



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.093.026

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ В СЛОИСТОЙ ДРЕВЕСИНЕ
ПРИ ЕЕ СЖАТИИ РАЗНОТОЛЩИННОЙ ПРЕСС-ФОРМОЙ**

© А.А. Лукаш, канд. техн. наук, доц.

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, пр. Ст. Димитрова, 3,
г. Брянск, Россия, 241037

E-mail: mr.luckasch@yandex.ru

Рельефная фанера имеет объемный рисунок на лицевой поверхности, что позволяет использовать ее в качестве облицовочного материала. При склеивании рельефной фанеры применяется пресс-форма с разной толщиной в поперечном сечении. Из-за чего давление на пакет шпона на участках выступов и впадин пресс-формы будет различным. Вследствие этого лицевая сторона рельефной фанеры после склеивания имеет рисунок, который является обратным фотографическим отображением рисунка пресс-формы.

Цель данных исследований – установление деформаций, возникающих при склеивании рельефной фанеры. Задача исследований – получение параметров режима склеивания, позволяющих прогнозировать толщину рельефной фанеры.

При проведении исследований использовались методики однофакторного классического эксперимента и двухфакторного эксперимента по плану Бокса. Для поиска оптимальных значений параметров режима применяли градиентный метод.

Изучение изменения деформации пакета шпона по времени показало, что в течение первых двух минут происходит интенсивное возрастание деформации, при дальнейшей выдержке под давлением деформации возрастают незначительно. Поэтому при склеивании рельефной фанеры рекомендуется применять диаграмму изменения давления, в которой продолжительность выдержки при максимальном давлении составляет 25 % от общей продолжительности выдержки под давлением.

Толщину фанеры после склеивания определяли по остаточным деформациям, которые зависят от основных параметров режима склеивания – давления и продолжительности выдержки под давлением. Установлено, что при увеличении давления прессования от 2,0 до 5,0 МПа остаточные деформации наружных и внутренних слоев интенсивно возрастают. При дальнейшем увеличении давления прессования (от 5,0 до 8,0 МПа) остаточные деформации возрастают незначительно.

Таким образом, оптимальными параметрами режима склеивания рельефной фанеры являются давление $P = 3,3$ МПа и продолжительность склеивания $t = 5$ мин. Остаточные деформации в фанере на участках выступов пресс-формы при этих значениях составляют 38 %.

Ключевые слова: деформация, древесина, давление, температура, упрессовка, склеивание, пресс-форма.

Создание новых видов древесных материалов базируется на придании им необходимых потребительских свойств [3]. Склеенная по традиционной технологии фанера имеет плоскую форму, что ограничивает область ее применения как облицовочного материала. Можно улучшить внешний вид фанеры путем создания объемного рисунка на ее лицевой поверхности. Склеивание фанеры и создание объемного профиля на лицевой поверхности происходит одновременно под воздействием высокой температуры и давления [6]. Для этого применяют специальную пресс-форму, закрепленную на одной из нагреваемых плит пресса (рис. 1).

Рабочая поверхность пресс-формы изготовлена с выступами и впадинами, что в поперечном сечении делает ее разнотолщинной. Из-за разницы в толщине поперечного сечения пресс-формы степень сжатия шпона на выступах и впадинах будет различной, и это приведет к появлению в древесине, прессуемой на этих участках, различных по величине остаточных деформаций. При этом лицевая поверхность листа фанеры, которая при прессовании соприкасается с поверхностью разнотолщинного приспособления, получается рельефной, а поверхность, соприкасающаяся с нагревательной плитой, остается плоской [2].

Рисунок на поверхности фанеры является обратным фотографическим отображением рисунка пресс-формы. Чем больше разница между толщиной фанеры, склеенной на участках впадин пресс-формы, и толщиной фанеры, склеенной на участке выступов, тем лучше будет внешний вид материала. Объемный рисунок на лицевой поверхности рельефной фанеры определяет качество и цену этой фанеры [5].

