5].

Коэффициент парной линейной корреляции составил $r(yx) = 0,63$. Была проведена проверка нуль-гипотезы при помощи распределения Стьюдента.

$$t = 4,27 > t_T = 2,04.$$

Так как $t > t_T$, то $r(yx)$ не равно нулю, а составляет 0,63 с вероятностью 0,95.

По результатам корреляционного анализа можно сделать следующие выводы.

1. $r(yx)$ отлично от нуля, следовательно, существует связь между величинами y (прочность клеевого шва) и x (продолжительность активации клеевого слоя).

2. $r(yx)$ не равно 1, следовательно, зависимость корреляционная.

3. $r(yx) > 0$, следовательно, знак положительный.

4. $r(yx)$ достаточно удалено от 1, следовательно, зависимость средняя [7, 8].

Результаты дисперсионного анализа занесены в табл. 2.

Таблица 2

Анализ дисперсии

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-значение	F критическое
Между группами	57,75	3	19,25	4,81	0,01	2,97
Внутри групп	104,09	26	4,003	–	–	–
Итого	161,84	29	–	–	–	–

Из данных табл. 2 следует, что продолжительность активации клеевого слоя путем инфракрасного нагрева влияет на прочность клеевого соединения с вероятностью 0,99 ($P = 1 - (P\text{-значение})$).

Результаты линейного регрессионного анализа представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Вероятность описания экспериментальных данных линейным уравнением регрессии

Показатели дисперсионного анализа	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1	25,82	25,82	5,31	0,03
Остаток	28	136,02	4,86	–	–
Итого	29	161,84	–	–	–

Из данных табл. 3 следует, что вероятность описания экспериментальных данных уравнением регрессии составляет 0,97 ($1 - \text{значимость } F$).

Таблица 4

Оценка коэффициентов линейного уравнения регрессии

Статистические параметры	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение	Нижние 95 %	Верхние 95 %
У-пересечение	8,71	0,77	11,31	$6,0 \cdot 10^{-12}$	7,13	10,28
Переменная X1	0,87	0,38	2,31	$2,9 \cdot 10^{-2}$	0,09	1,65

После анализа данных табл. 4 составляется уравнение влияния продолжительности активации клевого слоя при помощи инфракрасного нагрева на прочность клевого соединения на скалывание вдоль волокон древесины. Уравнение $Y = 8,71 + 0,87x$ описывает данную зависимость с вероятностью 0,97.

Для наглядности составлен график зависимости на основе средних значений предела прочности на скалывание (рис. 3).

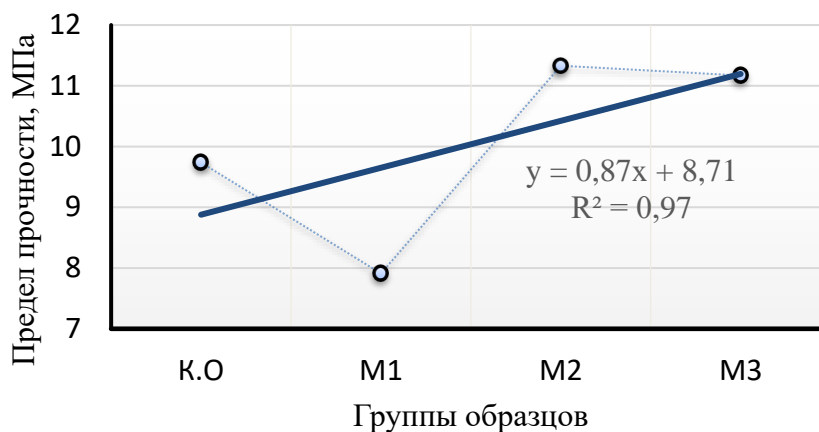


Рис. 3. График зависимости предела прочности клевого соединения от процентного соотношения отвердителя

Из нелинейных уравнений наиболее точно зависимость предела прочности клевого соединения от продолжительности активации клевого слоя инфракрасным нагревом описывает полиномиальная функция $Y = 0,42x^2 - 1,31x + 10,18$ с вероятностью 0,48. Тем не менее рассчитанная ранее линейная функция $Y = 8,71 + 0,87x$ имеет гораздо большую вероятность совпадения – 0,97. Поэтому за уравнение исследуемой зависимости принимаем ее.

Эксперимент показал ощутимое влияние продолжительности активации клевого слоя инфракрасным нагревом на прочность клевого соединения. С увеличением времени выдержки под инфракрасным нагревателем эффект от активации меняется от отрицательного до положительного и обратно. Так, непродолжительное время выдержки в течение одной минуты только снижает прочность клевого соединения, так же как и слишком

долгий нагрев образцов (3 мин и более). Для достижения наибольшей прочности клеевого соединения рекомендуется продолжительность активации инфракрасным нагревом в течение 2 мин. Это позволит улучшить данный показатель примерно на 15 %. Необходимы проведение дальнейших исследований и изучение влияния данного вида активации на другие показатели клеевого соединения, например на время отверждения.

Список источников

1. Волынский В. Н. Технология клееных материалов : учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. Архангельск : Изд-во Архангельского государственного технического университета, 2003. 280 с.
2. Левинский Ю. Б., Левинская Г. Н., Поротникова С. А. Технология строительных материалов и конструкций на основе древесины : учебное пособие. Екатеринбург : Уральский государственный лесотехнический университет, 2011. 132 с.
3. Носоновских К. В., Газеев М. В. Исследование прочности склеивания массивной древесины клеевой композицией на основе эпоксидной смолы // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XVIII Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. 2022. №1. С. 659–653.
4. ГОСТ 33120–2014. Конструкции деревянные клееные. Методы определения прочности клеевых соединений. М. : Стандартиформ, 2019. 20 с.
5. Глухих В. В. Прикладные научные исследования. Екатеринбург : УГЛТУ, 2016. 240 с.

References

1. Volynsky V. N. Technology of glued materials: a textbook for universities. (2nd ed., corrected and enlarged). Arkhangel'sk: Publishing House of the Arkhangel'sk State Technical University, 2003. 280 p.
2. Levinsky Yu. B., Levinskaya G. N., Porotnikova S. A. Technology of building materials and structures based on wood: textbook. Yekaterinburg : Ural State Forest Engineering University, 2011. 132 p.
3. Nosonovskikh K.V., Gazeev M.V. Study of the strength of gluing solid wood with an adhesive composition based on epoxy resin // Scientific work of youth - the forest complex of Russia: materials of the XVIII All-Russian (national) scientific and technical conference. 2022. №1. P. 659–653. (in Russ.)
4. GOST 33120-2014. Constructions wooden glued. Methods for determining the strength of adhesive joints. Moscow : Standartinform, 2019. 20 p.
5. Glukhikh V.V. Applied scientific research. Yekaterinburg : USFEU, 2016. 240 p.