

Обоснование выбора модифицирующих веществ для склеивания шпона повышенной влажности

Н.П. Плотников^а, С.Н. Трошкин^б

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^аn-plotnikov@mail.ru, ^бtroshkin-sergei@list.ru

Статья поступила 9.01.2017, принята 22.01.2017

В настоящее время для склеивания фанеры находят широкое применение фенолоформальдегидные связующие, позволяющие изготавливать клееные материалы с высокими физико-механическими показателями. Использование шпона повышенной влажности позволит улучшить сортность, уменьшить степень его инактивации и обеспечить лучшее заполнение пор и микродефектов поверхности клеем. Введение модификаторов в состав фенолоформальдегидных смол обеспечивает не только снижение содержания токсичных веществ и повышение производительности прессового оборудования за счет ускорения отверждения клея, но и уменьшение расхода дорогостоящего связующего. Поскольку прочность клеевого соединения зависит как от когезионной, так и от адгезионной прочности, необходимо определить степень отверждения фенолоформальдегидной смолы и сделать подбор оптимальных модифицирующих добавок к смоле для склеивания шпона повышенной влажности. В данной статье разработана математическая модель, которая дает возможность описать изменение температуры и влаги внутри пакета шпона во время горячего прессования. Проведен подбор модификаторов для склеивания шпона повышенной влажности.

Ключевые слова: шпон; влажность; отверждение; клей; модификатор; прочность; адгезия.

Validation of selection of modifying agents for bonding veneer of high humidity

N.P. Plotnikov^а, S.N. Troshkin^б

Bratsk State University, 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^аn-plotnikov@mail.ru, ^бtroshkin-sergei@list.ru

The article was received 9.01.2017, adopted 22.01.2017

At present phenol-formaldehyde binders are widely used for plywood bonding. It allows to produce laminated materials with high physical-mechanical characteristics. The use of veneer of increased humidity improves the grade, reduce the degree of inactivation and ensure a better adhesive filling of pores and microdefects of the surface. The introduction of modifiers in the composition of phenol-formaldehyde resins not only reduces the content of toxic substances and improves the performance of extrusion equipment due to acceleration of adhesive curing, but also lowers the consumption of an expensive binder. Since the bonding strength depends on the cohesive and adhesive strength, it is necessary to determine the degree of phenol-formaldehyde resin curing and select some optimal modifying additives to the resin for bonding veneers of high humidity. The article presents the mathematical model which enables to describe the change of temperature and moisture inside the package of veneer during the process of hot pressing. The selection of modifiers for bonding veneer of high humidity is carried out.

Keywords: veneer; humidity; curing; adhesive; modifier; strength; adhesion.

Введение

Во время горячего склеивания шпона при производстве фанеры под действием тепла интенсифицируются процессы массообмена, изменяются реологические свойства склеиваемых материалов, происходят химические и теплофизические процессы отверждения клея. Вследствие разницы температур на поверхности и в центре пакета происходит интенсивный перенос молекул клея в древесину.

Существует ряд теорий адгезии, которые пытаются объяснить природу сил взаимодействия тел во время склеивания. Адгезию принято разделять на механическую и специфическую. Механическая адгезия опреде-

ляется когезионной прочностью клея и древесины в зоне контакта и зависит от глубины проникновения клея. Когезионная прочность клея является функцией степени его отверждения [1; 2].

Общие положения. Постановка задачи исследования. Поскольку прочность клеевого соединения зависит как от когезионной, так и от адгезионной прочности, необходимо определить степень отверждения фенолоформальдегидной смолы и провести подбор оптимальных модифицирующих добавок к смоле для склеивания шпона повышенной влажности.

Целью предлагаемого исследования является разработка математической модели, которая давала бы воз-

возможность описать изменение температуры и влаги внутри пакета шпона во время горячего прессования и на основании этих данных позволяла предвидеть конечную влажность фанеры и сделать подбор модификаторов для склеивания шпона повышенной влажности.

Результаты исследований. Для определения степени отверждения фенолоформальдегидной смолы в процессе прессования необходимо учитывать численное решение системы дифференциальных уравнений процесса тепломассопереноса при склеивании шпона повышенной влажности в частных производных [3]:

$$\begin{aligned} \text{ср} \frac{\partial T}{\partial \tau} &= \lambda_1 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \varepsilon \rho_0 r \frac{\partial U}{\partial \tau}; \\ \frac{\partial U}{\partial \tau} &= a_1 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + a_1 \delta \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - e^{-\beta \tau} (U_p - U_0), \end{aligned} \quad (1)$$

с начальными условиями:

$$T|_{\tau=0} = T_0; U|_{\tau=0} = U_0 \quad (2)$$

и граничными условиями:

$$\begin{aligned} T|_{x=h} &= T_{\text{пресса}}; \quad \frac{\partial U}{\partial x}|_{x=h} = 0; \\ \frac{\partial T}{\partial x}|_{x=0} &= 0; \quad \frac{\partial U}{\partial x}|_{x=0} = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где $T_{\text{пресса}}$ — температура плит пресса; U — влагосодержание в точке тела с координатой (x, y) в момент времени τ .

