

УДК 674-419.3

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЕСС-ФОРМЫ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ЛИЦЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ
СКЛЕИВАЕМОЙ РЕЛЬЕФНОЙ ФАНЕРЫ**

© *И.Н. Серпик, д-р техн. наук, проф.*

А.В. Алексейцев, канд. техн. наук, доц.

А.А. Лукаш, канд. техн. наук, доц.

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, пр-т Станке Димитрова, 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: serpik@online.debryansk.ru

Рельефная фанера склеивается в разнотолщинной пресс-форме, в результате чего на ее лицевой поверхности получается рисунок. Опыт показывает, что в ряде случаев при склеивании шпона возникает разрушение лицевого листа. В связи с этим представляется актуальным определение параметров пресс-формы, обеспечивающих сохранение целостности изготавливаемого изделия. Нами разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния пакета слоев шпона. Учитывается физически нелинейное поведение материалов, геометрическая нелинейность, обусловленная влиянием больших перемещений на геометрию рассматриваемой системы, и конструктивная нелинейность, связанная с переменностью контакта пресс-формы и шпона. Анализируются деформации 5-слойного пакета фанеры, изготавливаемой из березового шпона. При этом плита верхней траверсы и расположенная под листами шпона пресс-форма считаются абсолютно жесткими. Рассматривается кинематическое нагружение пакета в условиях плоского деформированного состояния. Расчет выполняется в нестационарной постановке с помощью метода конечных элементов. В соответствии с принципом Даламбера строится система нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих динамическое равновесие для дискретизированного объекта. Решение начальной задачи основывается на предпосылке метода Ньюмарка о постоянных значениях ускорений на каждом шаге интегрирования. Для реализации такого подхода к исследованию нелинейного процесса учитывается геометрия системы в деформированном состоянии. При этом используется касательная матрица жесткости конечно-элементной модели, вычисляемая как сумма касательной матрицы жесткости бесконечно малых деформаций, построенной с учетом физической и конструктивной нелинейностей, и матрицы начальных напряжений. На основе математического моделирования условий нагружения листа фанеры определены характеристики напряженно-деформированного состояния склеиваемых слоев при условии применения прямоугольных и скругленных кромок пресс-формы в зоне изменения высоты ее рабочей поверхности. Установлено, что наиболее опасными зонами с точки зрения максимальных напряжений являются участки контакта листов шпона с краями выступов пресс-формы. Определены параметры рассматриваемого технологического процесса, позволяющие получать требуемые рельефы на поверхности изготавливаемого изделия при соблюдении его целостности.

Ключевые слова: слоистая древесина, пресс-форма, склеивание, рельеф, прочность, дифференциальные уравнения, нелинейность, параметры.

Рельефная фанера склеивается в разнотолщинной пресс-форме, в результате чего на ее лицевой поверхности получается рисунок [3, 5]. Опыт изготовления такой фанеры показывает, что в ряде случаев при склеивании шпона возникает разрушение лицевого листа [4]. В связи с этим представляется актуальным определение параметров пресс-формы, обеспечивающих сохранение целостности изготавливаемого изделия.

В настоящей работе данная задача решается для прямоугольной в плане плиты фанеры. Разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния пакета слоев шпона. Учитывается физически нелинейное поведение материалов, геометрическая нелинейность, обусловленная влиянием больших перемещений на геометрию рассматриваемой системы, и конструктивная нелинейность, связанная с переменностью контакта рабочей траверсы и шпона. Основы математического аппарата для такого моделирования изложены в работе [6].

Анализируются деформации пятислойного пакета 2 фанеры, изготавливаемой из березового шпона, каждый лист которого имеет размеры $120 \times 1000 \times 1,75$ мм. Пакет сжимается плитой 1 верхней траверсы и пресс-формой 3 нижней траверсы (рис. 1).

