

А. А. Барташевич, Ф. В. Буйвидович, В. Я. Руденко

ПОГРЕШНОСТЬ ДОПУЩЕНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НАГРЕВА ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ПРИ ФАНЕРОВАНИИ

Для осуществления процесса горячего прессования при фанеровании древесностружечных плит необходимо знать изменение температуры в различных точках щита во времени, так как это один из наиболее важных факторов, влияющих на качественные показатели щитовых деталей и длительность процесса прессования.

В производственной практике замер истинной температуры в интересующей точке щита (например, в клеевом слое) непосредственно не производится. Продолжительность горячего прессования устанавливается косвенным путем — по температуре плит пресса. В этом случае пользуются эмпирическими данными, полученными в результате опытов или расчетным методом определения температуры.

При решении задач нагрева расчетные методы основаны на допущении ряда условий. В частности, при горячем прессовании в прессах (двусторонний симметричный нагрев, условия первого рода) делаются следующие допущения:

- 1) $t_{(x, 0)} = t_0 = \text{const}$;

- 2) $t_{(+R, 0)} = t_{\text{пр}} = \text{const}$, $t_{(-R, 0)} = t_{\text{пр}} = \text{const}$;

- 3) щит рассматривается как неограниченная пластина и считается, что процесс нагрева происходит без выделения и отдачи тепла;

- 4) не учитывается изменение тепловых характеристик материала из-за изменения его плотности во время прессования, а также изменение толщины щита.

Здесь $t_{(x, 0)}$ — температура в любой точке сечения щита в момент контакта его с плитами пресса;

t_0 — начальная температура щита;

$t_{(-R, 0)}$, $t_{(+R, 0)}$ — температура на поверхности щита в момент контакта его с плитами пресса. Начало координат принято в середине толщины щита, R — половина толщины щита.

В действительности принимаемые допущения с той или иной степенью точности лишь приближаются к реальным условиям.

Настоящая работа посвящена выявлению величин погрешностей принимаемых допущений по отношению к реальным условиям

и установлению влияния этих величин при решении задач нагрева в процессе фанерования древесностружечных плит.

Допущение первое ($t(x, 0) = t_0 = \text{const}$) при соблюдении режима фанерования практически соответствует реальному условию, так как рекомендуемого времени выдержки заготовок в цехе перед прессованием всегда достаточно для выравнивания температуры по их сечению. Это условие соблюдалось и в процессе проведения опытов, поэтому в дальнейшем и имеется в виду полное соответствие первого допущения реальным условиям.

Второе допущение при фанеровании щитов в многопролетных прессах может иметь значительные отклонения от реальных условий, особенно в случаях, если загрузка пресса производится вручную. При фанеровании в однопролетных прессах это допущение ближе соответствует реальным условиям.

При фанеровании расчетное время прессования принято считать с момента установления давления. Однако нагрев пакета* начинается раньше, с момента загрузки его в пресс. Продолжительность времени между загрузкой первого пакета в многопролетный пресс и установлением давления может быть значительной. При этом поверхности загружаемого в пресс пакета находятся также в неодинаковых условиях: нижняя, контактирующая с плитой пресса, нагревается быстро, а верхняя до момента смыкания плит пресса нагревается незначительно (только за счет конвекции). Кроме того, в неодинаковых условиях находится и нижняя поверхность пакета, так как контакт ее с плитой пресса до момента смыкания всех плит имеет место не по всей площади.

Второе допущение не соответствует реальным условиям и по той причине, что щит не имеет непосредственного контакта с плитой пресса, так как он помещается между прокладками.

Наконец, несоответствие этого допущения в значительной мере может иметь место из-за непостоянства температуры плит пресса. Во-первых, оно обусловлено неравномерностью температуры как по площади одной плиты, так и между отдельными плитами; во-вторых, тем, что температура плит пресса несколько падает в результате загрузки в пресс холодных щитов.

Третье допущение основано на том, что длина и ширина щита значительно превосходят его толщину, т. е. не учитывается влияние кромок. С увеличением толщины щита или с уменьшением его площади погрешность третьего допущения будет относительно увеличиваться.

Четвертое допущение не учитывает упрессовки, происходящей во время прессования.