Во время склеивания происходит реакция поликонденсации фенолоформальдегидной смолы, в результате которой резол переходит в стадию резитола, а затем в резит. Необходимым условием получения прочного клеевого соединения является переход в нерастворимое состояние (резит) не менее 80 % общего количества смолы.

Количественная оценка процесса склеивания может быть описана с учетом степени отверждения клея. Процесс изотермического отверждения клеевой композиции можно изобразить системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dC_A}{dt} &= -k_1 C_A \\ \frac{dC_B}{dt} &= k_1 C_A - k_2 C_B \\ \frac{dC_C}{dt} &= k_2 C_C \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где C_A, C_B, C_C — концентрация компонентов А, В, С в растворе клея; k_1, k_2 — коэффициенты скорости перехода клея из стадии А в стадию В и из стадии В в стадию С.

Процесс отверждения клея может быть описан уравнением:

$$C_C = C_{A_0} \left(1 - \frac{k_1}{k_2 - k_1} e^{-k_2 t} + \frac{k_2}{k_2 - k_1} e^{-k_1 t} \right). \quad (5)$$

Значения коэффициентов k_1, k_2 зависят не только от вида клея, количества и качества отвердителя, но и от характера тепло- и массообменных процессов.

Использование данной системы уравнений (4) является невозможным, поскольку в настоящее время неизвестны методы выделения из затвердевающего клея компонента резитола (в чистом виде не существует) и определения коэффициента k_1 .

Таким образом, предположим, что клей на основе фенолоформальдегидной смолы состоит из жидкой и твердой фаз. Тогда процесс неизотермического отверждения клеевой композиции можно представить дифференциальным уравнением [4]:

$$\frac{dC_A}{dt} = -k C_A \quad (6)$$

с начальным условием:

$$C_A(0) = 100\%.$$

Решение такого уравнения имеет вид:

$$\begin{aligned} C_A(t) &= C_1 e^{-kt}, \quad C_1 = C_A(0) = 100\%, \\ C_S(t) &= 100 - C_A(t). \end{aligned} \quad (7)$$

Известно [5], что константа скорости химической реакции зависит от температуры. Количественно эта связь осуществляется по закону Арениуса:

$$k(T) = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (8)$$

где $k(T)$ — коэффициент скорости взаимодействия температуры T ; k_0 — коэффициент скорости взаимодействия при нормальной температуре; R — газовая постоянная; E — энергия активации.

Значение скорости химической реакции зависит от вида клея, количества отвердителя и характера тепло-массообменных процессов. Во время интенсивного поглощения пакетом теплоты и влаги древесины значение данного коэффициента увеличивается.

Для исходной системы обыкновенных дифференциальных уравнений (1) запишем соответствующие разностные соотношения:

$$\begin{aligned} \text{ср} \frac{T_{i+1}^j - T_i^j}{\Delta \tau} &= \lambda_1 \frac{T_i^{j+1} - 2T_i^j + T_i^{j-1}}{\Delta x^2} + \varepsilon \rho_0 r \frac{U_{i+1}^j - U_i^j}{\Delta \tau}; \\ \frac{U_{i+1}^j - U_i^j}{\Delta \tau} &= a_1 \frac{U_i^{j+1} - 2U_i^j + U_i^{j-1}}{\Delta x^2} + \\ &+ a_1 \delta \frac{T_i^{j+1} - 2T_i^j + T_i^{j-1}}{\Delta x^2} - \exp(-\beta \tau_i) \cdot (U_p - U_0^j). \end{aligned} \quad (9)$$

Из начальных условий (2) получим:

$$T_0^j = T_0; U_0^j = U_0. \quad (10)$$

На основе построенной кривой изменения температуры в центре пакета (рис. 1, 2 [3]) из соотношений (9) и (10) построены кривые преобразования жидкой фазы клея во времени.

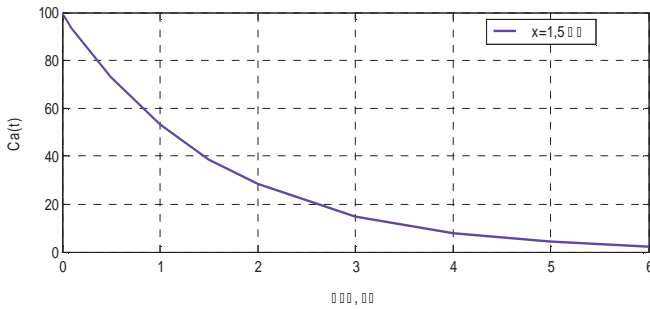


Рис. 1. Изменение со временем жидкой фазы клея в промежуточном слое при $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 15\%$