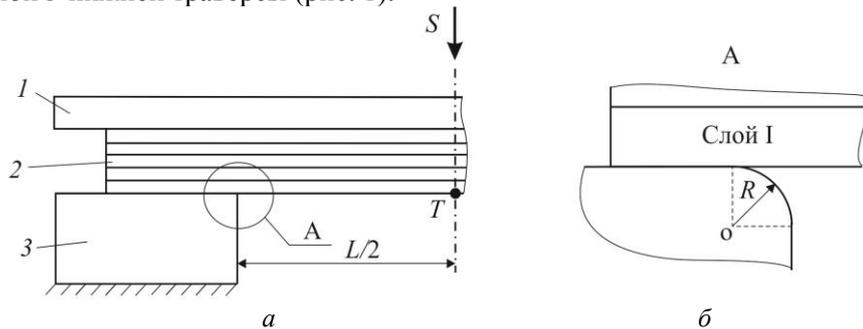


Рис. 1. Пакет шпона в прессе: 1 – плита верхней траверсы; 2 – 5-слойный пакет фанеры; 3 – пресс-форма нижней траверсы (S – направление кинематического нагружения)

Пресс-форма имеет выступы и впадину. Принимается кинематическое нагружение пакета слоев по вертикали верхней траверсой. При этом плита верхней траверсы и пресс-форма считаются абсолютно жесткими. Взаимодействие пакета шпона с телами 1 и 3 в горизонтальном направлении не учитывается.

Предполагается, что пакет из слоев шпона находится в условиях плоского деформированного состояния. Кромки неподвижной траверсы в зонах перехода от впадины к выступам могут иметь скругление радиусом R . Случай отсутствия скругления трактуется как условие $R = 0$.

Рассматривается нестационарный процесс поведения объекта. В соответствии с принципом Даламбера система нелинейных дифференциальных

уравнений динамического равновесия дискретизированной системы представлена в виде

$$[M(\{Z\})]\{\ddot{Z}\} + [C(\{Z\})]\{\dot{Z}\} + \{R(\{Z\})\} = \{F\},$$

где $[M(\{Z\})]$, $[C(\{Z\})]$ и $\{R(\{Z\})\}$ – матрица масс, матрица демпфирования и вектор узловых реакций, зависящие от обобщенных узловых перемещений, выражаемых вектором $\{Z\}$; $\{F\}$ – вектор, учитывающий внешнее нагружение.

Приняты нулевые начальные условия. Решение начальной задачи основывалось на предпосылке метода Ньюмарка о постоянных значениях ускорений на каждом шаге интегрирования. Для реализации такого подхода к исследованию нелинейного процесса учтена геометрия системы в деформированном состоянии. При этом использована касательная матрица жесткости конечно-элементной модели:

$$[K_{\tau}] = [K_{\tau 0}] + [K_{\sigma}],$$

где $[K_{\tau 0}]$ – касательная матрица жесткости бесконечно малых деформаций, построенная с учетом физической и конструктивной нелинейностей;

$[K_{\sigma}]$ – матрица начальных напряжений, или геометрическая матрица [7].

В зонах сопряжения тел 1 и 3 со слоями шпона принимаются условия контактной задачи. Силы взаимодействия в зазорах не учитываются. При возникновении контакта автоматически вводятся линейные связи в вертикальном направлении.

Выполнен анализ девяти расчетных моделей для всех сочетаний значений $L = 20, 40$ и 80 мм; $R = 0, 1$ и 2 мм. Механические параметры шпона установлены с учетом [1, 2] и экспериментальных данных, полученных при изготовлении фанеры такого типа. При этом предел прочности березовых образцов лущеного шпона вдоль волокон древесины принят равным 130 МПа, предел прочности по касательным напряжениям, направленным поперек волокон, 4 МПа.

На рис. 2 показан вид деформированного состояния пакета, полученный при его конечно-элементном моделировании для $L = 40$ мм, $R = 0$, $P = 2$ МПа, где масштаб изображения перемещений увеличен по сравнению с масштабом представления модели в 10 раз.