При склеивания шпона в разнотолщинной пресс-форме в нем появляются деформации изгиба, среза и сжатия, механизм их образования изложен в исследованиях [4]. В данной работе более подробно рассматриваются деформации сжатия, от которых зависит качество объемного рисунка. Перед нами стояла задача – исследовать процесс деформирования лущеного шпона при его склеивании в разнотолщинной пресс-форме. Основными факторами, влияющими на деформации сжатия, являются давление, температура плит пресса и продолжительность склеивания.

Давление на пакет шпона – один из важных параметров, обеспечивающих фиксацию размеров, задаваемых пресс-формой. Кроме того, давление также необходимо для переноса клея на смежную поверхность и сохранения

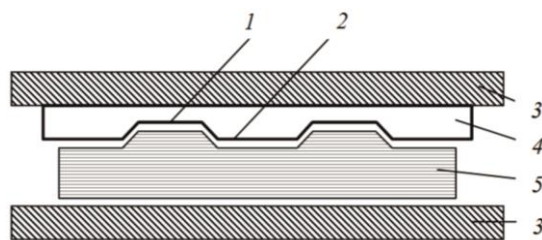


Рис. 1. Схема устройства для изготовления рельефной фанеры: 1 – впадины пресс-формы; 2 – выступы пресс-формы; 3 – плиты пресса; 4 – разнотолщинная пресс-форма; 5 – пакет шпона

контакта между склеиваемыми поверхностями в период образования клеевых связей. Вследствие применения давления появляются упругие и остаточные деформации в древесине, величина которых зависит от скорости нагружения, температуры плит пресса, влажности и породы древесины, продолжительности выдержки под давлением и т.д. [1].

Под деформативностью анизотропного материала – древесины – подразумевают ее способность изменять свои размеры и форму под воздействием усилий [8, 9]. Показатели деформативности древесины: модули упругости, коэффициенты поперечной деформации, модули сдвига, длительные модули упругости и др. Древесина представляет собой комплекс природных полимеров, имеющих длинные гибкие цепные молекулы. Такая особенность строения полимеров определяет особый характер их поведения под нагрузкой. При приложении усилий к полимеру могут возникать следующие виды деформаций: упругие – вследствие обратимого изменения средних междучастичных расстояний; высокоэластические – связаны с обратимой перегруппировкой частиц (звеньев цепных молекул), при этом объем тела не изменяется; вязкотекучие – обусловлены необратимым смещением молекулярных цепей, объем тела при этом не изменяется [8, 9].

В момент создания давления древесина ведет себя как упругое тело. Под действием температуры и давления она медленно уплотняется, т. е. ведет себя как вязкое тело. После снятия давления образуются остаточные деформации, что позволяет считать древесину пластическим телом. Поэтому для теоретического исследования деформационных процессов при склеивании древесины была выбрана реологическая модель упруговязкопластического тела [8].

При приложении нагрузки мгновенно появляется деформация $\varepsilon' = \sigma/H$ (где σ – напряжение; H – мгновенный модуль упругости). Затем при постоянном напряжении возрастают эластические деформации по криволинейному закону, и при длительной выдержке деформация стремится к $\varepsilon' = \sigma/E$ (где E – длительный модуль упругости). После разгрузки упругая деформация немедленно возвращается, а эластическая деформация с течением времени уменьшается до определенного остаточного значения $\varepsilon'_{\text{ост}}$.

Образующаяся при сжатии древесины общая деформация состоит из упругой части, исчезающей после снятия давления, и остающейся части, не исчезающей после снятия давления. В отличие от других материалов, в частности от стали, остаточные деформации в древесине появляются сразу же после приложения к ней сжимающих сил, вследствие чего считают, что у нее нет предела упругости. Следовательно, если к древесине приложить сжимающую силу, а затем снять ее, конечный размер образца будет несколько меньше начального его размера, но разница между ними будет невелика. Так обстоит дело с массивной древесиной.

