

Л. А. Манкевич, А. А. Куцак, Л. Ф. Донченко
И. П. Яшина, Е. Ф. Рикуню

К ВОПРОСУ ОБ УСТАНОВЛЕНИИ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ВАКУУМНО-ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ПРЕСС-ФОРМЫ

В научно-исследовательской лаборатории технологии лесопиления, деревообработки и мебели Белорусского технологического института выполнены теоретические и экспериментальные исследования теплового режима вакуумно-пневматической пресс-формы

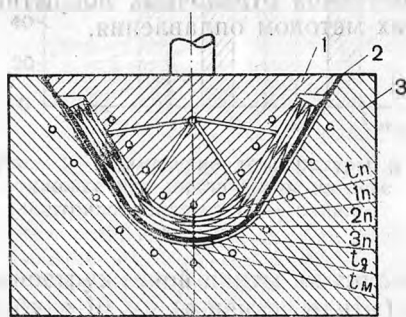


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — пуансон; 2 — диафрагма; 3 — матрица.

конструкции НИЛ ТЛДМ БТИ (рис. 1) с двусторонним контактным электронагревом прессуемого пакета. Пресс-форма состоит из пуансона с выемкой и матрицы со свободно лежащей на ней диафрагмой. Она позволяет склеивать блоки (из шпона) толщиной, равной и меньшей, чем высота выемки пуансона. В последнем случае, в связи с тем что воздух из камеры пресс-формы отсасывается через воздушные каналы пуансона, в процессе склеивания пакета между диафрагмой и поверхностью матрицы образуется воздушный зазор, численная величина которого зависит от толщины пакета. Хорошее качество склеивания блоков во многом обуславливается равномерным двусторонним контактным нагревом прессуемого пакета, состоящего из листов шпона. Равномерный обогрев пакета возможен при поддержании одинаковой температуры рабочих поверхностей пресс-формы: металлического пуансона и эластичной резиновой диафрагмы.

Температура рабочей поверхности диафрагмы зависит от температуры матрицы, численной величины воздушного зазора между диафрагмой и матрицей и от продолжительности нагрева.

Получение симметричного температурного поля в процессе двустороннего нагревания прессуемого пакета шпона позволяет уменьшить внутренние напряжения, возникающие в нем при гнутье с склеиванием, и повысить формоустойчивость гнутоклеевых черновых заготовок. Для того чтобы получить симметричное темпера-

руриное поле в прессуемом гнуктоклееном блоке с помощью вакуумно-пневматической пресс-формы, имеющей эластичную диафрагму, необходимо поддерживать различные численные значения температуры нагрева рабочих поверхностей матрицы и пуансона. Численное значение температуры нагрева матрицы зависит от толщины, начальной температуры и теплофизических свойств диафрагмы, также от величины воздушного зазора.

Таким образом, нужно определить температуры нагрева пуансона и матрицы, при которых в прессуемом гнуктоклееном блоке создается симметричное температурное поле.

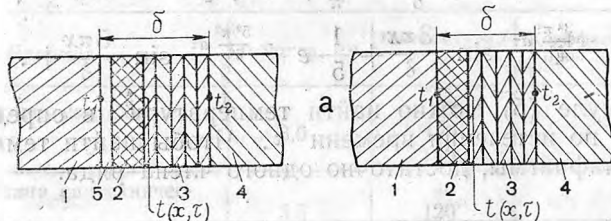


Рис. 2. Схемы исследуемых пакетов с воздушным зазором (а) и без него (б):

1 — матрица; 2 — эластичная диафрагма (резина); 3 — пакет шпона; 4 — пуансон; 5 — воздушный зазор.

Температура какой-нибудь точки тела при неустановившемся теплообмене и тепловом потоке, имеющем одно направление, изменяется согласно дифференциальному уравнению Фурье:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где a — коэффициент температуропроводности, $см^2/сек$; $м^2/ч$;

t — температура некоторой точки в момент времени τ ;

τ — время, $ч$, $сек$;

x — координата точки (отсчет производим от поверхности);

$\frac{\partial t}{\partial \tau}$ — величина изменения температуры во времени.