Таким образом, видно, что определение температуры нагрева

* Под прессуемым пакетом понимается фанеруемый щит вместе с прокладками, под щитом — заготовка из древесностружечной плиты вместе с нанесенным клеем и облицовочными листами шпона, но без прокладок.

в процессе фанерования расчетным путем ведется с большим числом допущений, не соответствующих реальным условиям. При применении быстроотверждающихся клеев и интенсификации процесса фанерования необходимо знать, в какой степени полученное расчетное значение температуры или времени прессования может быть близким к истинному и как существенно влияние этих несоответствий, так как технологический процесс ведется по расчетным значениям, а результат процесса зависит только от истинных значений, которые остаются неизвестными.

Для факторов, значения которых непосредственно входят в расчетные формулы определения температуры, достаточно установить величину погрешности их по отношению к истинным значениям. Тогда расчетным методом можно определить степень влияния этих погрешностей. К таким факторам относятся начальная температура плит пресса. Для факторов, которые не входят в формулы расчета температуры непосредственно влияние несоответствия принимаемых допущений реальным условиям можно установить на основании экспериментов. Так, наличие прокладок и загрузка холодных пакетов в пресс приводят к тому, что температура на поверхности щита является нелинейной функцией времени и установление распределения температуры по толщине щита должно вестись опять с допущениями. С этим же сталкиваемся и при определении влияния размеров щита и происходящей во времени его упрессовки.

Наблюдения и экспериментальные исследования ставили целью установить неравномерность температуры по площади плит пресса и определить скорость нагрева в различных точках щита экспериментальным путем и сравнить ее с полученными расчетными значениями.

Основные опыты проводились в лабораторных и производственных условиях Молодечненской мебельной фабрики. Обследования проводились и на многих других мебельных предприятиях.

При фанеровании использовались трехслойные древесностружечные плиты плоского прессования средней плотностью $0,7 \text{ г/см}^3$ и влажностью 7%. Фанерование производилось строганым шпоном дуба толщиной 0,8 мм при расходе клея 180 г/м^2 . Толщина нефанерованных плит принималась такой, чтобы толщина фанерованных щитов была равной 20 мм. Прокладки применялись дюралюминевые толщиной 2,5 мм.

Измерение температуры во всех случаях производилось медь-константановыми термомпарами. Заложение спая при определении неравномерности нагрева по площади щитов делалось на минимальном расстоянии от кромки $l_{\min} = 10 \text{ мм}$, для того чтобы сохранить условие $l_{\min} \geq 40 \div 50d$ (d — диаметр проволоки) и избежать, таким образом, погрешности измерений.

Замеры температуры плит прессов типа П713 А и П713 Б показали следующее. Неравномерность температуры по площади

одной и той же плиты колеблется в широких пределах. При этом в крайних точках температура замерялась на расстоянии 50 мм от кромки (крайняя зона плиты пресса такой ширины является уже не рабочей).

В одно и то же время температура в пределах площади одной плиты колеблется от 4 до 15°C, средняя величина колебания около 8°C. В пределах всего пресса температура колеблется в еще больших пределах — до 20—25°C.

Значительные колебания температуры плит пресса происходят по ряду причин, основные из которых — изменение параметров пара на входе и выходе и образование «пробок» конденсата.

Большие колебания температуры плит пресса наблюдаются и во времени. На прессах указанных типов автоматическое регулирование расхода пара отсутствует. При ручном же регулировании, которое осуществляется редукционным клапаном в процессе работы, расход пара непостоянный. Так, прессовщик перед началом работы дает максимальный расход пара с целью быстрого прогрева плит. По истечении некоторого времени расход пара уменьшается. В дальнейшем в процессе работы, при перерывах в работе расход пара все время меняется. В результате отсутствия точного регулирования температура в одной и той же точке плиты может колебаться в пределах 3—10°C за время одной запрессовки и до 15—22°C в течение смены.

С учетом колебания температуры по площади плит и в одной и той же точке плиты во времени неравномерность ее в течение смены может достигать в одном прессе 35—40°C.