При склеивании слоистого материала горячим способом положение несколько иное. Влага, содержащаяся в древесине, и влага, вносимая в нее вместе с клеем, а также подводимое к ней от внешнего источника тепло заметно

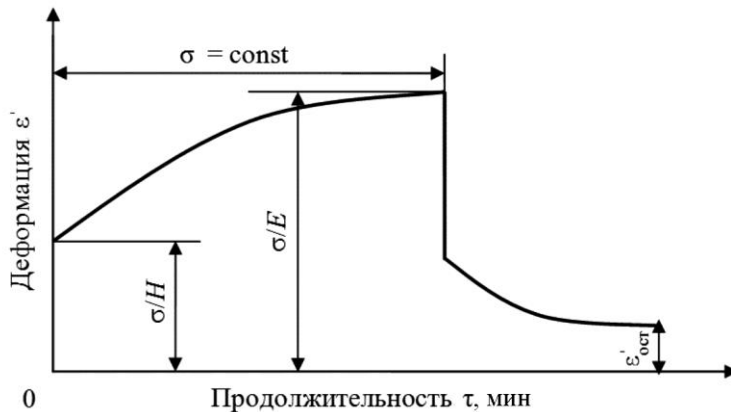


Рис. 2. Закономерность деформирования древесины как упруговязкопластического тела (ε' – относительная величина)

увеличивают деформации древесины [8, 9]. При последующей выдержке склеиваемого материала под давлением упругость древесины по мере удаления влаги постепенно снижается, т. е. упругие деформации перерождаются в пластические. Наполнитель целлюлозного скелета при этом находится в затвердевшем состоянии, и силы трения достигают значительной величины. Накопленные в целлюложном скелете силы упругости оказываются недостаточными для полного восстановления первоначального размера склеиваемого шпона.

Фиксацию формы, приданной материалу, обеспечивает и клей, проникший в древесину через трещины и вскрытые сосуды. После снятия внешнего давления происходит некоторое восстановление размера склеиваемого материала, но наблюдаемая при этом обратимость пластической деформации объясняется не восстановлением целлюлозного скелета, а течением цементирующих его веществ – лигнина и гемицеллюлозы.

Закономерность деформирования древесины в общем виде как упруговязкопластического тела (рис. 2) зависит от параметров режима склеивания и в каждом конкретном случае может изменяться в определенных пределах. Это и вызвало необходимость проведения дальнейших исследований.

Важным условием обеспечения качественного склеивания является характер изменения давления в процессе прессования. Давление необходимо для приведения в соприкосновение склеиваемых поверхностей и переноса клея на противоположную поверхность. Величина давления зависит от породы древесины, неплоскостности плит пресса, разнотолщинности шпона и обычно составляет 1,8...2,2 МПа [1]. При прессовании влага, содержащаяся в древесине и клее, переходит в газообразное состояние, и при размыкании плит пресса может произойти разрушение клеевых связей с образованием пузырей на поверхности листа фанеры. Для облегчения выхода парогазовой

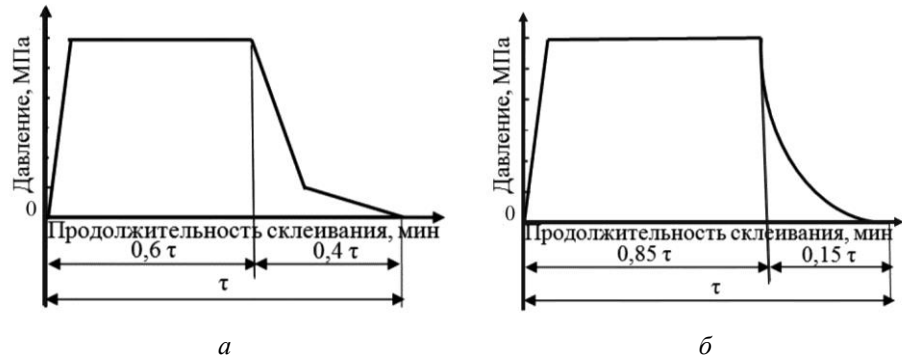


Рис. 3. Диаграммы ступенчатого (*а*) и плавного (*б*) изменения давления при склеивании шпона

смеси из пакета в процессе склеивания применяют режим ступенчатого или плавного снижения давления (рис. 3).