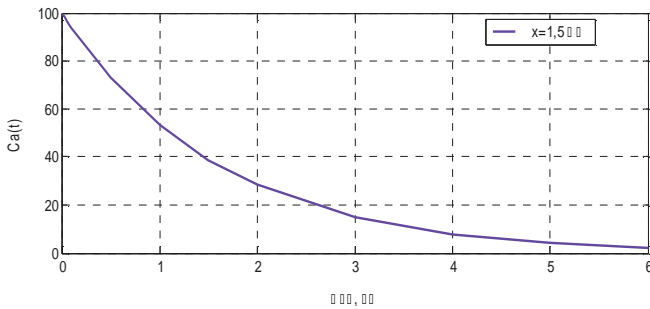


Рис. 2. Изменение со временем жидкой фазы клея в промежуточном слое при $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 25\%$

Рис. 1 и 2 характеризуют изменение концентрации смолы в промежуточном слое пакета при температуре склеивания $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ и влажности шпона 15–25 %. Отсюда следует, что на кинетику отверждения в значительной степени влияет температура, которая возникает в середине пакета, вследствие перемещения влаги в направлении теплового потока. Это приводит к быстрому прогреву середины пакета и ускорению реакции поликонденсации клея. Определение изменения концентрации клея дает возможность прогнозировать длительность процесса склеивания для достижения необходимой прочности клеевого соединения. Соответственно, наибольшее влияние на процесс отверждения оказывает температура склеивания.

Адгезия характеризует взаимодействие элементарных частиц (молекул, функциональных групп) различных тел, возникает в момент контакта клея и субстрата, а также в результате физико-химической адсорбции и зависит от характера адгезионных связей, которые являются разными по своей природе: химические, водородные, межмолекулярные. Взаимодействие усиливается во время отверждения клея вследствие уменьшения подвижности его молекул. Поэтому важно рассмотреть химическое строение веществ и спрогнозировать возможное взаимодействие между ними.

Древесина представляет собой капиллярно-пористый материал с капиллярами различных размеров. Примерно 99 % клетки древесины составляют органические соединения, 1 % — минеральные вещества. Главными химическими компонентами древесины, из которых построены клеточные стенки, являются целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин, имеющие большое количество реакционных групп (в основном гидроксильных), что позволяет им вступать в реакции с компонентами других материалов (рис. 3) [6; 7].

Большое количество целлюлозы сосредоточено во вторичной стенке. Молекулы целлюлозы связаны между собой силами Ван-дер-Ваальса и водородными связями благодаря большому количеству гидроксильных групп. Надмолекулярная структура целлюлозы достаточно сложна, и до настоящего времени не существует единого мнения о ее строении. Поэтому считают, что она может существовать в виде кристаллической и аморфной структур. В межклеточном веществе и в первичной стенке содержится основная масса лигнина. Гемицеллюлоза и лигнин находятся между микрофибриллами. Макромолекулы лигнина характеризуются высокой разветвленностью и нерегулярностью. В полостях между микрофибриллами и в них самих содержится связанная влага [8].

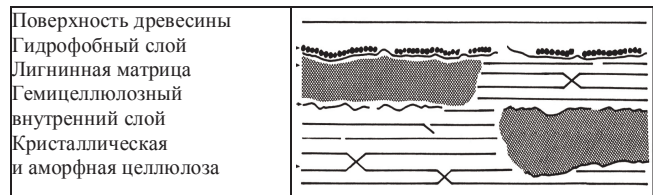


Рис. 3. Схематическое изображение химической природы слоев древесины

С увеличением влажности в древесине уменьшается количество гидроксильных групп на поверхности и увеличивается количество водородных связей в середине молекулы (рис. 4) [9; 10].

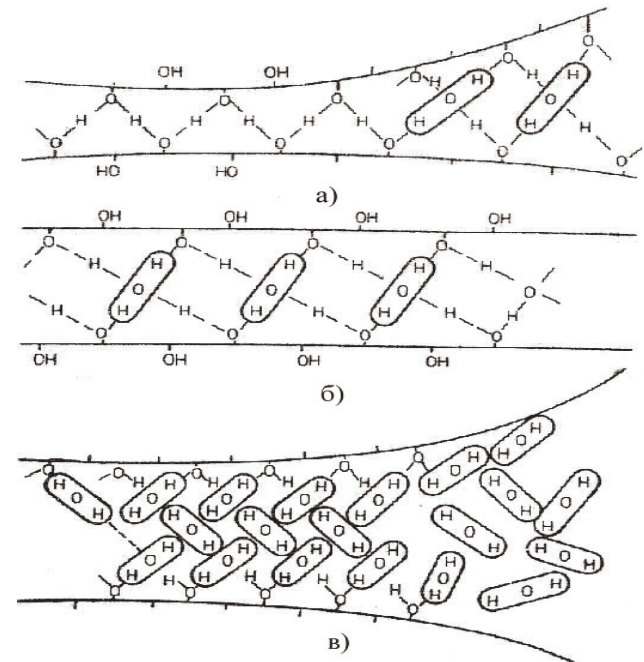


Рис. 4. Адсорбция воды в целлюлозе: *a* — молекулы воды, высвобожденные процессом набухания, связаны в ОН группу; *b* — молекулы воды связаны в аморфной зоне в свободные ОН группы; *в* — макромолекулярная адсорбция воды во внутреннем слое целлюлозы

