

4. ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ. БИОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 674-419.3

А.А. Леонович, Л.В. Замазий

ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СВЯЗИ С НАРУШЕНИЕМ СПЛОШНОСТИ СИНТЕТИЧЕСКОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ФАЗЫ

Введение. Поскольку в двухфазных древесных композиционных материалах древесина сама является природным композитом и состоит практически полностью из полимеров, то её в тексте условно будем обозначать «древесная фаза». Второе вещество, выступающее в качестве связующего (клея) и в конечном счёте состоящее из синтетического полимера, отнесём к «полимерной фазе». Такое упрощение в обозначении удобно для обсуждения экспериментального текста.

Древесные композиционные материалы по специфике содержания и по степени непрерывности полимерной фазы можно рассматривать как следующие подклассы композитов:

1. *Полимер-древесные композиционные материалы с полимерной фазой из термопластичных полимеров (полипропилен, полиэтилен и др.).* Массовая доля этих полимеров составляет 40...60 мас.%. Полимерная фаза при изготовлении материала экструзией оказывается нанесённой сплошным образом без нарушения непрерывности и в силу этого не содержит дефектов. Так изготавливают, в частности, декинг и сайдинг [Клесов, 2010].

2. *Материалы древесные композиционные на основе древесины в виде тонких листов.* Будущая полимерная фаза в виде олигомерных связующих веществ с промышленным обозначением «смола», в которую введён отвердитель, наносится сплошным самостоятельным слоем на подготовленную лущением или строганием древесину. В качестве связующего выступают фенолоформальдегидная смола (ФФС), карбамидоформальдегидная смола (КФС) и меламиноформальдегидная смола (МЛФС). При последующем горячем прессовании материала из смолы по реакциям по-

ликонденсации образуется соответствующий синтетический полимер. Расход связующего составляет порядка 30 мас.%. Так изготавливают фанеру и слоистый пластик [Чубинский и др., 2016].

3. *Древесноплитные материалы из измельчённой древесины.* Они состоят преимущественно из древесных частиц или волокон, а полимерная фаза также образуется из синтетических олигомерных смол с отвердителем (её определим как «клей») и составляет чаще всего 7...8 мас.%. Она наносится распылением и оседает на частицах в виде отдельных капель без создания сплошной фазы. В местах нарушения непрерывности возникают пробелы в микроучастках, определяемые как дефекты клеевых соединений. В процессе горячего прессования по реакциям конденсации олигомерная смола также переходит в синтетический сетчатый полимер. Так изготавливают древесно-стружечные плиты (ДСП) по ГОСТ 10632-2014, древесноволокнистые плиты (ДВП) по ГОСТ 4598-2018, OSB по ГОСТ 32567-2013 и MDF по ГОСТ 32274-2021. Наиболее многотоннажным представителем является ДСП.

Третий подкласс вырабатывается в основном для мебельной промышленности и строительства. По данным за 2023 г. общий выпуск ДСП и аналогичных плит из древесины или других одревесневших материалов в мире превышает выработку целлюлозы. В нашей стране он составляет 11603 тыс. усл. м³¹. Их технология характеризуется существенно низким расходом связующего (клея). Это обеспечивает получение материала с высокой удельной поверхностью и экономичностью продукции при условии соблюдения всех требований, изложенных в соответствующих стандартах, и высокой востребованностью многими потребляющими отраслями.

Особенности механизма образования указанных материалов связаны с дискретным нанесением синтетического олигомерного связующего (клея) – в технике используется термин «осмоление» – когда при воздушном распылении его на поверхность древесных частиц клей попадает в виде отдельных тонкодисперсных капель и по малости расхода не полностью покрывает поверхности частиц древесной фазы. При последующем горячем прессовании древесные частицы соединяются между собой по нанесённым каплям клея, образуя в микрообластях контакта клеевые соединения, а при их отсутствии – дефекты. Особенность этого подкласса материалов состоит в том числе в отсутствии сплошности полимерной фазы. В силу многократного превышения размера древесных частиц над размерами капель клея и множественности капель, попадающих на отдельную частицу, происходит соедине-