При общей продолжительности склеивания τ в первом случае (рис. 3, *а*) пакет шпона выдерживают при максимальном давлении в течение времени $0,6\tau$, затем в течение $0,4\tau$ снижают давление ступенчато, в 2 этапа. Во втором случае (рис. 3, *б*) пакет шпона выдерживают при максимальном давлении в течение времени $0,85\tau$, затем в течение $0,15\tau$ давление плавно снижают. Этот способ более предпочтителен, но более сложен в осуществлении.

Для уточнения диаграммы изменения давления на пакет шпона было изучено деформирование пакета шпона при склеивании рельефной фанеры. Постоянные параметры исследования:

Расход клея.....	100...110 г/м ²
Продолжительность выдержки под давлением.....	4 мин
Количество слоев в пакете шпона.....	5
Толщина лушеного шпона.....	1,75 мм
Влажность шпона.....	8 %
Температура плит пресса.....	130 °С
Марка смолы.....	КФ 120-65

Склеивали пакеты шпона с использованием разнотолщинной пресс-формы при давлении $P = 2, 3$ и 4 МПа. Через каждые 10 с измеряли толщину пакета шпона, на основе чего определялись деформацию. Результаты исследования, приведенные на рис. 4, показывают, что деформации возрастают с увеличением продолжительности выдержки под давлением и величины давления P . При $P = 2, 3$ и 4 МПа в течение первой минуты нарастание деформаций происходит интенсивно, в последующем нарастание деформаций происходит незначительно. После снятия давления с пакета (на четвертой минуте) древесина частично восстанавливается. Упрессовка при этом составляет 25...30 %. При $P = 2$ МПа упрессовка составляет 20 %. Чем раньше начнется снижение давления, тем меньше останется влаги в пакете и тем меньше вероятность образования расслоений в пакете шпона после размыкания плит пресса.

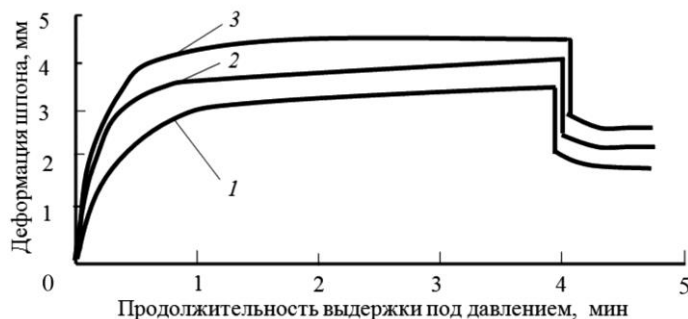


Рис. 4. Зависимость деформации шпона от продолжительности выдержки под различным давлением: 1 – 2 МПа; 2 – 3; 3 – 4 МПа

Установлено, что после выдержки пакета в прессе в течение первых двух минут происходит интенсивное увеличение деформации пакета шпона. Затем изменение толщины пакета происходит незначительно. Следовательно, при склеивании рельефной фанеры можно рекомендовать применять диаграмму изменения давления, в которой продолжительность выдержки при максимальном давлении составляет 25 % от общей продолжительности выдержки под давлением.

Необходимым условием получения качественной лицевой поверхности является наличие большой глубины рельефа. Максимальная глубина рельефа достигается в том случае, когда упрессованная зона будет иметь максимальную упрессовку, а неупрессованная – минимальную.

Величина упрессовки зависит от температуры плит пресса, давления прессования, продолжительности выдержки под давлением и др. факторов. Увеличить глубину рельефа при склеивании рельефной фанеры можно путем увеличения давления, однако это не всегда позволяют параметры пресса. Кроме того, есть ограничения и в уплотнении самой древесины. В исследованиях [9] установлено, что древесина будет деформироваться до тех пор, пока плотность древесного вещества, из которого состоят стенки клеток, не достигнет 1560 кг/м^3 . Исследования по установлению максимального давления при склеивании рельефной фанеры были проведены на следующем этапе.