Поскольку предлагается применять шпон повышенной влажности, нужно учитывать, что это приводит к уменьшению количества свободных радикалов на его поверхности, тем самым ухудшая контакт клея с древесиной. Максимальное число радикалов наблюдается при влажности 3–5 % и существенно уменьшается при

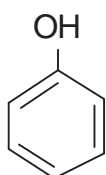
влажности более 12 %. Поэтому повышение влажности древесины будет приводить к ухудшению контакта между клеем и древесиной (у влажной древесины поверхность покрыта слоем адсорбированной влаги), уменьшению свободных радикалов, вязкости нанесенного клея и замедлению процесса отверждения.

Из приведенного выше следует, что для качественного склеивания шпона повышенной влажности (15–25 %) использование фенолоформальдегидной смолы будет проблематично. В таком случае требуется повышение реакционной способности фенолоформальдегидной смолы путем подбора соответствующих модифицирующих веществ.

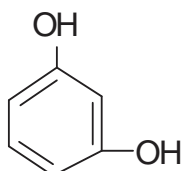
В процессах склеивания древесины эта проблема решается с использованием фенолорезорциновой, резорциноформальдегидной и алкилрезорциновой смол [11–13]. Одни обеспечивают эластичность или прочность, другие — высокую водостойкость или стойкость. Однако нужно отметить, что данные клеи используются для склеивания влажной древесины холодным способом. Данный способ является достаточно длительным, и влага, которая присутствует в древесине, во время процесса склеивания не переходит в паробразное состояние. Это не требует специальных диаграмм прессования, чтобы пар мог покинуть пакет и не разрушить образовавшиеся связи.

Для модификации фенолоформальдегидной смолы следует применять фенолорезорциновые смолы, поскольку они менее реакционноспособны, в отличие от резорциновых и алкилрезорциновых смол. При использовании данного вида смол расстояние между реактивными точками олигомера увеличивается, и, соответственно, жизнеспособность образованных клеевых композиций будет больше, что является весьма важным с учетом технологических требований к клеевой композиции. Кроме того, фенолорезорциновые смолы являются более дешевыми по сравнению с резорциновыми или алкилрезорциновыми.

Также в клеевую композицию можно вводить чистый резорцин, который является двуатомным фенолом $C_6H_4(OH)_2$. Наличие двух функциональных групп —ОН делает резорцин более реакционноспособным веществом, чем обычный одноатомный фенол, поэтому реакция поликонденсации углубляется, что положительно влияет на когезионную прочность клеевой композиции. Это, в свою очередь, позволяет уменьшить температуру склеивания [14].



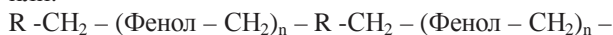
фенол



резорцин

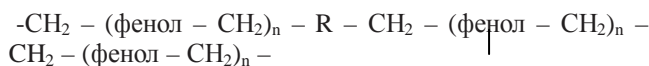
При добавлении к фенолоформальдегидной смоле резорцина можно спрогнозировать их взаимодействие, а именно резорцина (R) с метилольными группами $-CH_2OH$ фенолоформальдегидной смолы, например: $R-CH_2-(\text{фенол}-CH_2)_n-R$ и $R-CH_2-(\text{фенол}-CH_2)_n-R$

или:



В данном случае возможно формирование олигомера, фенолорезорциноформальдегидной смолы, что будет приводить к росту молекулярной массы системы, а соответственно, и к повышению вязкости клея. Резорцин также может выступать своеобразным отвердителем для фенолоформальдегидной смолы, тем самым уменьшая время отверждения образованного клея.

Вследствие добавления фенолорезорциновой смолы, где резорцин является менее активным, возможно образование трехмерной сетки [15]:



Соответственно, это дает возможность получить дополнительно метилольные группы, которые необходимы для формирования химических связей между клеем и древесиной. Также следует отметить, что в образованных клеевых композициях можно наблюдать избыток фенола, который может вступать в химические реакции с функциональными группами лигнина.

Для склеивания шпона повышенной влажности следует применять клеи повышенной вязкости, так как наблюдаются ее уменьшение и интенсивная пропитка клея в древесину. С целью повышения вязкости к клеевой композиции можно вводить различные наполнители, которые классифицируют по химическому составу (органические и неорганические), воздействию на полимер (активные и инертные), по структуре (тонкодисперсные, с частичками в форме зерна или пластинок, а также в форме волокнистых материалов). Для склеивания древесины, как правило, применяют органические наполнители (древесный, лигнин, ржаная мука, крахмал, асбест, мел и другие), поскольку они не оказывают абразивного воздействия на режущий инструмент, имеют низкий модуль упругости, коррозионно стойкие, предотвращают усыхание и растрескивание клеевого слоя, что является важным для уравнивания влажностных напряжений в древесине и клеевом слое. Для склеивания древесины повышенной влажности следует вводить гигроскопичные наполнители, например крахмал или муку, что препятствует проникновению клея в древесину и образованию «голодного» склеивания [16; 17].