В рассматриваемом случае прогрев пакета двусторонний, температура матрицы t_1 , температура пуансона t_2 . Пакет состоит из слоев резины и листов шпона или (второй вариант) из слоев воздуха, резины и листов шпона (рис. 2). Необходимо решить уравнение теплопроводности (1) при граничных условиях: прогрев — контактный, температура матрицы t_1 ; температура пуансона t_2 ; $t_{x=0} = t_1$; $t_{x=s} = t_2$; $t_2 - t_n \rightarrow 0$ (2); коэффициент теплоотдачи $\alpha \rightarrow \infty$ и при начальном условии $t_{\tau=0} = t_0$ (3) (температура пакета в начальный момент); x , $вт/м^2 \cdot град$.

Имеется решение уравнения (1) при условии $t_{x=0} = \psi_1(\tau)$:

$t_{x=0} = \psi_2(\tau)$; $t_{x=0} = \varphi(x)$ в виде бесконечного ряда,

$$t_{(x,\tau)} = \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{n\pi x}{\delta} \cdot e^{-\left(\frac{n\pi}{\delta}\right)^2 a\tau} \left[\frac{2}{\delta} \int_0^{\delta} \varphi(x) \sin \frac{n\pi x}{\delta} dx + \right. \\ \left. + \frac{2n\pi a^2}{\delta^2} \int_0^{\delta} e^{-\left(\frac{n\pi}{\delta}\right)^2 a\tau} \cdot (\psi_1(t) - (-1)^n \psi_2(t)) dt \right]. \quad (4)$$

Решив уравнение (4) при граничных условиях (2) и начальном условии (3) получим:

$$t_{(x,\tau)} = t_1 - (t_1 - t_2) \frac{x}{\delta} - \frac{4}{\pi} (t_1 - t_0) \left[e^{-\frac{\pi^2 a\tau}{\delta^2}} \sin \frac{\pi x}{\delta} + \right. \\ \left. + \frac{1}{3} e^{-\frac{3^2 \pi^2 a\tau}{\delta^2}} \sin \frac{3\pi x}{\delta} + \frac{1}{5} e^{-\frac{5^2 \pi^2 a\tau}{\delta^2}} \sin \frac{5\pi x}{\delta} + \dots \right]. \quad (5)$$

По формуле (5) можно найти температуру в определенной точке пакета по истечении времени τ . Чтобы найти температуру под слоем диафрагмы, достаточно одного члена ряда.

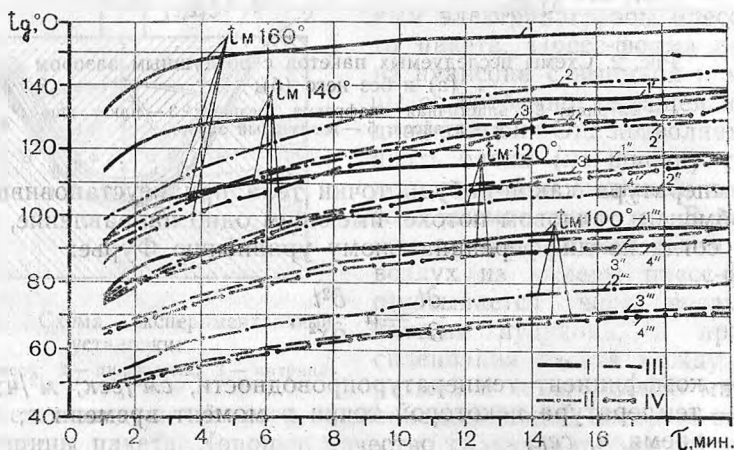


Рис. 3. Зависимость температуры рабочей поверхности диафрагмы от температуры матрицы и величины воздушного зазора: 1—4 — при температуре матрицы 160°C и зазоре σ , соответственно равном 0; 1,5; 3,0; 4,5 мм; 1'—4', 1''—4'', 1'''—4''' — при температуре матрицы, соответственно равной 140, 120, 100°C. I—IV— $\delta = 0$; 1,5; 3; 4,5 мм соответственно.