Пакет шпона может быть собран из листов разной толщины при условии их симметричности относительно его центральной плоскости. Наружные и внутренние слои имеют разные условия склеивания. Склеиваемый пакет имеет начальную влажность, которая складывается из влажности самих листов и влажности, вносимой клеем. При создании давления наружные слои соприкасаются с нагретыми плитами пресса, что способствует уменьшению их упругости. Внутренние непрогретые слои имеют большую упругость, чем нагретые наружные из-за меньшей интенсивности прогрева. В результате этого остаточные деформации наружных слоев будут больше, чем внутренних. Поэтому для установления численных значений деформаций в наружных и

внутренних слоях были проведены исследования влияния давления и продолжительности выдержки на упрессовку отдельно для наружных и внутренних слоев. В ходе поисковых исследований установлены постоянные (порода – береза; слойность пакета – 5; толщина шпона – 1,5 мм; температура плит пресса – 140 °С; смола марки КФ 120-65; расход клея – 110 г/м²) и переменные (давление – от 2 до 8 МПа; продолжительность выдержки под давлением – от 3 до 5 мин). Факторы проведения исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1
Уровни и интервалы варьирования переменных факторов

Факторы	Обозначения		Интервал варьирования	Уровни варьирования		
	в натуральном виде	в кодированном виде		Нижний –	Основной 0	Верхний +
Давление прессования, МПа	P	X_1	3	2	5	8
Продолжительность выдержки под давлением, мин	t	X_2	1	3	4	5

Учитывая, что наружные и внутренние слои после склеивания имеют различные остаточные деформации, упрессовку шпона определяли для наружных и внутренних слоев отдельно. Перед склеиванием измеряли микрометром толщину наружных и внутренних слоев шпона. Для предотвращения полного отверждения в карбамидоформальдегидную смолу КФ 120-65 не добавляли отвердитель. После склеивания пакет разделяли по слоям и определяли толщину соответствующих листов шпона.

При реализации исследований применялся двухфакторный план Бокса В2, который имеет хорошие статистические характеристики и включает небольшое число экспериментальных точек. В результате было получено уравнение регрессии, которое адекватно описывает зависимость упрессовки *наружных слоев* от давления и продолжительности выдержки под давлением при 5 %-м уровне значимости:

$$Y = 44,4 + 12 X_1 + 4,5 X_2 - 2,4 X_1^2 - 3,6 X_1 X_2; \quad (1)$$

$$-1 \leq X_1 \leq +1;$$

$$-1 \leq X_2 \leq +1.$$

Из уравнения регрессии (1) видно, что линейные коэффициенты при всех параметрах X_1 и X_2 положительны, т. е. между выходной величиной и переменными факторами существует прямая зависимость. Коэффициент при квадратичном эффекте параметра давления X_1^2 и парном взаимодействии $X_1 X_2$ отрицательный, что указывает на выпуклость функции (ветви параболы направлены вниз). Коэффициент при квадратичном эффекте параметра X_2^2 в формуле отсутствует, так как он незначим и его влияние на функцию отклика

незначительно. Переведем для большей наглядности уравнение регрессии в натуральный вид:

$$Y = -24,27 + 11,47 P + 10,75 t - 0,26 P^2 - 1,2 P t; \quad (2)$$

$$2 \leq P \leq 8;$$

$$3 \leq t \leq 5.$$

Зависимость упрессовки *внутренних слоев* от давления и продолжительности выдержки под давлением:

$$Y = 39,4 + 6,5 X_1 + 8,3 X_2 - 2,9 X_1^2 - 1,5 X_2^2 - 1,3 X_1 X_2; \quad (3)$$