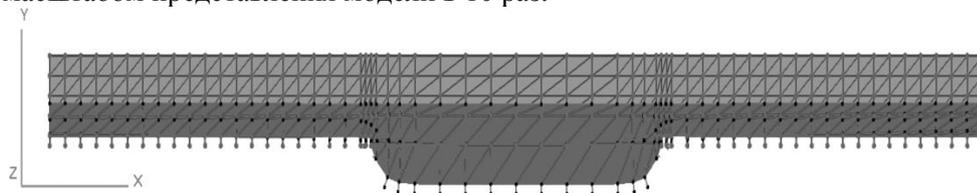


Рис. 2. Характер деформирования исследуемого объекта

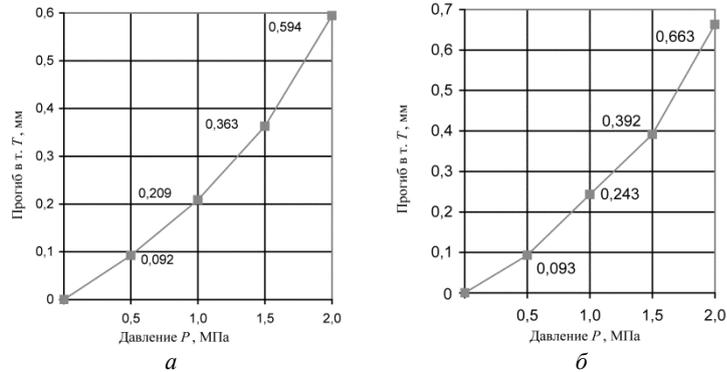


Рис. 3. Зависимости максимального перемещения от давления P :
 а – $R = 1 \text{ мм}, l = 20 \text{ мм}$; б – $1 \text{ мм}, 40 \text{ мм}$

На рис. 3 приведены графики зависимостей максимальных вертикальных перемещений плиты, возникающих в т. T (см. рис. 1) от среднего давления P на плиту при $R = 1 \text{ мм}, L = 20$ и 40 мм . Из рис. 3 видно, что такие зависимости имеют выраженный нелинейный характер. В результате расчетов установлено, что наиболее опасными зонами с точки зрения максимальных напряжений являются участки контакта листов шпона с краями выступов пресс-формы.

На рис. 4 приведены объемные графики максимальных касательных и нормальных напряжений в этой области при рассматриваемых значениях R и L для средних давлений сжатия пресса $0,5$ и $1,5 \text{ МПа}$.

Анализ полученных результатов показывает, что при $L = 20 \text{ мм}$ и 40 мм прочность слоя I по касательным напряжениям обеспечивается с существенным запасом для всех рассматриваемых значений R и P . При $L = 80 \text{ мм}$ прочность на срез обеспечивается при всех учитываемых радиусах скругления, однако при $P = 2 \text{ МПа}, R = 1 \text{ мм}$ имеем $\tau = 3,1 \text{ МПа}$, при $P = 2 \text{ МПа}, R = 2 \text{ мм}$ – $\tau = 3,8 \text{ МПа}$, что соответственно составляет 78 и 95% от предела прочности по касательным напряжениям.

Нормальные напряжения не превышают предела прочности на растяжение при следующих параметрах:

для $L = 20 \text{ мм}$:

$$P \leq 1,5 \text{ МПа}, R = 0, 1 \text{ и } 2 \text{ мм}; P = 2,0 \text{ МПа}, R = 2 \text{ мм};$$

для $L = 40 \text{ мм}$:

$$P = 0,5 \text{ МПа}, R = 0, 1 \text{ и } 2 \text{ мм}; P = 1 \text{ МПа}, R \geq 1 \text{ мм}; P = 1,5 \text{ и } 2,0 \text{ МПа}, R = 2 \text{ мм};$$