¹ Рынок ДСП (древесно-стружечных плит) в России 2017-2024 гг. Цифры, тенденции, прогноз. URL: <https://tk-solutions.ru/russia-rynok-dsp>

ние древесных частиц в единый материал, несмотря на многократно прерывающуюся полимерную фазу. Анализируя особенности материалов третьего подкласса, нам следует проанализировать вероятные взаимодействия контактирующих частиц по множеству нанесённых на них капель. Для этого примем условные фрагменты в виде отдельных микрообластей контактов между частицами, обозначение этих фрагментов в данном анализе также условно. В общем виде такой анализ выполнен в работе [Леонович, 2023]. Наша задача будет состоять в том, чтобы количественно дополнить распределения этих контактов в модели и дать количественную оценку их прочности.

Рассмотрим три возможных варианта условных фрагментов:

1. Капля клея, нанесённая на одну из древесных частиц, непосредственно взаимодействует в микрообласти с другой каплей клея, нанесённой на другую частицу. Таких взаимодействий между частицами, исходя из соответствующих размеров частиц и капель, должно быть в материале некоторое множество. Введём обозначение отдельно взятого клеевого соединения в символах $D - C \cdots C - D$, где «D» – древесная фаза, «C» – олигомерная смола с отвердителем, переходящая при отверждении в процессе горячего прессования в полимерную фазу. Точками обозначено их взаимодействие. Такой вариант клеевого соединения соответствует «Нс» – нормальному клеевому соединению;

2. Капля клея, нанесённая на одну древесную частицу, вступает во взаимодействие с другой частицей, где в микроучастке древесной фазы, контактирующей с ней, нет клея. Введём обозначение такого варианта клеевого соединения в тех же символах $D - C \cdots D$. Такой вариант обозначим «Ос» – ослабленное соединение;

3. Частицы в микрообласти соприкасаются без клея. Введём обозначение соединения в символах $D \cdots D$. Такой точечный вариант микроконтакта частиц обозначим «Дс» – дефектное соединение.

Общее число и соотношение микроучастков в изготовляемом материале обуславливает интегральную прочностную характеристику древесноплитного композита, в частности древесностружечных плит, а изменением соотношения микроучастков технологическими приёмами в направлении увеличения доли Нс можно увеличить прочность изготавливаемого материала. Если бы существовал способ точно рассчитать и регулировать соотношение контактов, то на этой основе представлялось бы возможным управлять качеством материала, приводя его к конкретно заданным требованиям.

Цель работы. Выявить особенности древесноплитных материалов в связи с дискретным (неполным) осмолением структурных древесных частиц при неравномерном распределении капель по их поверхности. На этой основе показать различие прочности клеевых соединений в вариантах Нс, Ос

и в присутствии варианта Дс для анализа особенностей древесных композиционных материалов и работоспособности научного подхода при расчёте прочности ДСП.

Методика исследований. Введём пояснение к используемым терминам. Древесная частица – основной структурный элемент древесностружечных плит, размеры которого моделируются параллелепипедом. Пласть – наибольшая поверхность древесной частицы, а остальные поверхности – боковая и торцевые грани. Наравне с используемыми в технике древесноплитного производства терминами «связующее», «смола» используем общенаучные термины «клей», «синтетическое олигомерное соединение». Капля – дисперсная клеевая частичка, образующаяся на поверхности древесной частицы при воздушном распылении клея. Термин «осмоление» в смысле обработки древесных частиц путём нанесения на них клея сохраним как краткий.

Древесные частицы получали из берёзовых карандашей (остатков при лущении шпона) с последующим измельчением щепы на молотковой дробилке и просеиванием для однородности получаемых частиц на сите 5 и задержавшихся – на сите 2 (номер соответствует диаметру отверстий в миллиметрах). Их масса составляла 92 мас.% общей массы. Частицы подсушивали до влажности 3%. Использовали смолу марки КФМТ-15, её разбавляли водой до рабочей концентрации 57% (типичная для производственных режимов), добавляли отвердитель (NH_4Cl – 1 мас.%) и в периодическом барабане массу древесных частиц осмоляли путём воздушного распыления клея под давлением $2,2 \pm 0,2$ МПа с расходом, обеспечивающим содержание клея на частицах 7,14 мас.%.