$$-1 \leq X_1 \leq +1;$$

$$-1 \leq X_2 \leq +1.$$

Из уравнения (3) видно, что линейные коэффициенты при всех параметрах X_1 и X_2 положительны, т. е. между выходной величиной и переменными факторами существует прямая зависимость. Коэффициент при квадратичных эффектах параметров давления X_1^2 , температуры X_2^2 и парном взаимодействии $X_1 X_2$ отрицательный, что указывает на выпуклость функции. Запишем уравнение регрессии в натуральном виде:

$$Y = -49,8 + 7,1 P + 22,5 t - 0,32 P^2 - 1,5 t^2 - 0,43 P t; \quad (4)$$

$$2 \leq P \leq 8;$$

$$4 \leq t \leq 8.$$

Как видно из уравнений (1) и (3), наибольшее влияние на упрессовку наружных и внутренних слоев оказывает параметр X_2 – продолжительность выдержки под давлением, несколько меньше влияет параметр X_1 – давление прессования. Чтобы установить влияние переменных факторов на упрессовку слоев, по уравнениям (2) и (4) построены графические зависимости (рис. 5).

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод о зависимости упрессовки от давления прессования и продолжительности выдержки под давлением. С увеличением продолжительности выдержки под давлением от 3 до 5 мин упрессовка наружных слоев возрастает пропорционально продолжительности. С увеличением давления прессования от 2 до 5 МПа упрессовка

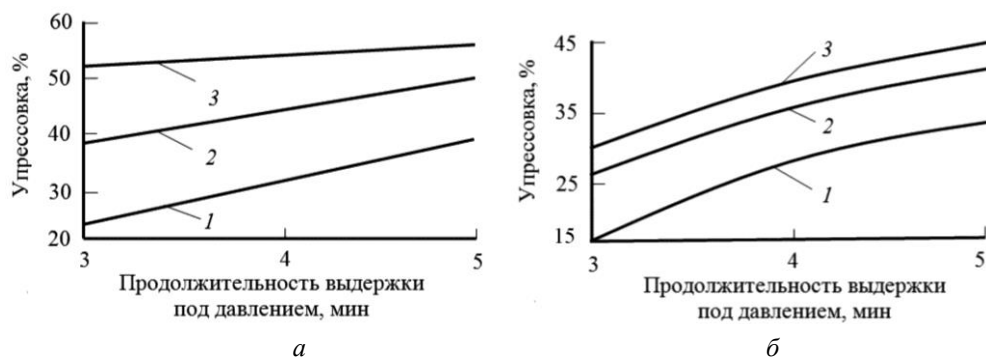


Рис. 5. Зависимость упрессовки наружных (а) и внутренних (б) слоев от продолжительности выдержки под различным давлением: 1 – 2 МПа; 2 – 5; 3 – 8 МПа

наружных слоев возрастает интенсивно, но при дальнейшем увеличении давления прессования до 8 МПа упрессовка наружных слоев происходит уже менее интенсивно.

Из рис. 5, а видно, что при $P = 8$ МПа с увеличением продолжительности выдержки от 3 до 5 мин упрессовка наружных слоев возрастает от 53 до максимального значения 55 %, что составляет менее 4 %. Максимальное значение упрессовки 56 % при давлении 8 МПа и выдержке под давлением в течение 5 мин. Однако из графика видно, что при продолжительности выдержки под давлением 5 мин с увеличением давления от 5 до 8 МПа (т. е. на 60 %) упрессовка шпона возрастает от 50 до 54 %, т. е. 4 %.

Аналогично и с графиками, представленными на рис. 5, б.

Для поиска оптимального решения был применен градиентный метод [7], который заключается в том, чтобы в процессе поиска экстремума двигаться каждый раз в направлении наибольшего возрастания целевой функции. Градиентный метод позволяет приблизиться к точке оптимума за конечное число шагов в направлении, в котором целевая функция возрастает быстрее всего. Это направление называется градиентом. На первой итерации вычисляют составляющие градиента по следующим формулам:

$$\begin{cases} P_1^{(1)} = P_1^{(0)} + \lambda \frac{\partial y}{\partial P_1} \Big|_{P^{(0)}}; \\ t_1^{(1)} = t_1^{(0)} + \lambda \frac{\partial y}{\partial t_1} \Big|_{t^{(0)}}, \end{cases} \quad (5)$$

где λ – шаг;
 $P_1^{(0)}$ и $t_1^{(0)}$ – координаты начальной точки;
 $P_1^{(1)}$ и $t_1^{(1)}$ – координаты первой точки.

