

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМООБРАБОТКИ КОМБИНИРОВАННЫХ ВЫСОКОУСАДОЧНЫХ НИТЕЙ

Асп. Ясинская Н.Н., доц. Ольшанский В.И., проф. Коган А.Г.
(Витебский государственный технологический университет)

Исследование процесса термообработки комбинированной высокоусадочной нити показало, что продолжительность процесса значительно увеличивается по сравнению с продолжительностью термообработки комплексной полиэфирной высокоусадочной нити. Процесс термообработки при больших скоростях затрудняется, так как требуется обеспечить быстрое прогревание нити. Обеспечить быстрое прогревание нити по принципу конвекционного теплообмена можно используя потоки циркулирующего в термокамере горячего воздуха (вынужденная конвекция).

С целью определения оптимальных параметров процесса термообработки в условиях вынужденной конвекции для достижения максимального равновесного значения усадки необходимо установить закон распределения температуры по толщине комбинированной высокоусадочной нити. Рассмотрим систему двух бесконечных цилиндрических тел. В начальный момент времени система помещается в среду с температурой $T_C > T_0$. Теплообмен между покрытием и средой происходит по закону вынужденного конвективного теплообмена между поверхностью нити и окружающей средой при постоянном потоке тепла по закону [1]:

$$q_n = a(T_n - T_C) \quad (1)$$

где: a - коэффициент теплообмена ($\text{Вт}/\text{м}^2\text{град}$)

T_n - температура на поверхности нити;

T_C - температура среды.

Граничные условия будут иметь вид:

$$\frac{\partial T_1}{\partial \tau} = a_1 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) (r) 0; r \leq r \leq R_1 \quad (2)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} (\tau) 0; R_1 \leq r \leq R_2 \quad (3)$$

$$T_1(r, 0) = T_2(r, 0) = T_0 = \text{const} \quad (4)$$

$$T_1(R_1, \tau) = T_2(R_1, \tau); \lambda_1 \frac{\partial T_1(R_1, \tau)}{\partial \tau} = \lambda_2 \frac{\partial T_2(R_2, \tau)}{\partial \tau} \quad (5)$$

$$T_1(0, \tau) \rightarrow \infty; -\lambda_2 \frac{\partial T_2(R_2, \tau)}{\partial \tau} + \alpha [T_C - T_2(R_2, \tau)] = 0 \quad (6)$$

Используя преобразования Лапласа, получим решение в виде:

$$\frac{T_2(r, \tau) - T_0}{T_C - T_0} = 1 - \left[\sum_{n=1}^{\infty} A_n \left[J_0(\mu_n) \cos \mu_n K_a^{1/2} \left(\frac{r}{R_1} - 1 \right) \right] - \right. \\ \left. K_{\Sigma} J_1(\mu_n) \sin \left[\mu_n K_a^{1/2} \left(\frac{r}{R_1} - 1 \right) \right] \right] \exp(-\mu_n^2 F_0) \quad (7)$$

где: μ_n - корни характеристического уравнения в интегральном преобразовании Лапласа функции (7).

$$J_0(\mu) \left[\text{Bi} \cos K_a^{1/2} (K_R - 1) \mu - K_a^{1/2} \mu \sin K_a^{1/2} (K_R - 1) \mu \right] - K_{\Sigma} J_1(\mu) \times \\ \left[\text{Bi} \sin K_a^{1/2} (K_R - 1) \mu + K_a^{1/2} K_R \mu \cos K_a^{1/2} (K_R - 1) \mu \right] = 0 \quad (8)$$

где $K_R = \frac{R_2}{R_1}$; R_2 - радиус комбинированной высокоусадочной нити

R_1 - радиус стержневой высокоусадочной нити

$$K_a = \frac{a_1}{a_2}; K_{\Sigma} = \frac{K_{\lambda}}{\sqrt{K_a}}; K_{\lambda} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

$\text{Bi} = \frac{\alpha_2}{\lambda_2} R_2$ - критерий Био, характеризующий связь между полем температур в комбинированной высокоусадочной нити и условиями теплоотдачи на ее поверхности.