Для расчёта доли площадей, занимаемых суммой капель связующего на отдельной древесной частице, квартованием отбирали 6 частиц, на поверхности которых с помощью электронного микроскопа фиксировали распределение капель клея фотографированием и находили по фотографии количество капель клея и занимаемую ими площадь на пласти частицы. В проекции с увеличением в 7 раз находили смолопокрытую площадь как отношение доли площади капель к площади пласти древесной частицы. Это отношение находили для каждой из древесных частиц, приводя в расчёте неправильную их форму к параллелепипеду (l , b , h – длина, ширина, высота)

Изменение формы капель клея вследствие смачивания и впитываемости во времени относительно берёзового шпона (как подложки) оценивали по известной методике [Угрюмов, Цветков, 2007].

Прочность модельных клеевых соединений (σ_{\perp}) определяли на образцах берёзовой фанеры размером $80 \times 50 \times 3$ мм с тремя условиями нанесения клея, каждое в двух вариантах – на обе склеиваемые поверхности

(Нс вариант) и на одну из склеиваемых поверхностей (Ос вариант). Склеивали при наложении образцов перпендикулярно друг другу с образованием площади клеевого соединения 50×50 мм. Испытывали с приложением напряжения при растяжении перпендикулярно площади склеивания (прочность на отрыв) при скорости нагружения 10 мм/мин.

Результаты обрабатывали статистически при вероятности $P = 0,95$ [Митропольский, 1971; Мартынов, Мартынов, 2011].

Результаты и их обсуждение. При нанесении клея на древесные частицы было установлено частичное покрытие поверхности клеем с сильной степенью неоднородности. Это иллюстрируется на фотографии частицы, увеличенной в 7 раз и приведённой на рис. 1.



Рис. 1. Фотография отдельной древесной частицы с нанесённым на её поверхность клеем (тёмные точки)

Fig. 1. Photo of a separate wood particle with glue applied to its surface (dark points)

В публикации [Леонovich и др., 2024] для анализа качества материала при неполном осмолении частиц воспользовались мысленной моделью в виде квадрата из 9 элементов. Из этой публикации возьмём вариант образования материала из двух разноосмолённых квадратных частей модели как ситуацию наиболее вероятной вариабельности осмоления. Примем квадрат на поверхности одной контактирующей части модели состоящим из девяти элементов (3×3). В этом квадрате три элемента заполнены клеем, а шесть – нет. Квадрат другой контактирующей части модели также состоит из девяти элементов (3×3) и содержит четыре элемента, заполненных клеем, и пять – без клея. При наложении квадратов, как доказывается вероятностным анализом в цитируемой работе, соотношение следующих типов контактов при вероятности $P = 0,95$ окажется равным:

$$\text{Нс} : \text{Ос} : \text{Дс} = 0,1482 : 0,4815 : 0,3703. \quad (1)$$

В частности, в рассматриваемом варианте нормальных контактов оказывается меньше, чем ослабленных, а наличие дефектных контактов (без участия клея и, соответственно, без создания прочности) усугубляет ситуацию в отношении ухудшения качества материала. При технологическом изменении расхода клея можно по приведённым универсальным формулам рассчитать соответствующее соотношение трёх типов контактов в зависимости от расхода клея и заданной вероятности.

Процесс воздушного распыления определяется только давлением воздуха в компрессоре и приводит к сильной дисперсности и неравномерному распределению образующихся на поверхности частиц капель клея. Степень осмоления содержится в табл. 1. Суммарная их площадь, рассчитанная по фотографии, показала, что только статистическая треть пласти каждой отдельной частицы покрыта клеем ($31,77 \pm 4,5\%$). Получается, что большая часть поверхности не покрыта клеем и не участвует во взаимодействии структурных элементов в механизме образования древесного композиционного материала. Отсюда следует, что из-за неполной площади склеивания древесных частиц материал получается неоднородным в отношении прочности. Эта неоднородность дополнительно усугубляется не только вариабельностью качества клеевых соединений, но и наличием микроучастков с полным их отсутствием.

