

УДК 647.817-14

***В.В. Тулейко, В.Б. Снопков***

Тулейко Валерий Валентинович родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Белорусский государственный технологический университет, младший научный сотрудник лаборатории огнезащиты строительных конструкций и материалов при кафедре технологии клееных материалов и плит БГТУ. Имеет 14 печатных работ в области исследования процессов тепломассопереноса при пьезотермическом воздействии на древесно-клеевые композиции и древесные слоистые материалы, а также разработки режимов их изготовления.



Снопков Василий Борисович родился в 1952 г., окончил в 1974 г. Белорусский технологический институт, кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии клееных материалов и плит Белорусского государственного технологического университета. Имеет 125 печатных работ в области технологии древесных плит и пластиков, гидротермической обработки и защиты древесины.

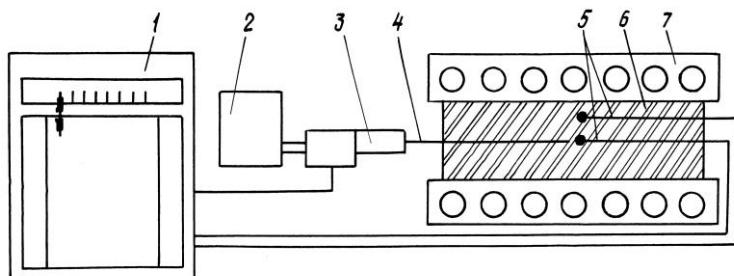
**ПРЕССОВАНИЕ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ  
УВЕЛИЧЕННОЙ ТОЛЩИНЫ****1. ЯВЛЕНИЯ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА  
В ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНОМ БРИКЕТЕ**

Предложен механизм прогрева и перемещения влаги в древесностружечном брикете увеличенной толщины при горячем прессовании.

плиты, прессование, древесностружечный брикет, тепло- и массоперенос.

Древесностружечные плиты (ДСтП) увеличенной толщины (25 мм и более) – ценный конструкционный материал, успешно применяемый в производстве мебели и строительстве. В последнее время в Республике Беларусь спрос на такие плиты значительно возрастает и удовлетворяется главным образом за счет импорта. Все большую актуальность приобретает необходимость организации собственного производства на базе существующих линий по изготовлению ДСтП. Главным препятствием при этом является отсутствие отработанных режимов горячего прессования, позволяющих получать качественную продукцию с минимальными затратами сырья и энергии.

Горячее прессование должно обеспечивать решение следующих задач: сближение древесных частиц и обеспечение их контакта на время, не-



обходимое для образования клеевых соединений; создание условий для быстрого и полного отверждения связующего [1–3]. Первая из указанных задач решается при использовании такого удельного давления прессования, которое обеспечивало быстрое смыкание нагревательных плит до толщины дистанционных планок и удерживало их в этом положении на протяжении всего цикла прессования. Для успешного решения второй задачи необходимо обеспечить прогрев всего объема стружечного брикета до температуры, достаточной для протекания реакции отверждения связующего, испарения избыточной влаги и удаления парогазовой смеси через торцы и пласти брикета. Учитывая, что объектом исследований является стружечный брикет увеличенной толщины, обеспечить его эффективный прогрев достаточно сложно.

Для получения достоверных данных необходимо изучить явления тепло- и массопереноса, происходящие в древесностружечном брикете во время прессования, и использовать это при разработке технологического режима. Именно такая цель и была поставлена в данной работе.

Для изготовления ДСтП в лабораторных условиях применяли стружку, полученную на стружечных станках ДС-7 в промышленных условиях цеха ДСтП АО «Мостовдрев». Наружные слои древесностружечных брикетов формировали из стружки средней толщины ( $\approx 0,1$  мм), внутренний – из стружки толщиной до 0,8 мм. В качестве связующего применяли карбамидоформальдегидную смолу марки КФ-НП (ТУ РБ 00276267-390–94). В качестве отвердителя использовали водный раствор хлористого

Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения температуры и избыточного давления парогазовой смеси:  
1 – потенциометр, 2 – источник напряжения постоянного тока,  
3 – датчик давления, 4 – капилляр, 5 – термопара, 6 – стружечный брикет, 7 – нагревательные плиты пресса

аммония (ГОСТ 2210–73) концентрацией 20 %. Толщина готовых плит составляла 28 мм.