для $L = 80 \text{ мм}$:

$$P = 0,5 \text{ МПа}, R = 0, 1 \text{ и } 2 \text{ мм}; P = 1,0 \text{ МПа}, R = 0 \text{ и } 1 \text{ мм}.$$

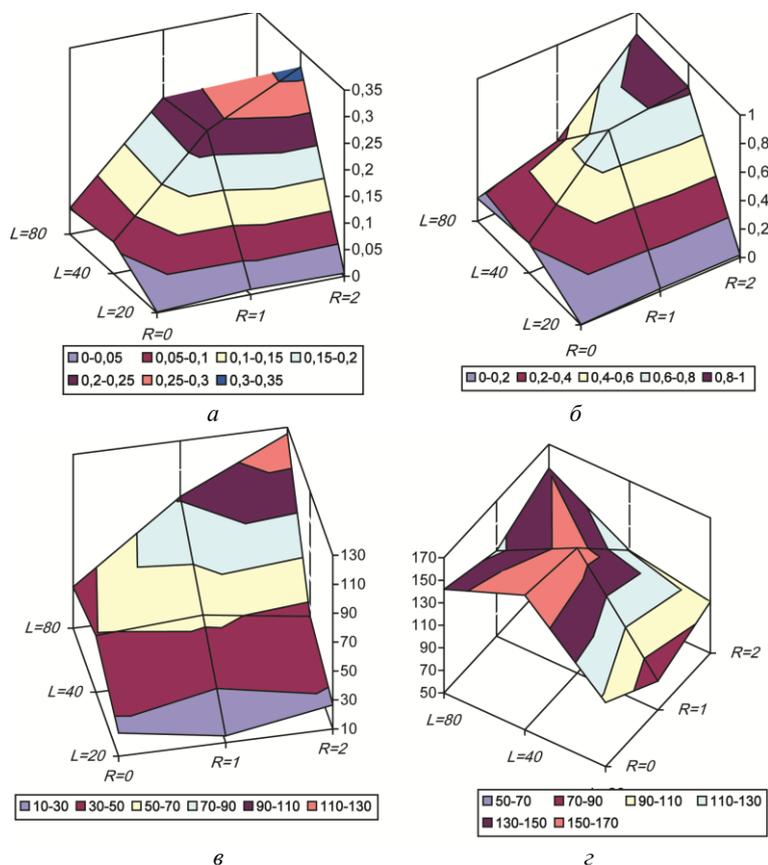


Рис. 4. Максимальные касательные (а, б) и нормальные (в, г) напряжения в направлении поперек (а, б) и вдоль (в, г) волокон: а, в – $P = 0,5$ МПа; б, г – $P = 1,5$ МПа

Выводы

1. На основе исследования процесса нагружения листа фанеры при средних давлениях 0,5; 1,0; 1,5 и 2,0 МПа определены характеристики напряженно-деформированного состояния физической модели при условии применения прямоугольных и скругленных по радиусам ($R = 1$ и 2 мм) кромок нижней траверсы пресс-формы в зоне изменения высоты ее рабочей поверхности.
2. Путем численного анализа установлены параметры рассматриваемого технологического процесса, позволяющие получать требуемые рельефы на поверхности изготавливаемого изделия при соблюдении его целостности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.
2. Куликов В.А., Чубов А.Б. Технология клееных материалов и плит. М.: Лесн. пром., 1984. 344 с.

3. Лукаш А.А. Технологические особенности производства рельефной фанеры // Лесн. журн. 2008. № 5. С. 92–96. (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. Пат. 2212334 RU, МКИ³ 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.
6. Серпик И.Н., Лелетко А.А., Алексейцев А.В., Милакова А.А., Горбачев С.М. Оптимальный синтез рамных металлических каркасов гражданских зданий с учетом запроектных воздействий // Теория и практика расчета зданий, сооружений и элементов конструкций. Аналитические и численные методы: сб. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. М.: МГСУ, 2009. С. 263–273.
7. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The finite element method for solid and structural mechanics. Sixth edition. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. 631 p.