Введение органических наполнителей уменьшает внутренние напряжения в клеевом шве, а также поглощает воду, которая образуется в результате реакции поликонденсации тем больше, чем меньше толщина попола органических веществ.

Проанализировав свойства органических веществ, были выбраны пшеничный крахмал и ржаная мука. Данные модифицирующие вещества имеют сходную структуру и величину зерен. Пшеничный крахмал и крахмал, который содержится в ржаной муке, не растворяются в воде, они только адсорбируют ее, а во время нагревания образуют желатиноподобную пасту с высокой липкостью. Это позволяет получить клеи высокой вязкости при низком содержании твердых частиц. Нецелесообразно применять крахмалы другого происхождения, например картофельный или кукурузный, потому что будет образовываться клейстер гораздо большей вязкости, что

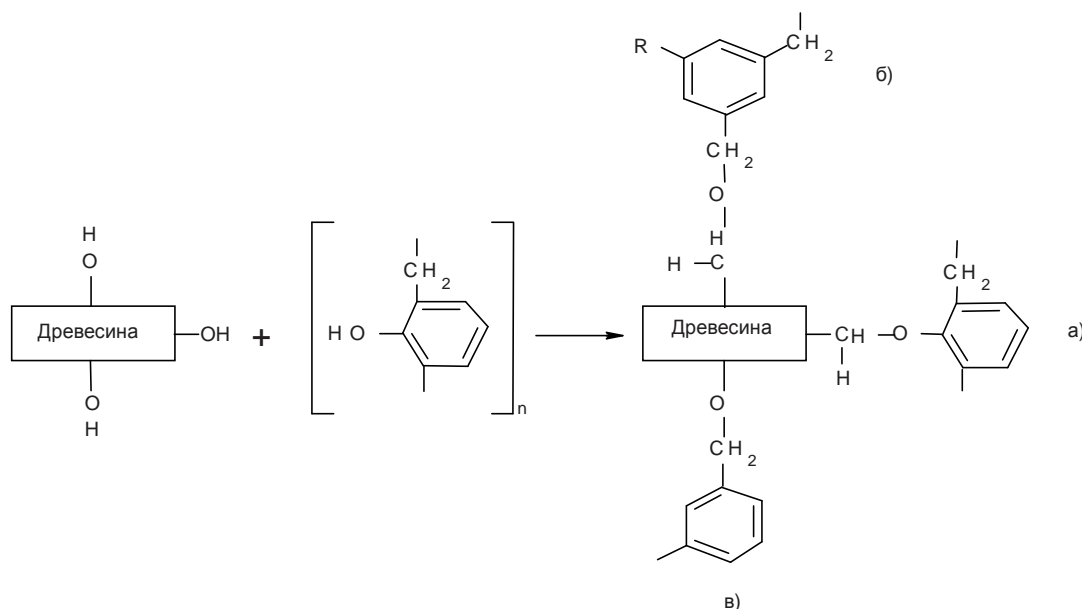
отрицательно повлияет на нанесение клея на поверхность шпона (образуется утолщенный клеевой слой, а это, в свою очередь, будет приводить к уменьшению прочности клеевого соединения). Следовательно, использование пшеничного крахмала и ржаной муки позволяет получить клеевые композиции, которые характеризуются высокой степенью прилипания к бумаге и древесине, поскольку их состав становится подобным целлюлозе [18–20]. Необходимо также спрогнозировать взаимодействие клеевых композиций с древесиной. С позиции теории адгезии это взаимодействие можно объяснить как молекулярный контакт с образованием химических связей между макромолекулами смолы (клея) и древесины (целлюлозы), благодаря чему увеличивается прочность клеевого соединения.

Хорошую адгезию будут иметь материалы, близкие по химическому строению и не сильно отличающиеся силами когезии. Адгезионная прочность поверхности «адгезив – субстрат» тем больше, чем ближе их силы когезии. В древесине силы когезии в основном обусловлены взаимодействием групп -ОН химических компонентов древесины (целлюлозы, гемицеллюлозы,

лигнина). Так, для склеивания шпона применяются фенолоформальдегидные смолы, и силы когезии, видимо, будут обусловлены взаимодействием как групп (-ОН), так и метильных (-CH₂OH) групп [21–24].

В процессе проникновения клея в древесину и заполнения им полостей он вступает в непосредственный контакт с поверхностью клеток, и следовательно, образуется возможность формирования химической связи со стенками клеток. Повышение температуры во время склеивания с одновременным действием давления способствует поликонденсации смолы, химическому взаимодействию клея с древесиной и тем самым быстрому и прочному склеиванию. Адгезионные свойства клея определяются созданием физико-химических связей с древесиной при существенном сближении молекул и наличием реакционноспособных функциональных групп [25; 26].