Для определения в формуле (5) члена $e^{-\left(\frac{n\pi}{\delta}\right)^2 a\tau}$ подсчитываем значение $\left(\frac{n\pi}{\delta}\right)^2 a\tau = \kappa_n$ и затем по табл. 2, приведенной в работе [1], определяем член $e^{-\kappa_n}$. Коэффициент теплопроводности a пакета березового шпона в зависимости от его влажности и температуры в клеевом слое можно определить по графику (рис. 3).

При исследовании в качестве диафрагмы применялась резина сантехническая толщиной 3 мм. Коэффициенты температуро- и теплопроводности a ($см^2/сек$) и λ ($вт/м \cdot град$) резины толщиной 3,0 и 3,5 мм определены при температурах нагрева 30°C, 120 и 140°C в лаборатории теплофизики Белорусского государственного университета [2].

Таблица 1

Теплофизические свойства резины

Материал	Толщина, мм	Температура, °С	Коэффициент температуро-проводности a , $см^2/сек$
Резина сантехническая	3,0	30	$1,4 \cdot 10^3$
		120	$1,33 \cdot 10^3$
		140	$1,29 \cdot 10^3$
Резина сантехническая	3,5	40	$1,14 \cdot 10^3$
		120	$1,11 \cdot 10^3$
		140	$0,992 \cdot 10^3$

Из формулы (5) следует, что температура в какой-либо точке пакета зависит от температуры матрицы и пуансона, температуро-проводности материала, начальной температуры диафрагмы и пакета шпона.

Для сопоставления сходимости теоретических расчетов с результатами опытов выполнено экспериментальное исследование на лабораторной установке (см. рис. 1). Прогрев пакета определялся при температуре матрицы от 100 до 160°C через каждые 20°C. Для выявления влияния воздушного зазора определение прогрева диафрагмы производилось при численной величине зазора (δ), равной 0 мм; 1,5; 3,0 и 4,5 мм, что достигалось уменьшением толщины пакета на соответствующую величину. Пакеты набирались из берегового шпона толщиной 1,5 мм, влажностью от 8 до 10% без нанесенного клея. При проведении опытов в камере пресс-формы поддерживался вакуум 0,8 $кг/см^2$.

Результаты опытов обработаны методом вариационной статистики и приведены в отчете [2]. Установлена зависимость температуры рабочей поверхности диафрагмы от температуры матрицы, численной величины воздушного зазора и продолжительности прогрева.

Исследование позволило установить необходимую температуру рабочей поверхности диафрагмы. С целью проверки равномерности двустороннего обогрева пакета с нанесенным на листы шпона клеем М-19-62 выполнена 2-я серия запрессовок. Температура рабочих поверхностей пуансона и матрицы принята соответственно

$120 \pm 2^\circ\text{C}$ и $130 \pm 2^\circ\text{C}$. Температура на рабочей поверхности матрицы $130 \pm 2^\circ\text{C}$ позволяет получить температуру на рабочей поверхности диафрагмы $120 \pm 2^\circ\text{C}$ при условии отсутствия воздушного зазора между матрицей и диафрагмой.