Для измерения температуры внутри брикета использовали хромель-копелевые термоэлектрические преобразователи (термопары) типа ТХК. Измерение давления парогазовой смеси осуществляли посредством капилляра, представляющего собой трубку из нержавеющей стали с внутренним и наружным диаметрами соответственно 1,0 и 2,0 мм. Для преобразования давления смеси в электрический сигнал применяли датчик давления марки

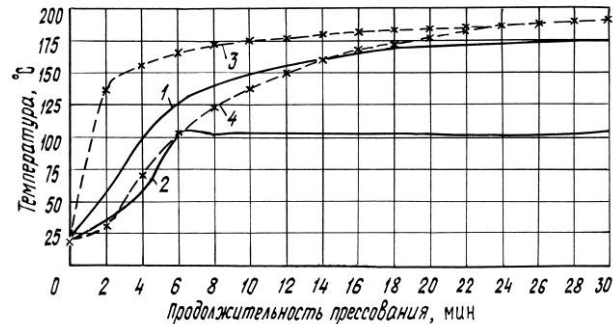


Рис. 2. Зависимость температуры древесностружечного брикета в процессе обработки от продолжительности прессования: 1, 3 – наружный слой, 2, 4 – внутренний слой; 1, 2 – экспериментальные данные, 3, 4 – данные, полученные расчетным путем

ДМ 5007У2. Схема установки для измерения показателей (температура, давление) парогазовой смеси внутри древесностружечного брикета в условиях горячего прессования представлена на рис. 1. Порядок работы установки следующий. При формировании древесностружечного брикета в него закладывали капилляр (4) и термодатчики (5). Сформированный брикет помещали между нагревательными плитами (7) лабораторного пресса. Во время прессования термодатчики (5) и датчик давления (3) передавали сигналы на потенциометр (1). Данные выводили на самописец.

Влажность внутри древесностружечного брикета определяли сушильно-весовым методом. Для этого в заранее установленное время прессование прекращали и из брикета отбирали образцы для определения влажности.

На рис. 2 показаны графики изменения температуры отдельных слоев стружечного брикета во время прессования. Там же нанесены кривые 3 и 4, которые получены расчетным путем и показывают изменение температуры наружных и внутреннего слоев в случае, если их прогрев происходил за счет теплопроводности и без изменения агрегатного состояния воды.

Как видно на рис. 2, температура наружного слоя (кривая 1) в первый период быстро возрастает: через 4 мин после начала прессования она достигает 100 °С, через 6 мин – 125 °С. Дальнейший прирост температуры менее значителен: за следующие 14 мин (с 6-й по 20-ю минуту) она увеличивается со 125 до 174 °С, т. е. примерно на 50 °С. На кривой 2

7

изменения температуры внутреннего слоя можно выделить три периода. В первом периоде (0 ... 4 мин) температура изменяется со сравнительно небольшой скоростью по закону, близкому к линейному. За 4 мин она повышается на 20 °С (с 23 до 53 °С). Во втором периоде температура растет с большей скоростью. Так, за следующие 3 мин она увеличивается до 105 ... 106 °С. Наконец, в третьем периоде, который начинается через 7 мин после начала прессования, температура стабилизируется на отметке 103 °С, на которой она удерживается длительное время, и только на 28-й минуте начинает медленно возрастать.

Сопоставим изменение температуры стружечного брикета во времени с аналогичными графиками, полученными для влажности. На рис. 3

показано изменение влажности в середине и около кромки стружечного брикета. Анализируя ход кривых, отметим следующее. Наружный слой (кривая 1), содержащий 21 % влаги, уже через 2 мин после начала прессования высыхает до 10 %. К 8-й минуте влажность достигает 2 %, после чего остается неизменной до конца опыта.

Влажность внутреннего слоя (кривая 2) остается на начальном уровне (17 %) первые 2 мин. Далее она быстро возрастает, достигая к периоду 6 ... 9 мин максимальных значений (53 ... 55 %). После 9 мин происходит быстрое падение влажности до 8 % (16 мин). Дальнейшее снижение имеет плавный, растянутый во времени характер. К 30-й минуте влажность внутреннего слоя становится равной средней влажности, т. е. 2 %.