Попробуем спрогнозировать взаимодействие фенолоформальдегидных клеев с древесиной. Поскольку в древесине имеются гидроксильные группы, они будут взаимодействовать с функциональными группами клея:



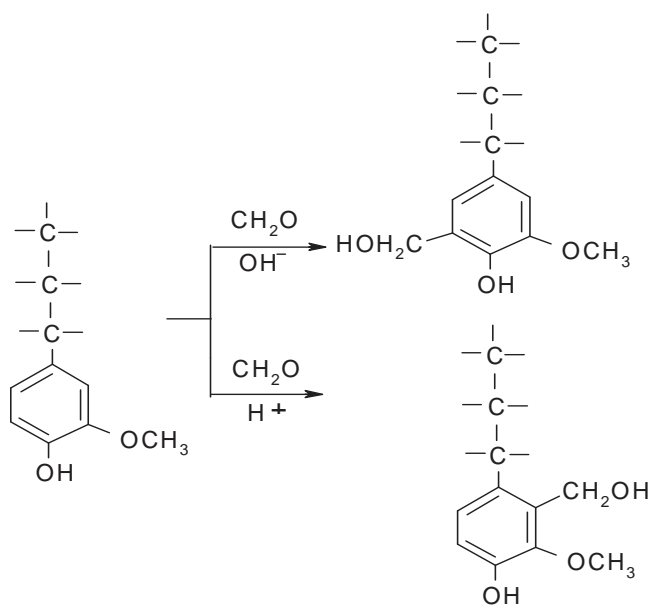
Прочность связи «клей – древесина» подтверждается образованием водородных (варианты *а*, *б*) и эфирных (вариант *в*) связей. Водородные связи могут располагаться в различных положениях относительно метильной группы, поскольку склеивается шпон повышенной влажности. С позиции теорий адгезии это взаимодействие можно объяснить как молекулярный контакт с образованием химических связей между макромолекулами смолы (клея) и древесины (целлюлозы), благодаря чему увеличивается прочность клеевого соединения.

Как отмечалось выше, вследствие добавления фенолорезорциновой смолы к фенолоформальдегидной смоле может образовываться избыток фенола, который будет реагировать с лигнином согласно химическим реакциям, которые предложены В.М. Никитиным. Кроме того, введение новых функциональных групп при модификации фенолоформальдегидной смолы фе-

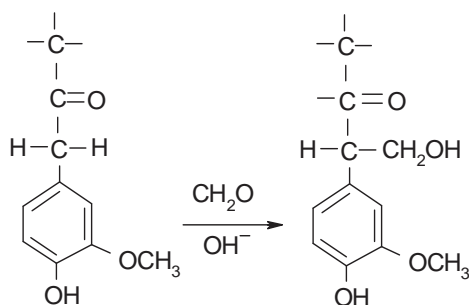
нолорезорциновой смолой должно изменять показатели когезии и адгезии за счет изменения сил межмолекулярного взаимодействия.

В.М. Никитиным доказано [6], что фенол и его гомологи способны вступать в реакцию с лигнином древесины с образованием дифенилметановой структуры. А.А. Берлин [25], изучая взаимодействие древесины с фенолоформальдегидными смолами, пришел к выводу, что с лигнином могут взаимодействовать не только фенол и диоксифенилметаны, но и более высокомолекулярные продукты конденсации фенола и формальдегида, которые выделяются во время прогрева пакета шпона.

Приведены два вида реакций формальдегида и лигнина, которые также будут влиять на адгезионную прочность [7]:



или:



Анализ различных клеевых композиций и отдельных составляющих показал, что для получения высоких показателей прочности во время склеивания шпона повышенной влажности в их составе должны быть компоненты, которые хорошо совмещаются между собой, дополняют друг друга и образуют стабильные системы с заданными физико-механическими свойствами.

Выводы

1. Определение распределения температуры в середине склеиваемого пакета шпона дает возможность прогнозировать степень отверждения смолы, что является одним из важнейших факторов, определяющих прочность клеевого соединения.

2. Обоснован выбор модифицирующих веществ и спрогнозировано возможное взаимодействие образованных фенолоформальдегидных клеев со шпоном повышенной влажности. Рекомендуется применять как модифицирующие вещества резорцин, фенолорезорциновую смолу, пшеничный крахмал и ржаную муку.

Литература

1. Чубинский А.Н. Формирование клеевых соединений древесины. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1992. 164 с.
2. Трошкин С.Н. Формирование покрытий столярно-строительных изделий воднодисперсионными красками методом налива: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1990. 17 с.
3. Плотников Н.П. Математическая модель тепломассопереноса в процессе склеивания шпона повышенной влажно-

сти // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 3 (31). С. 161-167.

4. Артемова В.П., Ганжа Л., Журавский Г. О прогреве клееной слоистой древесины при изменении ее толщины процессе прессования // Механическая технология древесины сб. науч. ст. Минск, 1976. Вып. 6. С. 96-101.

