

В. П. Артемова, В. Л. Ганжа

### К РАСЧЕТУ ПРОГРЕВА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ШПОНА ГЛУБОКОГО ПРОФИЛЯ

В последнее время широкое применение получили гнукотклееные детали из шпона. Однако до сих пор не существует научно обоснованных рекомендаций по выбору режимных характеристик их прессования.

Одним из основных технологических параметров прессования является время прессования [1], т. е. время прогрева пакета. Это — время, за которое температура в наиболее удаленном от рабочих поверхностей пресса клеевом слое достигнет величины, необходимой и достаточной для завершения процессов поликонденсации клея.

Чтобы получить выражение для расчета времени прогрева, необходимо определить температурное поле  $t(r, \tau)$  поперечного сечения пакета. Так как в нашем случае тепло от матрицы и пуансона передается с двух сторон только в радиальном направлении и изменение температуры пакета в процессе прессования происходит постепенно в зависимости от времени, то, пренебрегая торцовыми потерями тепла, получим симметричную задачу одномерного нестационарного теплового потока, которая математически сводится к интегрированию линейного дифференциального уравнения:

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

где  $t$  — температура некоторой точки с радиусом  $r$  ( $r_0 < r < R$ ) в момент времени  $\tau$ ;

$a$  — коэффициент температуропроводности пакета;

$R, r_0$  — соответственно больший и меньший радиусы прессформы.

Приняв допущения, перечисленные в [1] при решении задачи прогрева пакета при плоском прессовании, проинтегрируем уравнение (1) при следующих граничных и начальном условиях:

$$t(r_0, \tau) = t(R, \tau) = t_r = \text{const}; \quad (2)$$

$$t(r, 0) = t_n = \text{const},$$

где  $t_n$  — начальная температура пакета;

$t_r$  — температура рабочих поверхностей прессформы.

При этом воспользуемся решением, полученным в [2], учтя лишь направление теплового потока:

$$\frac{t_r - t}{t_r - t_n} = \pi \sum_{i=1}^{\infty} \frac{I_0(n_i R)}{I_0(n_i r_0) + I_0(n_i R)} e^{-an^2 \tau} V_0(n_i r). \quad (3)$$

Для практических расчетов в производстве гнукотклееных деталей с достаточной точностью можно ограничиться лишь первым членом ряда. Для этого необходимо знать первый корень трансцендентного уравнения

$$I_0(nR) Y_0(nr_0) - I_0(nr_0) Y_0(nR) = 0. \quad (4)$$

Вводя обозначения

$$\frac{R}{r_0} = k, \quad nr_0 = \mu,$$

уравнение (4) можно написать в виде

$$I_0(\mu) Y_0(k\mu) - I_0(k\mu) Y_0(\mu) = 0. \quad (5)$$

Для определения корней уравнения (5) удобно пользоваться формулой Мак-Магона [3]

$$\mu_i = \beta + \frac{P}{\beta} + \frac{m - P^2}{\beta^3} + \frac{l - 4mP + 2P^3}{\beta^5} + \dots, \quad (6)$$

где, в случае функций Бесселя нулевого порядка,

$$\beta = \frac{i\pi}{k-1}; \quad P = -\frac{1}{8k}; \quad m = \frac{100(k^3-1)}{3(8k)^3(k-1)};$$

$$l = -\frac{32 \cdot 1073(k^5-1)}{5(8k)^5(k-1)}.$$

В нашем случае с достаточной точностью можно взять

$$\mu_1 = \frac{\pi}{k-1}. \quad (7)$$

Таким образом, окончательно выражение (3) можно представить в виде, удобном для практических расчетов;

$$\frac{t_r - t}{t_r - t_H} = \pi \frac{I_0(\mu_1 k)}{I_0(\mu_1) + I_0(\mu_1 k)} e^{-a \frac{\mu_1^2}{r_0^2} \tau} V_0\left(\mu_1 \frac{r}{r_0}\right), \quad (8)$$

откуда

$$\tau = \frac{r_0^2}{a \mu_1^2} \ln \left[ \frac{t_r - t}{t_r - t_H} \pi \frac{I_0(\mu_1 k)}{I_0(\mu_1) + I_0(\mu_1 k)} V_0\left(\mu_1 \frac{r}{r_0}\right) \right], \quad (9)$$

где  $V_0\left(\mu_1 \frac{r}{r_0}\right) = I_0\left(\mu_1 \frac{r}{r_0}\right) Y_0(\mu_1) - I_0(\mu_1) Y_0\left(\mu_1 \frac{r}{r_0}\right).$  (10)

Для нахождения значений бесселевых функций можно воспользоваться таблицами [4]. Коэффициент температуропроводности в зависимости от породы древесины, направления волокон, влажности и температуры может быть взят по данным [1].