В производственной практике контроль температуры плит пресса ведется плохо. Системы автоматического контроля нередко выходят из строя и на многих прессах не работают. К тому же они показывают температуру только верхней плиты пресса и практически в одной точке. Контроль температуры по ртутному термометру ведется редко, а точность измерения низкая. В этом случае температура замеряется также в одной точке плиты.

Опыты, проведенные Ю. М. Васиным на ММСК-1 по измерению температуры плит однопролетного пресса «Simi», показали, что и в прессах данного типа неравномерность температуры достигает больших значений — до 25°C. Теплоносителем в данном прессе является масло, нагрев его электрический.

Большая неравномерность температуры плит пресса приводит к тому, что на практике оптимальное время прессования не соблюдается. На предприятиях, исходя из опыта работы, время прессования принимают, как правило, большим, чем рекомендуемое.

Для примера рассмотрим, как будет изменяться минимально необходимое время прессования при колебании температуры плит пресса. Температура клевого слоя, при которой завершается окончательный период формирования клевого соединения, зависит от температуры плит пресса. Например, для клея М-60 при фанеро-

вании шпоном толщиной 1 мм эта зависимость, по данным А. Н. Михайлова и А. М. Воронцова, выглядит следующим образом: температура плит пресса — 105, 120, 135, 150°C; температура завершения периода формирования клеевого соединения — 91, 102, 109, 113°C.

Примем перепад температуры 30°C ($t_{\min} = 105^\circ\text{C}$, $t_{\max} = 135^\circ\text{C}$).

Время, необходимое для нагрева клеевого соединения до температуры 91°C (при $t_{\text{пр}} = 105^\circ\text{C}$) и 109°C (при $t_{\text{пр}} = 135^\circ\text{C}$), определим из уравнения:

$$\tau = \frac{F_0 \cdot 2R}{a} r, \quad (1)$$

где F_0 — критерий Фурье;

$2R$ — толщина щита, м;

a — коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{ч}$.

Для определения критерия Фурье определяем безразмерную температуру Θ :

$$\Theta = \frac{t_{\text{пр}} - t_{\text{кл. сл}}}{t_{\text{пр}} - t_0}, \quad (2)$$

где t_0 — начальная температура щита, примем $t_0 = 20^\circ\text{C}$.

Тогда находим

$$\Theta_1 = 0,165 \quad (\text{при } t_{\text{пр}} = 105^\circ\text{C});$$

$$\Theta_2 = 0,226 \quad (\text{при } t_{\text{пр}} = 135^\circ\text{C}).$$

По кривым $\Theta = f\left(\frac{x}{R}, F_0\right)$ находим значения F_0 при $\frac{x}{R} = 0,9$.

Значения коэффициента a берем из литературы [4]:

$$F_{01} = 0,12; F_{02} = 0,062.$$

Тогда $\tau_1 = 2,10$ мин; $\tau_2 = 1,10$ мин.

Аналогичным образом при колебании температуры плит пресса от 105 до 120°C получим, что $\tau_1 = 2,10$ мин; $\tau_2 = 1,76$ мин.

Таким образом, видно, что колебание температуры плит пресса оказывает существенное влияние на время прессования при фанеровании.

Результаты опытов по выявлению влияния дюралюминиевых прокладок и загрузки холодного пакета в пресс на скорость прогрева клеевого слоя показаны на рис. 1. Следует иметь в виду, что при проведении опытов на скорость нагрева оказывает некоторое влияние изменение свойств материала во время прессования от упрессовки, что будет рассмотрено ниже.

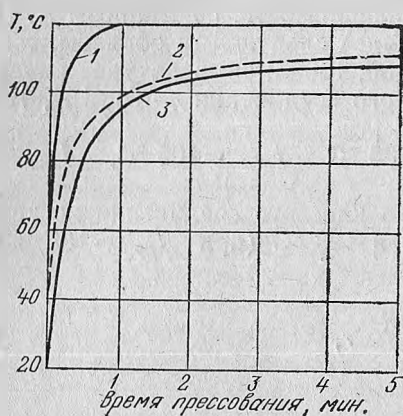


Рис. 1. Кривые роста температур.

1 — на поверхности контакта прокладки и фанеруемого щита; 2 — в клеевом слое (расчетная); 3 — в клеевом слое (опытная).