Таблица 1

Степень осмоления древесных частиц по пласти при содержании клея 7,14 мас.%

The degree of tarring of wood particles along the layer with an adhesive content of 7,14 wt.%

| Номер частицы | Приведённые размеры частиц, мм | | | Площадь пласти, мм ² | Число капель на пласти, шт. | Площадь клея, мм ² | Доля осмолённой площади, % |
|------------------|--------------------------------|------|------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| | l | b | h | | | | |
| 1 | 9,40 | 2,30 | 0,59 | 21,62 | 66 | 7,40 | 34,23 |
| 2 | 12,10 | 2,80 | 0,63 | 33,88 | 52 | 9,26 | 27,33 |
| 3 | 7,30 | 1,80 | 0,47 | 13,14 | 78 | 4,77 | 36,30 |
| 4 | 10,40 | 2,60 | 0,52 | 27,04 | 73 | 8,29 | 30,66 |
| 5 | 8,60 | 2,70 | 0,55 | 23,22 | 56 | 6,78 | 29,20 |
| 6 | 10,10 | 1,90 | 0,44 | 19,19 | 61 | 6,31 | 32,88 |
| Среднее значение | 9,65 | 2,35 | 0,53 | 23,02 | 64 | 7,14 | 31,8 ± 4,5 |

Возможны два предельных случая. Первый – когда во всех вариантах образуется только нормальное клеевое соединение Нс. Тогда общая сумма таких соединений будет статистически минимальна. Второй – когда во всех вариантах образуются только ослабленные клеевые соединения Ос. Тогда общая сумма соединений будет увеличена в два раза при закономерном их ослаблении, а дефектная площадь контакта снизится. В остальных случаях общая сумма численно окажется больше суммы первого и меньше суммы второго вариантов.

Наиболее вероятное соотношение клеевых соединений установили по уравнению (1). Тогда, моделируя древесную частицу параллелепипедом и получив число частиц в сечении образца для испытания на отрыв, можно получить оценочную информацию для ожидаемой прочности. При этом пренебрегая долей прочности, образованной боковыми и торцевыми гранями, можем рассчитать ожидаемую прочность материала. Площадь граней (мм^2) в среднем составляет:

$$S_{\text{гр}} = [(9,65 \cdot 0,53) + (2,35 \cdot 0,53)] = 6,36. \quad (2)$$

Основанием для исключения вклада в прочность граней служит не только их малая площадь ($S_{\text{бок}} = 9,65 \cdot 0,53$; $S_{\text{тор}} = 2,35 \cdot 0,53$), составляющая $6,36 \text{ мм}^2$, по сравнению с площадью пласти ($S_{\text{пл}} = 9,65 \cdot 2,35$), которая в 3,57 раза больше. По механизму образования материала давление прессования приходится непосредственно на пласти, а на грани оно практически не прикладывается, и грани, следовательно, не вносят значимого вклада в создание прочности [Леонович, 2023].

Для расчёта ожидаемой прочности материала сначала получим прочность на отрыв на модельных образцах при трёх расходах клея для нормального (H_c) и ослабленного (O_c) соединений. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Прочность типов клеевых соединений модельных образцов при разном содержании клея

The strength of the types of adhesive joints of the model samples with different glue content

| Показатель | Содержание 4,5 г/м ² | | Содержание 7,2 г/м ² | | Содержание 9,0 г/м ² | |
|--|---------------------------------|-------|---------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| | H_c | O_c | H_c | O_c | H_c | O_c |
| Прочность при отрыве (σ_{\perp}), МПа | 2,96 | 1,75 | 3,62 | 2,88 | 4,57 | 3,59 |
| Среднее квадратичное отклонение (s), МПа | 0,09 | 0,16 | 0,08 | 0,01 | 0,11 | 0,08 |
| Ошибка среднего арифметического (m), МПа | ±0,1 | ±0,17 | ±0,08 | ±0,01 | ±0,12 | ±0,08 |
| Вариационный коэффициент (v), % | 3,11 | 5,86 | 2,56 | 3,36 | 2,30 | 3,24 |
| Эффективность клея, % | 65,8 | 38,9 | 50,3 | 40,0 | 50,8 | 28,8 |