Частные производные зависимости по dP и dt :

$$\begin{cases} \frac{\partial Y}{\partial P} = -0,52P + 11,5 - 1,2t; \\ \frac{\partial Y}{\partial t} = 1,5P - 1,2t. \end{cases} \quad (6)$$

Последующие итерации производят аналогично. Вычисления заканчиваются, когда разница между последующим и предыдущим значением целевой функции не превышает 5 % (уровень значимости q). За начальную точку принимают $P = 2,00$ МПа и $t = 3,00$ мин. Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Частные производные зависимости по dP и dt :

$$\begin{cases} \frac{\partial Y}{\partial P} = 7,1 - 0,64P - 0,43t; \\ \frac{\partial Y}{\partial t} = 22,5 - 3t - 0,43P. \end{cases} \quad (7)$$

Таблица 2

Результаты оптимизации упрессовки

Итерация	Координаты точек		Значение целевой функции Y	Отношение к предыдущему, %
	P	t		
<i>Наружные слои</i>				
Начальное значение	2,00	3,00	21,9	–
1-я итерация	2,70	3,81	32,5	32,6
2-я итерация	3,52	4,54	41,5	21,6
3-я итерация	3,94	4,98	45,8	9,4
4-я итерация	4,30	5,00	47,0	3,2
<i>Внутренние слои</i>				
Начальные координаты	2,00	3,00	14,4	–
1-я итерация	2,70	4,26	25,8	44,0
2-я итерация	3,05	4,89	37,7	31,6
3-я итерация	3,34	5,00	38,2	1,3

На четвертой итерации увеличение целевой функции составляет 3,2 %, что меньше уровня значимости $q = 5$ %, поэтому экстремум найден при значениях $P = 4,30$ МПа и $t = 5,00$ мин. Упрессовка наружных слоев при этих значениях составляет 47,0 %.

Вычисление следующих точек производится аналогично. Вычисления заканчиваются, когда разница между последующим и предыдущим значением целевой функции ≤ 5 %. За начальную точку принимают $P = 2,00$ МПа и $t = 3,00$ мин. На четвертой итерации увеличение целевой функции составляет 1,3 %, что меньше 5 %-го уровня значимости, поэтому экстремум найден при координатах $P = 3,34$ МПа и $t = 5,00$ мин. Упрессовка внутренних слоев при этих значениях составляет 38,2 %. Результаты вычислений приведены в табл. 2.

Таким образом, установлено, что после выдержки пакета в прессе в течение первых двух минут происходит интенсивное увеличение деформации пакета шпона, затем толщина пакета снижается незначительно. Следовательно, при склеивании рельефной фанеры можно рекомендовать применять диаграмму изменения давления, в которой продолжительность выдержки при максимальном давлении составляет 25 % от общей продолжительности выдержки под давлением.

При $P = 4,30$ МПа и $t = 5,00$ мин упрессовка наружных слоев составляет 47,0 %, при $P = 3,34$ МПа и $t = 5,00$ мин упрессовка внутренних слоев – 38,2 %. Эти условия позволяют прогнозировать качественные показатели лицевой поверхности рельефной фанеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов В.А. Проблема точности изготовления клееной слоистой древесины: дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1966. 419 с.

