

II. ТЕХНОЛОГИЯ КЛЕЕНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПЛИТ

УДК 674-419.3

В.П.Артемова, канд.техн.наук,
В.Л.Ганжа, канд.техн.наук, Г.И.Журавский

К ВОПРОСУ О ТЕПЛОВОЙ ЗАДАЧЕ ПРИ ПРОФИЛЬНОМ ПРЕССОВАНИИ СЛОИСТОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Правильный выбор режимных характеристик является одним из наиболее важных моментов в разработке технологии прессования гнукоткленых деталей. Трудности, связанные с отысканием оптимального режима, возникают вследствие того, что теоретическая сторона процесса профильного прессования деталей из шпона в жестких пресс-формах с горячим обогревом мало изучена, а явления, протекающие внутри пакета, недостаточно исследованы.

Режим прессования характеризуется тремя основными величинами: давлением, температурой греющих поверхностей пресс-формы и временем приложения давления или продолжительностью прессования, т.е. время, за которое температура в наиболее удаленном от греющих поверхностей пресс-формы клеевом слое достигнет величины, необходимой и достаточной для быстрого завершения процесса поликонденсации клея с достижением высокой прочности клеевого соединения.

Такой подход и был использован в [1]. Но из-за сложности задачи при ее аналитическом решении был принят ряд упрощений и допущений, среди которых наименее корректным [2] оказалось пренебрежение изменением толщины пакета в процессе прессования (упрессовкой) и расходом тепла на поликонденсацию связующего и удаление вносимой с ним влаги. В результате при сопоставлении расчетных и экспериментальных данных наблюдались значительные расхождения, увеличивающиеся с ростом времени выдержки пакетов в пресс-форме.

Принимая во внимание происходящее во время прессования изменение толщины пакета, в данной работе была сделана попытка получить аналитическое решение. Остальные же предположения взяты аналогично [1], т.е. задача рассматривалась в следующей постановке:

дифференциальное уравнение теплопроводности

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right), \quad (1)$$

где a - температуропроводность; τ - время; t - температура.
Крайевые условия

начальное

$$t(r, \tau)/\tau = 0 = T_H, \quad (2)$$

граничные

$$\begin{cases} t(R, \tau) = T_r; \\ t(r_0, \tau) = T_r, \end{cases} \quad (3)$$

где T_H , T_r - соответственно начальная температура и температура греющих поверхностей; R , r_0 , r - радиусы, $R = f(\tau)$. Известно, что функция

$$t = \frac{Q'}{4\pi a \tau} \exp\left(-\frac{r^2 + r'^2}{4a\tau}\right) \cdot I_0\left(\frac{r \cdot r'}{2a\tau}\right) \quad (4)$$

удовлетворяет уравнение (1). Она имеет смысл мгновенного цилиндрического источника мощностью Q' , расположенного так, что его ось совпадает с осью z цилиндрической системы координат, а его радиус равен r' .

Согласно методу, примененному в [3], решение задачи можно получить в виде

$$\begin{aligned} t(r, \tau) = & \frac{1}{4\pi a \tau} \int_0^{\infty} T_H \exp\left(-\frac{r^2 + r'^2}{4a\tau}\right) \cdot I_0\left(\frac{r \cdot r'}{2a\tau}\right) dr' + \\ & + \frac{1}{4\pi a \tau} \left\{ \int_0^{r_0} W_1(r') \exp\left(-\frac{r^2 + r'^2}{4a\tau}\right) \cdot I_0\left(\frac{r \cdot r'}{2a\tau}\right) dr' + \right. \\ & \left. + \int_0^{\infty} W_2(r') \exp\left(-\frac{r^2 + r'^2}{4a\tau}\right) \cdot I_0\left(\frac{r \cdot r'}{2a\tau}\right) dr' \right\}, \quad (5) \\ & R(\tau) \end{aligned}$$

где $W_1(r')$ - цилиндрический источник, расположенный во внутреннем по отношению к пакету пространстве, $0 < r' \leq r_0$; $W_2(r')$ - цилиндрический источник, расположенный во внешнем по отношению к пакету пространстве, $R(\tau) \leq r' \leq \infty$, если $W_1(r')$ и $W_2(r')$ удовлетворяют краевые условия.

Принимая во внимание последнее и подставляя (3) в (5), получим систему интегральных уравнений для определения функций $W_1(r')$ и $W_2(r')$:

$$\begin{aligned}
 T_r = & \frac{1}{4\pi a \tau} \exp\left(-\frac{r_0^2}{4a\tau}\right) \left[T_H \int_0^\infty \exp\left(-\frac{r_0^2}{4a\tau}\right) \times \right. \\
 & I_0\left(\frac{r_0 \cdot r'}{2a\tau}\right) dr' + \int_0^{r_0} W_1(r') \exp\left(-\frac{r'^2}{4a\tau}\right) I_0\left(\frac{r_0 \cdot r'}{2a\tau}\right) dr' + \\
 & \left. + \int_{R(\tau)}^\infty W_2(r') \exp\left(-\frac{r'^2}{4a\tau}\right) \cdot I_0\left(\frac{r_0 \cdot r'}{2a\tau}\right) dr' \right]; \\
 T_r = & \frac{1}{4\pi a \tau} \exp\left(-\frac{R(\tau)^2}{4a\tau}\right) \left[T_H \int_0^\infty \exp\left(-\frac{r'^2}{4a\tau}\right) \times \right. \\
 & \times I_0\left(\frac{R(\tau) \cdot r'}{2a\tau}\right) dr' + \int_0^{r_0} W_1(r') \exp\left(-\frac{r'^2}{4a\tau}\right) \times \\
 & \times I_0\left(\frac{R(\tau) \cdot r'}{2a\tau}\right) dr' + \int_{R(\tau)}^\infty W_2(r') \exp\left(-\frac{r'^2}{4a\tau}\right) \times \\
 & \left. \times I_0\left(\frac{R(\tau) \cdot r'}{2a\tau}\right) dr' \right]. \tag{7}
 \end{aligned}$$