λ_2 - коэффициент теплоотдачи волокнистого покрытия

Учитывая, что $J_0(\mu_n) = 1$ и $J_1(\mu) = 0,52$ уравнение (8) преобразуется в виде:

$$\left[\text{Bi} \cos K_a^{1/2} (K_R - 1) \mu - K_a^{1/2} \mu \sin K_a^{1/2} (K_R - 1) \mu \right] - K_{\Sigma} 0,52 \times$$

$$\left[Bi \sin K_a^{1/2} (K_R - 1) \mu + K_a^{1/2} K_R \mu \cos K_a^{1/2} (K_R - 1) \mu \right] = 0 \quad (9)$$

Уравнение (9) позволяет определить значение корня μ характеристического уравнения, вычислив предварительно критерий Био. Поскольку, решение этого уравнения достаточно сложное, воспользуемся для определения корня μ характеристического уравнения графической зависимостью $\mu_1 = f(Bi)$, приведенной в [1]. В соответствии с рекомендациями при $Bi \approx 90$, значения $\mu = 2,37$, $A_n = 1,6$. Тогда, уравнение (7) преобразуется следующим образом:

$$\frac{T_2(r, \tau) - T_0}{T_c - T_0} = 1 - [1,6 \cos(\mu K_a^{1/2} (\frac{R_2}{R_1} - 1)) - K_\Sigma 0,52 \sin(\mu K_a^{1/2} (\frac{R_1}{R_2} - 1))] \exp(-\mu^2 Fo)$$

Откуда температура комбинированной высокоусадочной нити в момент времени τ в условиях вынужденного конвективного теплообмена равна:

$$T_2(r, \tau) = T_0 + (T_c - T_0) * (1 - [1,6 \cos(2,37 K_a^{1/2} (\frac{R_2}{R_1} - 1)) - K_\Sigma 0,52 \sin(2,37 K_a^{1/2} (\frac{R_1}{R_2} - 1))] \exp(-5,62 \frac{a_2 \tau}{R_2})) \quad (10)$$

где T_0 – начальная температура комбинированной высокоусадочной нити, $^{\circ}C$

T_c – температура сухого воздуха в термокамере, $^{\circ}C$

K_a – критерий, характеризующий теплоинерционные свойства волокон покрытия относительно стержневой полиэфирной высокоусадочной нити

K_Σ – критерий, характеризующий тепловую активность стержневой высокоусадочной нити по отношению к волокнистой оболочке покрытия

R_1 – радиус стержневой высокоусадочной нити, м

R_2 – радиус комбинированной высокоусадочной нити, м

a_2 – коэффициент температуропроводности волокнистого покрытия, m^2/c

τ – время процесса термообработки, сек.

Полученное уравнение использовалось для определения закона распределения температуры по толщине хлопколавсановой высокоусадочной нити линейной плотности 40 текс в условиях вынужденной конвекции. Из полученных графических (рис.1) зависимостей видно, что нестационарная теплопередача для вынужденного конвективного теплообмена имеет следующие характерные участки: участок АВ характеризуется прогреванием внешней оболочки нити, ВС – прогревание хлопкового покрытия, CD – прогревание стержневой высокоусадоч-

ной нити и выравнивание температуры центральной части нити с температурой воздуха в термокамере. Отличительной особенностью этого процесса является сокращение времени τ_1 , необходимого для прогрева нити до температуры, при которой начинается усадка (температуры стеклования $T_{ст}$). С повышением температуры воздуха в термокамере процесс прогрева нити ускоряется. Расчет температуры прогрева центральной части комбинированной высокоусадочной нити проводился с использованием математической системы Maple V.

Теоретическое и экспериментальное исследование процесса термообработки комбинированных высокоусадочных нитей в условиях вынужденной конвекции показало, что интенсификацию процесса потоками циркулирующего воздуха целесообразно проводить при содержании высокоусадочного компонента в комбинированной нити меньше 60%.

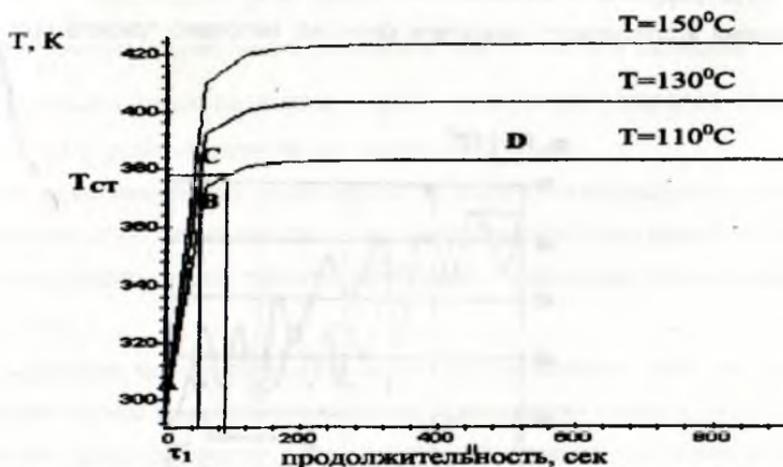


Рис. 1 Зависимость температуры прогрева центральной части хлопколавсановой высокоусадочной нити линейной плотности 40текс от продолжительности процесса термообработки.

Литература

Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа. 1967. – 383с.