Примечание: Эффективность клея (в процентах) определяется как прочность склеивания, отнесённая к количеству клея, обеспечивающему эту прочность

Нанесение клея на обе контактирующие поверхности, как это известно не только из теории, но и из практики склеивания, обеспечивает лучшее качество склеивания, чем при нанесении только на одну поверхность [Кардашов, 1976]. В нашем случае получено подтверждение известному факту: прочность H_c выше O_c при любом расходе клея – и выше, и ниже номинала. Однако при завышенном расходе (а среднее значение на практике производства порядка 7,5 мас.%) избыток клея затекает в микрорельеф другой соединяемой древесной частицы, лишённой в этом микроучастке клея и одностороннее нанесение как таковое строго не соблюдается. Хотя различие в пользу H_c для избыточного расхода клея сохраняется, как и для случая при меньшем расходе клея.

Тогда в расчёте примем вариант соотношений H_c и O_c по уравнению (1) и умножим на соответствующее значение прочности из табл. 2.

Получим:

$$\sigma_{\perp\text{расч}} = (Q_{H_c} \cdot \sigma_{H_c} + Q_{O_c} \cdot \sigma_{O_c}) \cdot Q_K, \quad (3)$$

где Q_{H_c} и σ_{H_c} – доля нормальных клеевых соединений и их прочность соответственно; Q_{O_c} и σ_{O_c} – доля ослабленных клеевых соединений и их прочность соответственно; Q_K – степень осмоления, выраженная как общая доля клея, нанесённого на древесные частицы.

Тогда согласно уравнению (3) получим:

$$\sigma_{\perp\text{расч}} = (0,1482 \cdot 3,62 + 0,4815 \cdot 0,3177) = 0,61. \quad (4)$$

Поскольку прочность клеевых соединений была получена на моделях и не учитывала структуру ДСП, то для перехода от результата расчёта на моделях к результату, получаемому на реальных древесных плитах, необходимо учесть особенности структуры материала из-за некоторой хаотичности расположения частиц при формировании ковра и разнотолщинности самих древесных частиц. Введём безразмерный структурный коэффициент K_c . Он характеризует отношение реальной прочности древесноплитного материала к предполагаемой прочности, которая отличалась бы при допущении такой упаковки структурных элементов (древесных частиц), когда из-за расположения в структуре пустоты не возникают. Предполагаемая прочность оценивается показателем, получаемым при определении прочности клеевого соединения на модели, когда разрушение происходит собственно по клею (когезионный характер), а пустоты не рассматриваются.

K_c суммарно учитывает дезориентацию древесных частиц по отношению к продольной оси плиты (K_d) и разнотолщинность частиц (K_p). Согласно работе [Позняков, 1988] дезориентация частиц понижает их прочность весьма существенно. Примем $K_d = 0,80$, а из данных табл. 1 найдём $K_p = 0,85$, тогда K_c будет равен:

$$K_c = K_d \cdot K_p = 0,80 \cdot 0,85 = 0,68. \quad (5)$$

Тогда рассчитанное по модели значение прочности в уравнении (4) скорректируем на структурную поправку и получим ожидаемое значение:

$$\sigma_o = \sigma_{\text{расч}} \cdot K_c = 0,61 \cdot 0,68 = 0,41. \quad (6)$$

Найденное значение $\sigma_o = 0,41$ МПа по нашему расчёту сопоставимо с требованиями стандарта на ДСП. Согласно ГОСТ 10632-2014 при толщине плит 13-20 мм для марки P1 требуется прочность на отрыв не менее 0,24 МПа, для P2 – 0,35 МПа, для P3 – 0,45 МПа.

Близкое совпадение значений прочности на отрыв, полученных при моделировании, и значений, указанных в ГОСТ 10632-2014, свидетельствует о правомочности приведённых рассуждений и работоспособности принятого моделирования.