Рис. 3. Зависимость влажности древесностружечного брикета в процесс обработки от продолжительности прессования: 1, 4 – наружный слой, 2, 5 – внутренний слой, 3, 6 – промежуточный слой

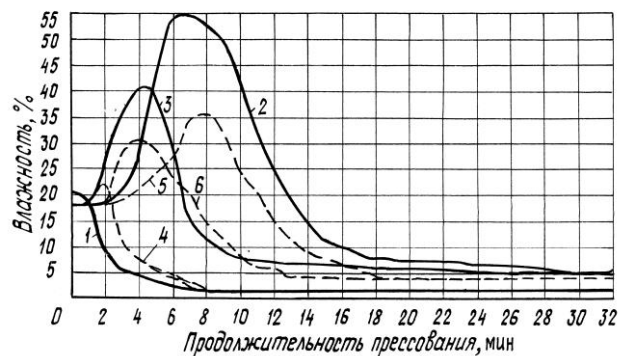


Рис. 4. Зависимость давления парогазовой смеси в древесностружечном брикете в процессе обработки от продолжительности прессования



Совершенно аналогично, только с небольшим сдвигом во времени в сторону начала прессования, происходит изменение влажности промежуточного слоя (кривая 3). Различия заключаются в следующем: возрастание влажности промежуточного слоя начинается раньше – через 1 мин после начала прессования. Максимум влажности (40 ... 41 %) достигается к 4 ... 5 мин. Резкое уменьшение этого показателя происходит в период 5 ... 10 мин, после этого он медленно изменяется с 8 до 5 % (10 ... 28 мин).

На рис. 4 представлен график изменения давления парогазовой смеси внутри древесностружечного брикета во время горячего прессования. Кривая имеет два ярко выраженных максимума: первый отмечен на 1-й минуте (0,109 МПа) второй – после 8-й минуты (0,111 МПа). Начиная с 9-й минуты давление внутри древесностружечного брикета уменьшается и на 15-й минуте прессования стабилизируется на уровне, близком к 0,101 МПа. Очевидно, что первое повышение давления происходит в результате защемления воздуха при уплотнении древесностружечного брикета, второе, по нашему мнению, является следствием перемещения парогазовой смеси, образующейся при прессовании.

Сопоставляя изменение температуры и влажности отдельных слоев стружечного брикета, а также давления парогазовой смеси внутри него, предлагаем следующее объяснение процессов, происходящих во время прессования. Естественно, что наружные слои брикета, находясь в контакте с плитами пресса, быстро нагреваются. Однако сравнение кривых 1 и 3 (см. рис. 2) говорит о том, что прогрев идет медленнее, чем можно было бы ожидать, исходя из теоретических посылок. Этому может быть только одно объяснение: по мере того, как все более глубокие слои брикета прогреваются до температуры 100 ... 105 °С, начинается переход имеющейся в них влаги из жидкого состояния в газообразное. На это расходуется значительная часть тепловой энергии, получаемой от плит пресса, поэтому прогрев наружных слоев происходит более медленно. Например, слой, удаленный от поверхности брикета на расстояние 2 мм, нагревается до температуры 100 °С за 4 мин. Согласно расчетам, этой температуры он должен был достигнуть через 40 с после начала прессования.

Следствие происходящего процесса парообразования – избыточное давление водяного пара в наружных слоях брикета. Возникший градиент давления является движущей силой молярного влагопереноса из наружных слоев в более удаленные от нагревательных плит пресса по капиллярной системе брикета. В результате этого уменьшение влажности наружных слоев (кривая 1, рис. 3) на 1 ... 3-й минуте прессования сопровождается увлажнением промежуточного слоя (кривая 3). Немного позже (4 ... 7 мин) влажность промежуточного слоя снижается, а внутреннего – возрастает. Это значит, что влага перемещается в более глубокие слои брикета. Подтверждением сказанного является установленное нами увеличение давления парогазовой смеси внутри древесностружечного брикета примерно в этот же период прессования: с 5-й по 8-ю минуту (рис. 4).

Молярный влагоперенос оказывает влияние на изменение температуры внутреннего слоя – кривая 2 (см. рис. 2). На протяжении первых 3-х минут цикла прессования, когда влажность внутреннего слоя не изменяется и сохраняется на уровне 17 ... 19 %, температура этого слоя увеличивается медленно и по линейному закону. Происходит это за счет перемещения тепла в брикете посредством теплопроводности благодаря наличию температурного градиента. Сравнение кривых 2 и 4 (рис. 2) говорит о том, что зафиксированная в опыте скорость изменения температуры меньше рассчитанной.