2. Лукаш А.А. Технологические особенности производства рельефной фанеры // Лесн. журн. 2008. № 5. С. 91–96. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Лукаш А.А. Методика создания новых видов древесных материалов // Лесн. журн. 2011. №2. С. 113–117. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Лукаш А.А. Деформации древесины при склеивании рельефной фанеры // Лесн. журн. 2011. № 2. С. 119–123. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Лукаш А.А. Определение цены на новые виды фанерной продукции // Лесн. журн. 2011. № 2. С. 134–137. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Пат. 2212334, RU С 27 В 27 D 3/00. Устройство для склеивания древесных слоистых материалов / Лукаш А.А. № 200013237/13; заявл. 22.12.2000; опубл. 20.09.2003, Бюл. № 26. 2 с.
7. Пижурич А.А., Пижурич А.А. Основы научных исследований в деревообработке. М.: МГУЛ, 2005. 304 с.
8. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: МГУЛ, 2007. 340 с.
9. Хухрянский П.Н. Прессование древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 351 с.

Поступила 04.03.13

The Study of Deformations in Laminated Wood Being Compressed by a Mould with Various Thickness

A.A. Lukash, Candidate of Engineering, Associate Professor

Bryansk State Engineering and Technological Academy, Prospekt Stanke Dimitrova, 3,
Bryansk, 241037, Russia
e-mail: mr.lukasch@yandex.ru

Relief plywood has a volumetric pattern on its front surface, which allows us to use it as facing material. At relief plywood glueing we use a mould with various cross-section thickness, which makes the pressure on the veneer package at mould projections and hollows different. Consequently, the front side of relief plywood after glueing has a raised pattern which is the reverse photographic image of the mould pattern.

The research aimed to establish the deformations at relief plywood glueing.

The objective was to set the parameters of glueing mode, allowing us to predict the thickness of relief plywood. The author used the method of single-factor and two-factor experiments according to Box-Behnken design. To find the optimal parameters of this mode the author used the gradient method.

Studying the time-deformation change of veneer package, the author established that during the first 2 minutes the deformation is increasing dramatically. Continued pressuring does not increase the deformation significantly. Thus, when glueing relief plywood the author recommends using pressure diagram stating that duration of exposure to the maximum pressure is 25 % of the total duration of pressuring.

Plywood thickness after glueing depends on residual deformation, which, in its turn, depends on the basic parameters of glueing mode: pressure and duration of exposure to pressure. It was found that compacting pressure rising from 2.0 to 5.0 MPa makes residual deformation of outer and inner layers increase drastically. Further rise in compacting pressure from 5.0 to 8.0 MPa does not produce any significant increase in residual deformation.

Thus, the optimal parameters of relief plywood gluing are the pressure $P = 3.3$ MPa and duration of gluing $t = 5$ min. The residual deformation of plywood in the areas of mould projections at these values are 38 %.

Keywords: deformation, wood, pressure, temperature, compressing, glueing, mould.

REFERENCES

1. Kulikov V.A. Problema tochnosti izgotovleniya kleenoy sloistoy drevesiny: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Precision in Glued Laminated Wood Production: Dr. Tech. Sci. Diss.]. Leningrad, 1966. 419 p.
 2. Lukash A.A. Tekhnologicheskie osobennosti izgotovleniya rel'efnoy fanery [Technological Characteristics of Producing Relief Plywood]. *Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 5, pp. 91–96.
 3. Lukash A.A. Metodika sozdaniya novykh vidov drevesnykh materialov [Creation Technique for New Types of Glued Wood Materials]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 2, pp. 113–117.
 4. Lukash A.A. Deformatsii drevesiny pri skleivanii rel'efnoy fanery [Wood Deformations at Glueing Relief Plywood]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 2, pp. 119–123.
 5. Lukash A.A. Opredelenie tseny na novye vidy fanernoy produktsii [Price Determination on New Types of Plywood Products]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 2, pp. 134–137.
 6. Lukash A.A. *Ustroystvo dlya skleivaniya drevesnykh sloistykh materialov* [A Device for Glueing Wood Laminates]. Patent RF no. 2212334.
 7. Pizhurin A.A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v derevoobrabotke* [Basic Research in Woodworking]. Moscow, 2005. 304 p.
 8. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood Science and Fundamentals of Forest Commodity Research]. 3rd ed. Moscow, 2007. 340 p.
 9. Khukhryanskiy P.N. *Pressovanie drevesiny* [Wood Pressing]. Moscow, 1964. 351 p.
-