При обсуждении мы рассмотрели эффективность использования клея. Избыток расхода приводит к увеличению толщины клеевого шва и нарушает эффективную «работу» клеевого соединения. Что же касается O_c , то при расходе 9,0 мас.%, избыток клея проникает в предповерхностный слой соседней соединяемой древесной частицы в микроучасток, который рассматривается как микроучасток с отсутствием клея, и результат несколько сдвигается в направлении варианта двустороннего нанесения. Ограничения в увеличении интегрального расхода клея для повышения прочности те же, что и ограничения по увеличению общего числа клеевых соединений – экономические. Приемлемым считается суммарный расход до 8 мас.%, хотя по равномерности осмоления в отдельных точках возможно колебание $7,5 \pm 0,5$ мас.% в зависимости от качества форсунок и режима осмоления.

По соображениям эффективности расхода клея в стремлении обработать как можно большую поверхность древесных частиц клей (определяемый в технологических регламентах как связующее) разбавляют водой от товарной концентрации 65% до рабочей – 57%. При этом улучшаются условия воздушного распыления с использованием применяемых форсунок, но не учитывается поведение капель клея на поверхности древесных частиц (на подложке) после их нанесения.

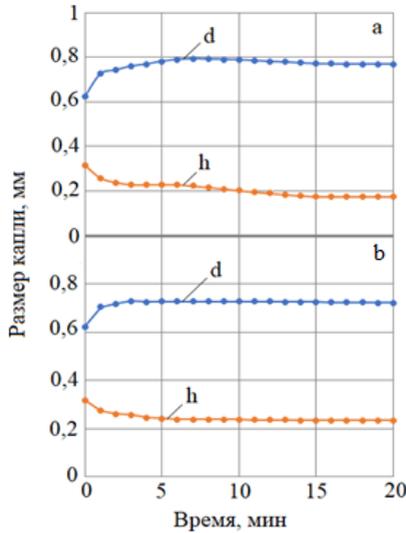


Рис. 2. Изменение размеров капли клея концентрацией 57% (а) и концентрацией 65,4% (b): d – диаметр капли; h – высота капли

Fig. 2. Change in the size of the glue drop concentration 57% (a) and concentration 65,4% (b): d – drop diameter; h – drop height

Рис. 2 иллюстрирует изменение размера отдельных капель на древесной подложке во времени. Восходящая ветвь кривой d (увеличение диаметра расплавающейся капли) отвечает процессу смачивания клеём поверхности подложки, а слабо выраженная нисходящая ветвь этой кривой, отражающая некоторое уменьшение диаметра капель, соответствует частичной впитываемости клея в структуру древесины и собственным превращениям клея, приводящим (кривая h на графике а) к уменьшению микроробъёма главным образом за счёт испарения растворителя (воды).

Повышенная по сравнению с рабочей концентрация клея 65,4% угнетает анализируемые процессы. Смачивание (кривая d на графике b) в силу снижения полярности раствора заканчивается раньше, но и впитывание клея в структуру древесины замедляется. Соответственно уменьшилось сокращение объёма капель. В целом нанесённые отдельные капли клея лучше выполняют свою функцию, но они при этом покрывают меньшую поверхность древесных частиц, что и обуславливает технологическую необходимость разбавления клея.

Однако вследствие ухода некоторого количества клея из зоны склеивания во внутреннюю структуру древесины и в результате этого частичного неуча-

ствия его в образовании клеевого соединения частиц эффективность использования клея понижается и требует мероприятий по снижению отрицательных факторов. Представляется целесообразным несколько повысить рабочую концентрацию клея для уменьшения впитываемости. Одновременно надо снизить вязкость для его лучшего распыления, например, созданием приемлемого теплового режима или путём введения в состав клея ПАВ (поверхностно-активных веществ). Возможны и другие технологические мероприятия. За идеальный межоперационный временной период от нанесения клея до горячего прессования можно считать промежуток Δt от начала смачивания до момента, когда начинается впитывание клея в структуру древесины, т. е. за максимумом участка смачивания. При этом возможно сохранение приблизительно 3...4% общей массы клея для участия в образовании материала.

Выводы.