Поступила 06.01.14

UDC 674-419.3

Press Mold Characterization to Ensure the Integrity of the Front Face of the Bonding Relief Plywood

I.N. Serpik, Doctor of Engineering, Professor

A.V. Alekseytsev, Candidate of Engineering, Associate Professor

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

Bryansk State Academy of Engineering and Technology, Stanke Dimitrov pr., 3, Bryansk, 241037, Russia; e-mail: iserpik@online.debryansk.ru

Relief plywood is glued in press mold with gage interference, what results in a picture on its front face. The practice of such plywood production shows that front sheet is destroyed in a number of cases of gluing veneer sheet. Therefore determination of press mold parameters ensuring integrity of the production is of special value. The article considers a method used to calculate stress-strain condition of a package of veneer layers. Physical non-linear behavior of materials, geometric nonlinearity caused by the influence of great displacements on geometry of the considered system and structural nonlinearity related to variability of contact between press mold and veneer sheet is considered. Deformation of five-layer package of plywood, produced from birch veneer is analyzed. Whereas the upper traverse plate and press mold, located above veneer layers, are considered absolutely rigid. Kinematic loading of the package is considered in plane flat deform condition. Calculation is made in a nonstationary formulation with the finite elements method. According D'Alembert's principle a system of nonlinear differential equations, describing dynamic balance for a sampled object is built. Solution of the initial-value problem is based on prerequisite of Newmark method about constant values of accelerations at every stage of integration. System geometry in deformed condition has been taken into account for realization of such approach to study of non-linear process. Whereas tangential stiffness matrix of finite element model, calculated as a sum of tangential stiffness matrix of infinitesimal deformation, built with regard to physical and structural non-linearity and initial stress matrix has been used. Characteristics of stress-strain condition of gluing layers have been determined on the base of mathematical modeling of the plywood sheet loading with regard to application of rectangular and round-

ed edges of the press mold in the place where height of its working surface is changed. It has been established that areas of contact of veneer layers with edges of the press mold are the most dangerous zones in terms of maximum stresses. Parameters of considered technological process that enable obtaining required reliefs on the surface of fabricated produce, keeping its integrity have been determined.

Keywords: plywood, press-mold, bonding, relief, strength, differential equations, nonlinearity, parameters.

REFERENCES

1. Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Spravochnik po drevesine* [Wood Reference Guide]. Moscow, 1989. 296 p.
2. Kulikov V.A., Chubov A.B. *Tekhnologiya kleenykh materialov i plit* [Technology of Glued Materials and Plates]. Moscow, 1984. 344 p.
3. Lukash A.A. Tekhnologicheskie osobennosti proizvodstva rel'efnoy fanery [Technological Characteristics of Producing Relief Plywood]. *Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 5, pp. 92–96.
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. *Ustroystvo dlya skleivaniya drevesnykh sloistykh materialov* [Device Used to Glue Wooden Laminated Materials]. Patent RF, no.200013237/13.
6. Serpik I.N., Leletko A.A., Alekseytsev A.V., Milakova A.A., Gorbachev S.M. Optimal'nyy sintez ramnykh metallicheskiy karkasov grazhdanskiy zdaniy s uchetom zaproeknykh vozdeystviy [Optimum Synthesis of Framed Metal Structures of Civil Building with Regard of Emergency Actions]. *Teoriya i praktika rascheta zdaniy, sooruzheniy i elementov konstruksiy. Analiticheskie i chislennyye metody* [Theory and Practice of Calculation for Buildings, Constructions and Elements of Structures. Analytical and Numerical Methods. Collected Papers]. Moscow, 2009, pp. 263–273.
7. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The finite element method for solid and structural mechanics. Sixth edition. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann. 2005. 631 p.

Received on 06.01.14