ра в клеевом слое ниже расчетной, особенно в первое время. Поэтому время прессования, необходимое для завершения формирования клеевого соединения, будет несколько большим, чем расчетное.

Были проведены опыты по определению степени нагрева клевого слоя за время от загрузки до начала установления давления. Замер температуры производился со стороны пакета, лежащего на плите пресса. При ручной загрузке многопролетных прессов нахождение пакетов в прессе до установления давления неизбежно. При длительной выдержке это может привести к появлению брака. Согласно рекомендуемым режимам, время от загрузки первого пакета до установления давления не должно превышать 90 сек.

При фанеровании в однопролетных прессах и в многопролетных с механизированной загрузкой опасности появления брака по этой причине нет. Поэтому обследовались только многопролетные прессы с ручной загрузкой, которые еще широко применяются.

В результате обследования многих предприятий установлено, что время выдержки пакетов в прессе до установления давления колеблется в широких пределах. Так, при загрузке всех пакетов без сдвига прокладок, облицовочного шпона или фанеруемых заготовок с момента загрузки первого пакета до установления давления время колеблется в пределах 45—70 сек. Нередки случаи, когда во время загрузки происходит сдвиг прокладок, шпона или заготовок и требуется их устранение. Тогда время нахождения первого загруженного пакета в прессе до установления давления

Данные рис. 1 приведены для начальной температуры плит пресса 120°C при фанеровании стружечной плиты шпоном толщиной 0,8 мм. Замеры температуры производились с верхней стороны пакета, не лежащей на плите пресса.

Из рис. 1 видно, что температура на поверхности щита в начальное время прессования ниже, чем принимается по допущению, так как требуется некоторое время на прогрев прокладок, а температура плит пресса несколько снижается от загрузки холодного пакета. Принимаемое допущение соответствует реальному условию примерно через минуту. В результате этого фактическая температу-

колеблется в пределах до 90 сек, а иногда и больше (в отдельных случаях до 120 сек).

При проведении опытов нагрев клеевого слоя определялся для самых неблагоприятных случаев, т. е. когда щит контактировал с прокладкой, а прокладка — с плитой прессы. На рис. 2 приведены кривые нагрева при фанеровании древесностружечной плиты строганным шпоном дуба толщиной 0,8 мм при температуре плит прессы 120 °С.

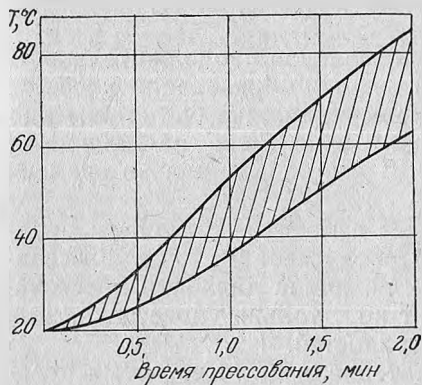


Рис. 2. Изменение температуры в клеевом слое до начала прессования в зависимости от времени нахождения пакета в прессе.

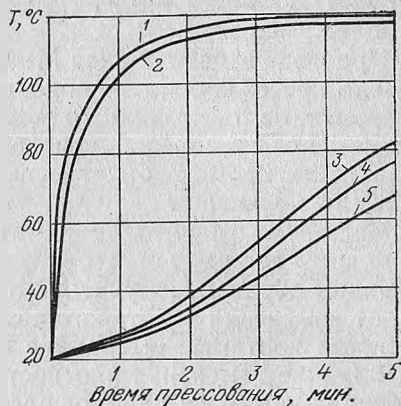


Рис. 3. Кривые нагрева клеевого слоя (1, 2) и середины щита (3, 4, 5): 1, 3 — на расстоянии 150 мм от кромки; 4—50 мм и 2, 5—10 мм.

Скорость нагрева была непостоянной при проведении различных опытов, так как контакт пакета с плитой прессы в разных случаях неодинаков. На рис. 2 заштрихованное поле характеризует возможные наиболее вероятные скорости нагрева.

При известных температурах завершения подготовительного и окончательного периодов формирования клеевого соединения можно судить о продолжительности допускаемого времени между загрузкой первого пакета и установлением давления.