5. Озаркив И.М., Сорока Л.Я., Грицок Ю.И. Основы аэродинамики и тепломассообмена. Киев: ВМН, 1997. 280 с.

6. Никитин В.М. Химия древесины и целлюлозы. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1951. 496 с.

7. Young R.A., Fujita M., River B.H. New approaches to wood bonding a base-activated lignin adhesive system // Wood Science and Technology, 1985. № 19. P. 363-381.

8. Liptáková E., Sedláčik M. Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle. Bratislava: Alfa, 1989. 520 s.

9. Плотников Н.П., Денисов С.В. Оптимизация технологических режимов склеивания фанеры модифицированными клеевыми композициями // Вестн. КрасГАУ. 2010. Вып. 5. С. 143-148.

10. Плотников Н.П., Плотникова Г.П. Совершенствование технологии производства древесноплитных материалов. Новосибирск: НП «СибАК», 2013. 112 с.

11. Хрулев В.М., Дудник В.Т. Склеивание древесины лиственницы // Механическая обработка древесины: ВНИПИЭлеспром. М., 1980. Вып. 4. С. 1-24.

12. Хрулев В.М., Забурунов В.А. Свойства и применение алкилрезорциновых клеев с наполнителями // Механическая обработка древесины: ВНИПИЭлеспром. М., 1979. Вып. 4. С. 1-28.

13. Na B., Pizzi A., Lu X. Green wood gluing by traditional honeymoon PRF adhesives // Holz als Roh und Werkstoff, 2005. № 63. P. 473-474.

14. Гупало О.П., Ватаманюк Н.М. Високолекулярні сполуки. Київ: НМК ВО, 1993. 244 с.

15. Pizzi A., Mittal K.L. Handbook of Adhesives Technology. New York: Marcel Dekker, 2003. 1010 p.

16. Куликов В.А. Производство фанеры. М.: Лесная промышленность, 1976. 368 с.

17. Хрулев В.М., Забурунов В.А. Свойства и применение алкилрезорциновых клеев с наполнителями // Механическая обработка древесины: ВНИПИЭлеспром. М., 1979. Вып. 4. С. 1-28.

18. Крылатов Ю.А., Ковернинский И.Н. Проклейка бумаги. М.: Лесная промышленность, 1987. 288 с.

19. Кречетова С.П. Матералы для обработки и переработки бумаги и картона. М.: Лесная промышленность, 1990. 160 с.

20. Энгельгардт Г., Гранич К., Риттер К. Проклейка бумаги. М.: Лесная промышленность, 1975. 224 с.

21. Силинг М.И. Поликонденсация физико-химические основы и математическое моделирование. М.: Химия, 1988. 256 с.

22. Фрейдин А.С. Полимерные водные клеи. М.: Химия, 1985. 144 с.

23. Ветошкин Ю.И. Исследование взаимодействия клея с древесиной методом ИК-спектроскопии // Технология древесных плит и пластиков: межвуз. сб. Свердловск, 1982. Вып. 9. С. 130-136.

24. Ортинська Г.Є. Формування адгезійних зв'язків під час склеювання шпону підвищеної вологості // Матеріали III Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з хімії та хімічної технології, 21-23 квітня 2010 р.: зб. тез. доп. Київ: Нац. техн. ун-ет України "Київський політехнічний інститут", 2010. С. 162.

25. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. М.: Химия, 1974. 358 с.

26. Bernard M. Collett. A review of surface and interfacial adhesion in wood science and related fields // Wood Science and Technology. 1972. Vol. 6. P. 1-42.