1. Особенность образования композиционных материалов из измельчённых древесных частиц при минимальном нанесении синтетических олигомерных соединений (клея) заключается в неполном покрытии частиц каплями клея. При прилегании частиц друг к другу клеевые контакты возникают с образованием нормальных клеевых соединений (капли на поверхности одной частицы соединяются с каплями на другой), или капли на поверхности одной частицы соединяются непосредственно с древесной поверхностью другой частицы, образуя ослабленное клеевое соединение. Микроучастки в прилегающих частицах без клея образуют дефекты в структуре материала;

2. На моделях установлена эффективность используемого клея для двух типов клеевых соединений при нормативном и ниже, и выше нормативного расхода. Нормальное клеевое соединение примерно в 1,3...1,7 раза прочнее ослабленного. Нанесение избытка клея несколько повышает прочность ослабленного клеевого соединения благодаря частичному затеканию клея на совмещающуюся поверхность второй частицы, уменьшая тем самым ослабляющее проявление односторонне нанесённого клея;

3. Капля связующего до включения в клеевое соединение претерпевает физические превращения в связи со смачиваемостью подложки и впитываемостью в структуру древесины, что обуславливает в первом случае увеличение площади капель на подложке, а во втором – уменьшение клея в зоне образования клеевого соединения.

Высказано предположение, что учёт особенностей образования материала может быть использован для объяснения и повышения качества материала, в частности, нагреванием наносимого клея, изменением конструкции

форсунки, сокращением интервала от операции нанесения до операции горячего прессования или другими технологическими мероприятиями.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Кардашов Д.А. Синтетические клеи. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Химия, 1976. 504 с.

Клёсов А. Древесно-полимерные композиты: руководство. СПб.: НОТ, 2010. 736 с.

Леонович А.А. Физико-химические основы образования древесных плит: учебное пособие. Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 264 с.

Леонович А.А., Куликов В.Н., Замазий Л.В., Овсянников Е.А. Вероятностный анализ клеевых соединений в материалах из измельчённых частиц // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы IX Всерос. науч.-тех. конф. СПб.: СПбГЛТУ, 2024. С. 405–408.

Мартынов В.В., Мартынов П.В. Статистические методы обработки экспериментальных данных. Саратов: СГТУ, 2011. 186 с.

Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1971. 576 с.

Поздняков А.А. Прочность и упругость композиционных древесных материалов. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 138 с.

Угрюмов С.А., Цветков В.Е. Разработка методики определения смачивающей способности костры льна синтетическими олигомерами // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы между. науч.-тех. конф. Вологда: ВоГТУ, 2007. С. 7–9.

Чубинский А.Н., Кузнецова Е.Г., Коваленко И.В. Физико-химические основы процессов склеивания: учебное пособие. СПб.: СПбГЛТУ, 2016. 40 с.

References

Chubinskiy A.N., Kuznetsova E.G., Kovalenko I.V. Physico-chemical foundations of bonding processes: a textbook. St.Petersburg : SPbGLTU, 2016. 40 p. (In Russ.)

Kardashov D.A. Synthetic adhesives. 3rd edition, revised and add. Moscow: Chemistry, 1976. 504 p. (In Russ.)

Klesov A. Wood-polymer composites: a guide. St. Petersburg: NOT, 2010. 736 p. (In Russ.)

Leonovich A.A., Kulikov V.N., Zamaziy L.V., Ovsyannikov E.A. Probabilistic analysis of adhesive compounds in materials from crushed particles. *Forests of Russia: politics, industry, science, education*: materials of the IX All-Russian sci.-tech. conf. St. Petersburg, 2024, pp. 405–408. (In Russ.)

Leonovich A.A. Physico-chemical foundations of the formation of wood slabs: a textbook. Vologda: Infra-Engineering, 2023. 264 p. (In Russ.)

Martynov V.V., Martynov P.V. Statistical methods of processing experimental data. Saratov: SSTU, 2011. 186 p. (In Russ.)

Mitropolskiy A.K. Technique of statistical calculations. 2nd ed., reprint. and add. Moscow: Nauka, 1971. 576 p. (In Russ.)