Нагрев щитов в прессе до установления давления несколько сокращает требуемое время прессования, так как верхняя сторона щита за время подъема давления также несколько нагревается. Сокращение требуемого времени прессования из-за нагрева щита во время подъема давления сравнимо с увеличением его в результате загрузки холодного пакета и наличия прокладок. По величине эти значения небольшие и обычно взаимокompенсируются.

На рис. 3 приведены кривые нагрева клеевого слоя и середины щита на различном расстоянии от кромки. При проведении опытов температура плит прессы была равной 130 °С, толщина облицовочного шпона 0,8 мм, толщина щита 20 мм. Температура замерялась

на расстоянии 10, 50 и 150 мм от кромки. При удалении свыше 150 мм от кромки влияние последней практически не сказывается.

На рис. 3 видно, что скорость нагрева уменьшается по мере приближения к поверхности кромки и по мере удаления от поверхности нагревателя. Максимальная разность температур достигается быстрее с уменьшением расстояния от поверхности нагревателя. На рис. 3 данные приведены для периода нестационарного теплообмена. По мере приближения к стационарному теплообмену (при $\tau > 5$ мин) разность температур в периферийной и центральной зонах щита уменьшается.

При использовании клея М-60 минимальная продолжительность времени прессования, необходимого для образования клеевого соединения на расстоянии 10 мм от кромки, должна быть примерно на 9 сек больше, чем в центральной зоне. Если расстояние от поверхности кромок будет меньше 10 мм, то разница во времени будет еще большей.

Четвертое допущение не учитывает изменения плотности материала щита во время прессования, которое имеет место от упрессовки. Таким образом, не учитывается и величина давления прессования, от изменения которого зависит не только упрессовка, но и плотность контакта на границе поверхностей.

Влияние изменения плотности материала щита во время прессования покажем на примере расчета температуры в середине щита при прессовании под давлением 10 кгс/см^2 и при температуре плит пресса 120°C . Плотность нефанерованной плиты составляла $0,7 \text{ г/см}^3$, начальная толщина щита — 20 мм и температура — 20°C , время прессования 5 мин.

1. Расчет без учета изменения плотности материала.

Определяем среднюю расчетную температуру щита за время 5 мин.

$$\bar{t}_{\text{расч}} = \frac{t_0 + \bar{t}_{(\tau)}}{2}, \quad (3)$$

где t_0 — начальная температура щита;

$\bar{t}_{(\tau)}$ — средняя текущая температура щита при времени прессования $\tau = 5$ мин.

$$\bar{t}_{(\tau)} = \frac{1}{R} \int_0^R t_{(x, \tau)} \cdot dx. \quad (4)$$

Решение уравнения (4) дается А. В. Лыковым [2], графо-аналитический метод нахождения средней температуры — К. Ф. Севастьяновым [3]. Этим методом мы и воспользуемся. Коэффициент температуропроводности a при определении $\bar{t}_{(\tau)}$ берем по данным Г. М. Шварцмана [4] при среднем значении температуры, найденной опытным путем $\bar{t}_{\text{он}} = 53,5^\circ\text{C}$.

Тогда находим

$$\bar{t}_{(\tau)} = 78^{\circ}\text{C}; \bar{t}_{\text{расч}} = \frac{20+78}{2} = 49^{\circ}\text{C}.$$

Так как опытное значение средней температуры было взято близким к получаемому расчетному, то перерасчет значения $\bar{t}_{\text{расч}}$ не производим. Заметим, что среднюю текущую температуру по сечению нередко определяют по формуле:

$$\bar{t}_{(\tau)} = \frac{t_{\text{п}} + t_{\text{ц}}}{2}, \quad (5)$$

где $t_{\text{п}}$, $t_{\text{ц}}$ — соответственно текущая температура на поверхности и в середине щита.

Однако определение средней температуры по формуле (5) недостаточно точное, так как распределение температуры по толщине щита имеет нелинейный характер.