References

1. Chubinskii A.N. The formation of adhesive joints of wood SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 1992. 164 p.
2. Troshkin S.N. The formation of coatings joinery a waterborne paint method of loading: the dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1990. 17 p.
3. Plotnikov N.P. Mathematical model of heat and mass transfer in the process of gluing veneer sheets of high humidity // Systems. Methods. Technologies. 2016. № 3 (31). P. 161-167.
4. Artemova V.P., Ganzha L., Zhuravskii G. On the heating of the glued laminated wood when you change its thickness pressing process // Mekhanicheskaya tekhnologiya drevesiny sb. nauch. st. Minsk, 1976. Vyp. 6. P. 96-101.
5. Ozarkiv I.M., Soroka L.Ya., Gritsyuk Yu.I. Basics of aerodynamics and heat and mass transfer. Kiev: IZMN, 1997. 280 p.
6. Nikitin V.M. Chemistry of wood and pulp. M.; L.: Goslesbumizdat, 1951. 496 p.
7. Young R.A., Fujita M., River V.N. New approaches to wood bonding a base-activated lignin adhesive system // Wood Science and Technology, 1985. № 19. P. 363-381.
8. Liptáková E., Sedláčik M. Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle. Bratislava: Alfa, 1989. 520 p.
9. Plotnikov N.P., Denisov S.V. Optimization of technological modes of bonding of plywood adhesive compositions modified // The Bulletin of KrasGAU. 2010. Vyp. 5. P. 143-148.
10. Plotnikov N.P., Plotnikova G.P. Improvement of the technology of production wood-based panels materials. Novosibirsk: NP «SibAK», 2013. 112 p.
11. Khrulev V.M., Dudnik V.T. Bonding of larch wood // Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny: VNIPIEllesprom. M., 1980. Vyp. 4. P. 1-24.
12. Khrulev V.M., Zaburunov V.A. Properties and applications alkylresorcinol adhesives with fillers // Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny: VNIPIEllesprom. M., 1979. Vyp. 4. P. 1-28.
13. Na B., Pizzi A., Lu Kh. Green wood gluing by traditional honeymoon PRF adhesives // Holz als Roh und Werkstoff, 2005. № 63. P. 473-474.
14. Gupalo O.P., Vatamanyuk N.M. Visokolekulyarni spoluki. Kiiiv: NMK VO, 1993. 244 p.
15. Pizzi A., Mittal K.L. Handbook of Adhesives Technology. New York: Marcel Dekker, 2003. 1010 p.
16. Kulikov V.A. Proizvodstvo fanery. M.: Lesnaya promyshlennost', 1976. 368 p.
17. Khrulev V.M., Zaburunov V.A. Properties and applications alkylresorcinol adhesives with fillers // Mekhanicheskaya obrabotka drevesiny: VNIPIEllesprom. M., 1979. Vyp. 4. P. 1-28.
18. Krylatov Yu.A., Koverninskii I.N. Sizing of paper. M.: Lesnaya promyshlennost', 1987. 288 p.
19. Krechetova S.P. Materials for handling and processing paper and cardboard. M.: Lesnaya promyshlennost', 1990. 160 p.
20. Engel'gardt G., Granich K., Ritter K. Sizing of paper. M.: Lesnaya promyshlennost', 1975. 224 p.
21. Siling M.I. Polycondensation physico-chemical principles and mathematical modeling. M.: Khimiya, 1988. 256 p.
22. Freidin A.S. Aqueous Polymer adhesives. M.: Khimiya, 1985. 144 p.
23. Vetoshkin Yu.I. Study of the interaction of the adhesive with the wood by the method of IR-spectroscopy // Tekhnologiya drevesnykh plit i plastikov: mezhvuz. sb. Sverdlovsk, 1982. Vyp. 9. P. 130-136.
24. Ortins'ka G.C. Formuvannya adhering contact required yazkiv pid hour slovania veneer pcvideo Wolgast // Materialy III Mizhnarodnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodikh vchenikh z khimiï ta khimichnoi tekhnologiiï, 21-23 kvitnya 2010 r.: zb. tez. dop. Kiev: Nats. tekhn. un-et Ukraïni "Kiïvskii politekhnichnii institut", 2010. P. 162.
25. Berlin A.A., Basin V.E. Fundamentals of adhesion of polymers. M.: Khimiya, 1974. 358 p.
26. Bernard M. Collett. A review of surface and interfacial adhesion in wood science and related fields // Wood Science and Technology. 1972. Vol. 6. P. 1-42.

УДК 630.824.88; 630.811.9; 674.02; 630.378.45

DOI: 10.18324/2077-5415-2017-1-113-117

Обоснование некоторых параметров модификации затопленной древесины сосны

И.Н. Челышева^а, К.В. Гилева^б, А.Ю. Жук^с

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^аirinachelysheva@yandex.ru, ^бshu-ksy@mail.ru, ^сzhuk30@yandex.ru

Статья поступила 30.11.2016, принята 28.12.2016

В статье рассмотрены вопросы модификации древесины сосны, длительное время находившейся в ложе Братского водохранилища в затопленном и плавающем состоянии. Результаты поисковых экспериментов по выбору модификатора убедительно показали преимущество натриевого жидкого стекла, способного заполнять пустоты внутри волокон древесины на клеточном уровне, образуя пространственные структуры и тем самым улучшая нарушенные физико-механические свойства древесины. Представлены результаты исследования условий образования адгезионного контакта в системе «древесина – модификатор (адгезив)» при модификации затопленной древесины сосны жидким натриевым стеклом при постоянных факторах экспериментов: порода древесины – сосна; исходная влажность образцов – $5,8 \pm 0,2$ %; шероховатость поверхности – 200 ± 10 мкм; температура воздуха – 20 ± 2 °С; относительная влажность воздуха – 60 ± 5 %; модификатор – адгезив «жидкое стекло»; силикатный модуль модификатора – 3; плотность модификатора – $1,35$ г/см³. Рассчитанная теоретическая работа адгезии указывает на приоритет снижения температуры поверхности древесины и модификатора до 30 °С. Получена математическая модель влияния температуры поверхности древесины и температуры модификатора на краевой угол смачивания. Установлена оптимальная величина относительной влажности поверхности затопленной древесины сосны