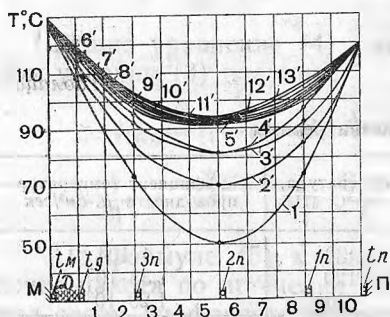


Рис. 4. Динамика прогрева пакета в вакуумно-пневматической пресс-форме:

1, 2, 3, ..., 10 — листы шпона в пакете; М — матрица; Д — диафрагма; П — пуансон; $t_m, t_g, 3n, 2n, 1n$ и t_n — термометры; 1', 2', 3', ..., 13' — время нагрева листов шпона, мин.

рабочей поверхности матрицы должна быть 127°C , пуансона — 120°C . Так как наиболее благоприятные условия для равномерного обогрева прессуемых пакетов в вакуумно-пневматических пресс-формах создаются, когда воздушного зазора между матрицей и диафрагмой нет, то при проектировании необходимо предусматривать выемку в пуансоне, не превышающую толщины прессуемого блока. Целесообразно прессование блоков в вакуумно-пневматических пресс-формах производить без воздушного зазора между матрицей и диафрагмой. Предварительный нагрев диафрагмы до 90°C создает возможность интенсивного повышения температуры и выравнивания ее на рабочей поверхности диафрагмы.

Результаты выполненных экспериментов достаточно хорошо совпали с расчетами.

Выводы

1. Вакуумно-пневматические пресс-формы необходимо проектировать так, чтобы исключалась возможность образования значительного воздушного зазора между матрицей и диафрагмой.

2. Температуру в какой-либо точке (на расстоянии x от поверхности пакета) через промежуток времени t можно определить по формуле

Результаты исследований сведены в графики (рис. 3, 4). Из рис. 4 видно, что пакеты прогревались равномерно. Когда воздушного зазора между матрицей и диафрагмой не было, наблюдался интенсивный нагрев диафрагмы. С увеличением воздушного зазора, вследствие очень малой теплопроводности воздуха $\lambda = 0,0023 \text{ вт/м}\cdot\text{град}$, интенсивность нагрева снижается. При отсутствии воздушного зазора температура матрицы должна быть выше заданной (рабочей) температуры диафрагмы примерно на 10°C .

Таким образом, для получения симметричного температурного поля при двустороннем контактом нагреве пакета температура на

$$t_{(x,\tau)} = t_1 - (t_1 - t_2) \frac{x}{\delta} - 1,27 (t_1 - t_0) \left[e^{-\frac{\pi^2 a \tau}{\delta^2}} \sin \frac{\pi x}{\delta} + \frac{1}{3} e^{-\frac{9\pi^2 a \tau}{\delta^2}} \sin \frac{3\pi x}{\delta} + \frac{1}{5} e^{-\frac{25\pi^2 a \tau}{\delta^2}} \sin \frac{5\pi x}{\delta} + \dots \right].$$

3. С достаточной для практики точностью соотношение температур матрицы, пуансона и рабочей поверхности диафрагмы можно определить, пользуясь формулой.

$$t_{(x,\tau)} = \frac{t_{(x,\tau)} - t_2 \frac{x}{\delta} - A t_0}{1 - \frac{x}{\delta} - A}; \quad A = 1,27 e^{-\frac{\pi^2 a \tau}{\delta^2}} \sin \frac{\pi x}{\delta},$$

где $t_{(x,\tau)}$ — температура на рабочей поверхности диафрагмы;

$$t_{(x,\tau)} = t_2; \quad \tau = 5 \text{ мин} = 300 \text{ сек};$$

x — толщина диафрагмы, см;

δ — толщина пакета, см (толщина диафрагмы и пакета из шпона);

t_2 — температура пуансона, °С;

a — коэффициент температуропроводности, см²/сек;

τ — время, сек.

Литература

- [1] Н. М. Кириллов. Расчет процессов тепловой обработки древесины при интенсивном теплообмене. М.—Л., 1959. [2] Отчет по теме «Определение оптимальных режимов для различных способов прессования мебельных блоков из шпона». Минск, 1970.