Так как в практике производства гнукотклееных деталей значения  $k$ , как правило, находятся в пределах  $1,2 \leq k \leq 2$ , в табл. 1 для удобства расчета приведены значения комплекса  $\frac{I_0(\mu_1 k)}{I_0(\mu_1) + I_0(\mu_1 k)} V_0\left(\mu_1 \frac{r}{r_0}\right)$ , входящего в выражение (9), для  $k$  от 1,2 до 2 через 0,1.

Значения комплекса, входящего в выражение (9), для  $k$  от 1,2 до 2

$k$	$\frac{I_0(\mu_1 k)}{I_0(\mu_1) + I_0(\mu_1 k)} V_0 \left( \mu_1 \frac{r}{r_0} \right)$
1,2	0,4039102
1,3	0,404035
1,4	0,3974893
1,5	0,415775
1,6	0,361467
1,7	0,394234
1,8	0,4034
1,9	0,412682
2,0	0,4041

Для практических приближенных расчетов с погрешностью до 10% можно предложить следующее выражение:

$$\tau = \frac{(k-1)^2 r_0^2}{10a} \ln \left( 1,2 \frac{t_r - t_n}{t_r - t} \right). \quad (11)$$

Выражения (9) и (11) также вполне характеризуют картину физических процессов прессования слоистой древесины глубокого профиля. Из них видно, что увеличение толщины пакетов  $\delta$  значительно повышает время прогрева, а следовательно, уменьшает производительность прессования. Увеличение температуры рабочих поверхностей прессформы, наоборот, уменьшает время прогрева. Повышение влажности пакета вы-

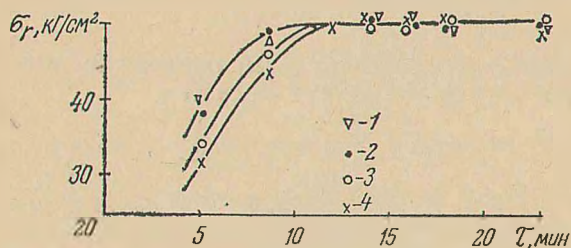


Рис. 1. Экспериментальные кривые зависимости  $\sigma_r = f(\tau)$ . Давления прессования, кГ/см²: 1 — 30; 2 — 15; 3 — 12; 4 — 10.

зывает уменьшение температуропроводности его [1], что увеличивает время прогрева. С ростом удельного давления повышается скорость прогрева пакета, что учитывается коэффициентом  $a$  [1]. Коэффициентом  $a$  учитывается и изменение  $\tau$  в зависимости от породы древесины.

На рис. 1 представлены результаты экспериментального исследования времени прессования гнукотклееных деталей U-образного профиля. Критерием качества процесса поликонденсации клея при исследованных временах прессования было взято  $\sigma_r$ . Полученные данные представлены в виде зависимости  $\sigma_r = f(\tau)$  при постоянных температуре греющих поверхностей и удельном давлении. Результаты экспериментов обрабатывались методом вариационной статистики. Показатель точности во всех случаях не превышал 3,6%.

Как видно из графика, оптимальным временем прессования для условий наших экспериментов (пакет  $\delta = 22$  мм из березового шпона,  $R = 57$  мм,  $t_r = 130^\circ\text{C}$ , клей — М 19-62) является  $12 \pm 2$  мин. Такой же результат получается и при расчете по формуле (11). Интересно отметить, что, как показывают экспериментальные данные, процессе прогрева пакета при  $q = 15$  кГ/см<sup>2</sup> (в пределах точности экспериментов) совпадают с прогревом при  $q = 30$  кГ/см<sup>2</sup> (при прочих одинаковых условиях), что, очевидно, объясняется близкими значениями коэффициентов температуропроводности при указанных удельных давлениях. Опыты также подтвердили сделанные из выражений (9, 11) выводы о влиянии удельного давления на продолжительность прессования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. М. Кириллов. Основы графоаналитических методов расчета режимов термической обработки древесины. Л., 1956.
2. П. П. Юшков. Функции Бесселя и их приложения к задачам об охлаждении цилиндра. Минск, 1962.
3. Э. Грей, Г. Метьюз. Функции Бесселя и их приложения к физике и механике. М., 1949.
4. Э. А. Чистова. Таблицы функций Бесселя от действительного аргумента и интегралов от них. М., 1958.