Pozdnyakov A.A. Strength and elasticity of composite wood materials. Moscow: Lesn. prom-st, 1988. 138 p. (In Russ.)

Ugryumov S.A., Tsvetkov V.E. Development of a methodology for determining the wetting ability of flax bonfires with synthetic oligomers. *Actual problems of the development of the forest complex: mater. of the inter. sci.-tech. conf. Vologda, 2007*, pp. 7–9. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 05.12.2024

Леонович А.А., Замазий Л.В. Особенности древесных композиционных материалов с нарушением сплошности синтетической полимерной фазы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 252. С. 346–359. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.346-359

Рассматриваются особенности образования композиционных материалов из измельчённых древесных частиц при минимальном нанесении синтетических олигомерных соединений (клея) применительно к ДСП (древесно-стружечным плитам). Изучали процесс формирования клеевых соединений из древесных частиц, при котором при осмолении капли клея наносятся с неполным покрытием поверхности частиц. Определяли степень осмоления. Анализировали различные типы клеевых соединений, подразделяя их на нормальные, когда клей находится на микроучастках обеих склеиваемых поверхностей, и ослабленные, когда клей находится только на одной из них, а также на дефекты в структуре материала, возникающие при контакте микроучастков без участия клея. Оценены варианты образования типов клеевых соединений при наложении контактирующих частиц. Установлено, что Нс всего порядка 15%, а ослабленных – почти 50% от общей площади контактирующих частиц. Исследование показало, что прочность при отрыве нормальных клеевых соединений в 1,3...1,7 раза выше, чем у ослабленных, и что нанесение избытка клея может повысить прочность ослабленных соединений. Изучали процесс поведения капли клея на подложке в результате смачивания подложки и впитывания в структуру древесины. Высказано предположение о повышении качества такими приёмами, как нагревание наносимого клея, модификация конструкции форсунки, сокращение интервала между операциями осмоления и горячего прессования.

Ключевые слова: древесные композиционные материалы, полимерная фаза, дефекты клеевых соединений, степень осмоления, прочность типов клеевых соединений, эффективность клея.

Leonovich A.A., Zamaziy L.V. Features of wood composite materials with a violation of the continuity of the synthetic polymer phase. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2025, iss. 252, pp. 346–359 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.252.346-359

The features of the formation of composite materials from crushed wood particles with minimal application of synthetic oligomeric compounds (glue) in relation to chipboard (chipboard) are considered. The process of forming adhesive compounds from wood particles was studied, in which, during tarring, glue droplets are applied with an incomplete coating of the particle surface. The degree of tarring was determined. Various types of adhesive joints were analyzed, dividing them into normal ones when the glue is on the microparticles of both surfaces to be glued, and weakened joints when the glue is only on one of them, as well as defects in the structure of the material that occur when microparticles contact without glue. Variants of the formation of types of adhesive joints when applying contacting particles were evaluated and it was found that Hc is only about 15%, and weakened ones – almost 50% of the total area of the contacted particles. The study showed that the tear strength of normal adhesive joints is 1,3...1,7 times higher than weakened ones, and that applying an excess of glue can increase the strength of weakened joints. The process of the behavior of a drop of glue on a substrate as a result of wetting of the substrate and absorption into the wood structure was studied. It is suggested to improve the quality by such techniques as heating the applied glue, modifying the nozzle design, reducing the interval between tarring and hot pressing operations.

Keywords: wood composite materials, polymer phase, defects of adhesive joints, degree of tarring, strength of types of adhesive joints, adhesive efficiency.

ЛЕОНОВИЧ Адольф Ануфриевич – профессор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ. SPIN-код: 1378-5709.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: wood-plast@mail.ru

LEONOVICH Adolf A. – DSc (Technical), Professor, St.Petersburg State Forest Technical University, Honored Scientist of the Russian Federation. SPIN- code: 1378-5709.

194021. Institutsky per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: wood- plast@mail.ru

ЗАМАЗИЙ Леонид Витальевич – аспирант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: zamaziyl@gmail.com

ZAMAZIY Leonid V. – PhD student, St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institutsky per. 5. St. Petersburg. Russia, E-mail: zamaziyl@gmail.com