Температуру в середине щита при времени прессования $\tau = 5$ мин, определяем по формуле:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{пр}} - \theta(t_{\text{пр}} - t_0). \quad (6)$$

Безразмерную температуру определяем графически [2]. Коэффициент температуропроводности плиты берем по литературным данным [4] при $\nu = 0,7$ г/см³ и при $t_{\text{расч}} = 49^{\circ}\text{C}$. Он равен $a = 10^{-4}$ м²/ч.

В результате расчетов находим:

$$Fo = 0,25; \theta = 0,7; t_{\text{ц}} = 50^{\circ}\text{C}.$$

2. Расчет с учетом изменения плотности материала.

Примем то же значение средней расчетной температуры $t_{\text{расч}} = 49^{\circ}\text{C}$. Текущие значения толщины и плотности щита находим на основании наших данных [1]. Текущие значения толщины и плотности щита по окончании подъема давления равны соответственно:

$$2R_{(\tau=0)} = 19,56 \text{ мм}; \gamma_{(\tau=0)} = 0,716 \text{ г/см}^3;$$

при времени прессования $\tau = 5$ мин —

$$2R_{(\tau=5)} = 19,22 \text{ мм}; \gamma_{(\tau=5)} = 0,728 \text{ г/см}^3.$$

Расчетные средние значения толщины и плотности щита будут равны:

$$2R_{\text{расч}} = 19,39 \text{ мм}; \gamma_{\text{расч}} = 0,722 \text{ г/см}^3.$$

Коэффициент температуропроводности примем для значений

$$\bar{t}_{\text{расч}} = 49^\circ\text{C} \text{ и } \gamma_{\text{расч}} = 0,722 \text{ г/см}^3,$$

$$a = 3,03 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{ч}.$$

В результате расчетов находим:

$$F_0 = 0,269; \theta = 0,665; t_{\text{ц}} = 53,5^\circ\text{C}.$$

Таким образом, видно, что при времени прессования $\tau = 5$ мин температура в середине щита, найденная без учета упрессовки, равна 50°C , а с учетом упрессовки — $53,5^\circ\text{C}$. При времени прессования $\tau = 3$ мин эти значения будут соответственно равны $33,9$ и $35,7^\circ\text{C}$.

В проведенных расчетах коэффициент температуропроводности определялся как функция линейного изменения средней температуры щита во времени. В действительности, средняя температура является нелинейной функцией времени, что также будет иметь некоторое значение, хотя и намного меньшее по сравнению с влиянием упрессовки.

Изменение свойств материала, связанных с упрессовкой, имеет место во всех случаях прессования. Эту особенность необходимо иметь в виду при сравнении температур нагрева, найденных опытным и расчетным путем.

Выводы

1. При решении задач нагрева древесностружечных плит в процессе их фанерования принимается ряд допущений, не соответствующих реальным условиям.

2. В реальных условиях колебания температуры плит пресса по площади и во времени очень большие, и это оказывает наиболее существенное влияние на колебания фактически необходимого времени прессования. Поэтому для конкретных условий необходимо установить фактические колебания температуры и определение времени прессования вести по ее фактическим минимальным значениям.

3. При фанеровании в многопролетных прессах с немеханизированной загрузкой пакетов нагрев щита с нижней стороны, лежащей на плите пресса, необходимо учитывать при выборе режима прессования с целью предотвращения отверждения клея до подъема давления. Сокращение времени прессования из-за нагрева щита с верхней стороны за время установления давления примерно сравнимо с увеличением времени прессования из-за последующего запаздывания нагрева в результате наличия прокладок и снижения температуры плит пресса от загрузки холодного пакета.

4. Открытая поверхность кромок несколько замедляет нагрев

периферийных зон щита. Упрессовка материала во время прессования несколько ускоряет прогрев. Влияние этих факторов относительно малое.

Литература

[1]. А. А. Барташевич. Влияние разнотолщинности древесностружечных плит на качество фанеруемых изделий, упрессовку и перераспределение давления прессования. «Деревообр. пром.», 1971, № 12. [2]. А. В. Лыков. Теория теплопроводности. М., 1967. [3]. К. Ф. Севастьянов. Расчет температурного поля в чурале при остывании его после нагрева. «Деревообр. пром.», 1971, № 7. [4]. Г. М. Шварцман. Тепловые свойства древесностружечных плит. «Деревообр. пром.», 1970, № 7.