Входящие в уравнения (6) и (7) функции Бесселя $I_0\left(\frac{r_0 \cdot r'}{2a\tau}\right)$ и $I_0\left(\frac{R(\tau) \cdot r'}{2a\tau}\right)$, в которых для удобства записи переменные $\frac{r_0 \cdot r'}{2a\tau}$ и $\frac{R(\tau) \cdot r'}{2a\tau}$ обозначим через x ,

заменим приближением

$$I_0(x) \approx \frac{\exp x}{\sqrt{2\pi x}} \left[1 + \frac{1^2}{1! 8x} + \frac{1^2 \cdot 3^2}{2! (8x)^2} + \dots \right], \quad (8)$$

где на практике значения x сравнительно велики, с достаточной точностью можно ограничиться двумя членами ряда. В результате для функций $W_1(r')$ и $W_2(r')$ получим следующие выражения:

$$W_1(r') = -T_r \frac{2a\tau}{r' r_0} \cdot \frac{\exp\left(\frac{r'^2 - r_0^2}{4a\tau}\right)}{I_0\left(\frac{r_0}{2a\tau}\right)}; \quad (9)$$

$$W_2(r') = +T_r \frac{4\pi\tau R(\tau)}{r'^3} \cdot \frac{\exp\left(\frac{r'^2 + R(\tau)^2}{4a\tau}\right)}{I_0\left(\frac{R(\tau) \cdot r'}{2a\tau}\right)}. \quad (10)$$

А температура среднего слоя, как бы определяющая продолжительность прессования, выразится соотношением

$$T_{\text{ср}}(\tau) = \frac{T_H}{2\pi} \exp\left[-\frac{(R(\tau) + r_0^2)}{8a\tau}\right] + \frac{1}{4\pi a\tau} \exp\left[\frac{(R(\tau) + r_0^2)^2}{16a\tau}\right] \times \\ \times \left\{ \int_0^{r_0} W_1(r') r' \exp\left(-\frac{r'^2}{4a\tau}\right) \cdot I_0\left[\frac{(R(\tau) + r_0) r'}{4a\tau}\right] dr' + \right. \\ \left. + \int_{R(\tau)}^{\infty} W_2(r') r' \exp\left(-\frac{r'^2}{4a\tau}\right) \cdot I_0\left[\frac{(R(\tau) + r_0) r'}{4a\tau}\right] dr' \right\}. \quad (11)$$

Для сопоставления расчетных (11) и экспериментальных значений температуры среднего слоя были проведены опыты с пакетами из березового шпона толщиной 1,15 мм, которые проводились в жесткой пресс-форме с $r_0 = 54$ мм и $R = 76$ мм, описанной в [1]. Одновременно измерялось и изменение толщины пакетов в процессе прессования. Методика экспериментов изложена в [1].

На рис. 1 представлены данные, характеризующие изменение толщины пакета в процессе прессования. Результаты были обработаны аналогично [2]. Как видно из рис. 1, уравнение

$$S(\tau) = S_0 \left[1 - 0,13 \exp\left(-\frac{0,05}{\tau}\right) \right], \quad (12)$$

где S_0 - первоначальная толщина пакета.

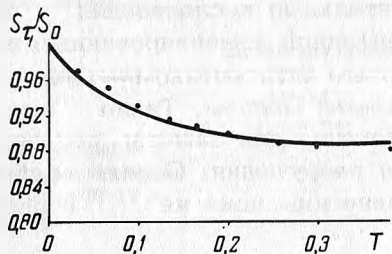


Рис. 1. Изменение отношения S/S_0 во времени (кривая соответствует уравнению (12): 1 - экспериментальные данные.



Рис. 2. Изменение температуры среднего слоя пакета во времени: 1 - экспериментальные данные; 2 - расчетные значения по [1]; 3 - расчетные значения по формуле (11).

С высокой точностью описывает средние значения величин отношение $S(\tau)/S_0$. Уравнение (12) было использовано в дальнейшем для нахождения $R(\tau)$, входящих в выражение (11):

$$R(\tau) = r_0 + S(\tau), \quad (13)$$

где $S(\tau)$ - толщина пакета в процессе прессования.

Приведенные на рис. 2 данные показывают влияние изменения толщины пакетов, происходящего в процессе прессования, на скорость прогрева прессуемых деталей.

Л и т е р а т у р а

1. Артемова В.П. Исследование процесса прессования деталей из шпона в жестких пресс-формах. Автореф. канд.дис. Минск, 1970. 2. Артемова В.П., Ганжа В.Л., Журавский Г.И. К расчету прогрева клееной слоистой древесины при профильном прессовании. - "Изв. АН БССР, сер. физико-энергетических наук", № 2, Минск, 1977. 3. Артемова В.П., Ганжа В.Л., Журавский Г.И. О прогреве клееной слоистой древесины при изменении ее толщины в процессе прессования. - В сб.: Механическая технология древесины, вып. 6, Минск, 1976.