Как уже указывалось выше, причиной этого является расходование части поступающей тепловой энергии на парообразование в наружных слоях брикета. С 3-й минуты цикла прессования, влажность внутреннего слоя начинает быстро возрастать. Ранее это явление объяснялось переносом водяного пара из наружных слоев во внутренний. Это подтверждается тем, что температура внутреннего слоя с 3-й по 6-ю минуту увеличивается с большей скоростью, чем в первые 3 мин. Можно предположить, что поступающий пар, соприкасаясь с более холодной древесиной, конденсируется и способствует быстрому прогреву внутреннего слоя. После 6-й минуты температура внутреннего слоя стабилизируется на уровне 103 °С. Вероятно, именно эта температура соответствует фазовому переходу влаги из жидкого состояния в пар во внутреннем слое брикета и удерживается на этом уровне до тех пор, пока переход не завершится. Стабилизация температуры свидетельствует также о том, что испарение влаги происходит параллельно с удалением из брикета образующегося пара.

Необходимо отметить, что характер изменения влажности отдельных слоев (рис. 3) одинаков, независимо от места их расположения по площади стружечного брикета. В частности, в обоих случаях максимум влажности достигается одновременно: у промежуточных слоев – через 4 мин после начала прессования, у внутреннего – через 7 ... 8 мин. При этом максимальная влажность слоев в середине брикета выше, чем около его края: у промежуточных слоев – соответственно 41 и 31 %, у внутреннего – 55 и 36 %. Такое различие косвенно свидетельствует о том, что в ходе прессования давление пара в середине брикета выше, чем около края, т. е. имеет место градиент давления, направленный от кромки к середине брикета. Он должен вызывать молярный влагоперенос в направлении, параллельном пласти брикета, и удаление пара через его кромки, что имеет место в действительности.

Продолжая анализ рис. 3, обнаруживаем интересный факт. Через некоторое время после начала прессования влажность наружных и промежуточных слоев около края брикета становится выше, чем в середине. У наружных слоев это происходит практически сразу, и кривая 4 на всем своем протяжении располагается выше кривой 1; у промежуточных слоев – на 6-й минуте цикла прессования (пересечение кривых 3 и 6). Однако еще некоторое время спустя у рассматриваемых слоев происходит выравнивание влажности по площади брикета: наружные слои – на 6-й минуте прессования,

промежуточные – на 15-й. Иначе выглядит картина для внутреннего слоя. Его влажность в середине брикета стабильно остается более высокой, чем около кромки, вплоть до 15-й минуты, когда происходит выравнивание. Объяснить полученные результаты можно следующим образом. Избыточное давление, возникающее в более глубоких слоях стружечного брикета по мере их прогрева до температуры 103 °С, вызывает перемещение водяного пара в двух направлениях: в глубь брикета (что вызывает быстрый прогрев и повышение влажности внутреннего слоя) и в направлении от середины к краям (что способствует удалению парогазовой смеси из брикета и снижению его средней влажности).

Подводя итог выполненным исследованиям, считаем возможным сделать следующее заключение о процессах тепло- и массопереноса в древесностружечном брикете во время прессования. Первоначальный прогрев древесностружечного брикета происходит за счет теплопроводности. По мере того, как все более глубокие его слои нагреваются до температуры 100 ... 105 °С, начинается фазовый переход имеющейся в нем влаги из жидкого состояния в газообразное. При этом в зоне парообразования возникает избыточное давление, которое вызывает перемещение парогазовой смеси в двух направлениях: в глубь и от середины к краям брикета.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Отлев И.А.* Интенсификация производства древесностружечных плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 192 с.
2. *Соснин М.И., Климова М.И.* Физические основы прессования древесностружечных плит. – Новосибирск: Наука, 1981. – 190 с.
3. *Шварцман Г.М., Щедро Д.А.* Производство древесностружечных плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 320 с.

Белорусский государственный  
технологический университет

Поступила 28.10.2000 г.

*V.V. Tuleiko, V.B. Snopkov*

### **Compression of Particle Boards of Enlarged Thickness.**

#### **1. Heat and Mass Transfer in Wood-particle Briquet**

The mechanism of heat penetration and inner moisture drifting is suggested for the wood-particle briquet of the enlarged thickness by the heat compression.

---