

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРОЦЕССА
ТЕРМООБРАБОТКИ КОМБИНИРОВАННЫХ
ПНЕВМОТЕКСТУРИРОВАННЫХ ВЫСОКОУСАДОЧНЫХ
НИТЕЙ**

Ясинская Н.Н., Ольшанский В.И.

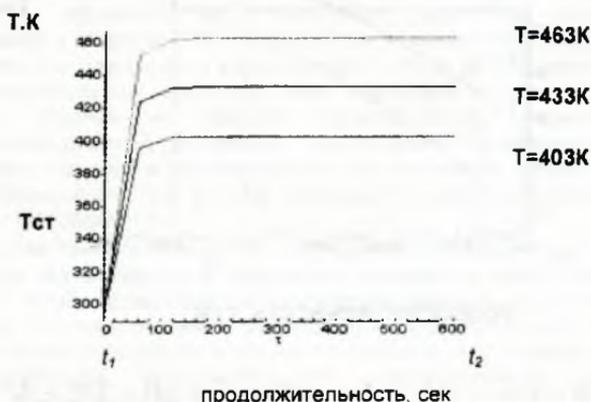
(ВГТУ)

Теоретическое исследование закона распределения температуры в нестационарных условиях прогрева комбинированной пневмотекстурированной высокоусадочной нити от продолжительности процесса термообработки показало, что интенсивность процесса практически не зависит от содержания высокоусадочного компонента (рис.1). Для сравнительного анализа теоретических и экспериментальных результатов была выбрана зависимость усадки комбинированной пневмотекстурированной нити с 30%-ным и 90%-ым содержанием высокоусадочного компонента от продолжительности процесса термообработки. Рассмотрим вариант с максимальным содержанием высокоусадочного компонента (рис.2).

Исследование полученных зависимостей показало наличие двух временных областей с разными закономерностями усадки, очевидно, связанными с различием механизмов процессов.

За промежуток времени τ_1 (рис.1) центр стержневой высокоусадочной нити прогрелся до температуры стеклования ($T_{ст}=100-120^{\circ}\text{C}$), а элементарные нити, находящиеся на периферии достигли этой температуры намного раньше. С повышением температуры воздуха в термокамере от 130°C до 190°C прогревание нити до температуры стеклования $T_{ст}$ ускоряется.

Рис.1. Зависимость температуры прогрева комбинированной пневмотекстурированной высокоусадочной нити от продолжительности процесса термообработки.



За это время происходит основная часть процесса усадки (рис.3) комбинированной пневмотекстурированной высокоусадочной нити ($U_{\tau_1} = 0,7 U_{\text{равновесная}}$). При дальнейшем нагревании скорость процесса резко уменьшается, что связано с «насыщением»

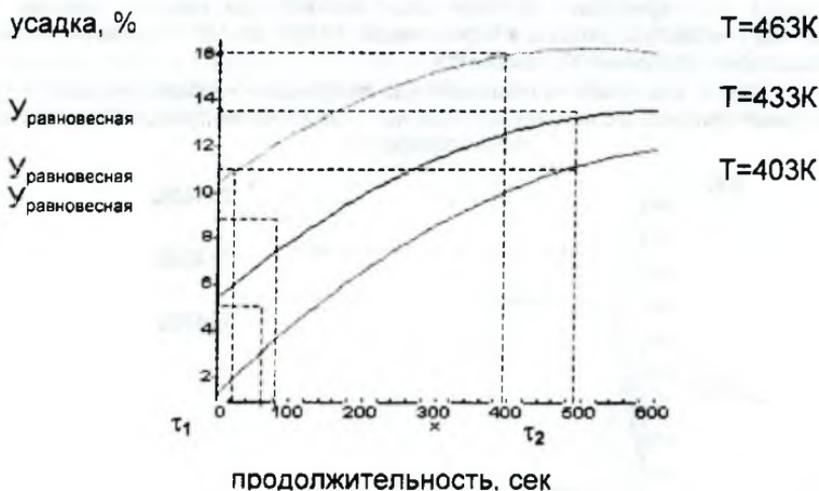
аморфных областей высокоусадочной полиэфирной нити новыми межмолекулярными связями. За промежуток времени τ_2 нить полностью прогревается до заданной температуры, и релаксационные процессы завершаются, усадка достигает своего равновесного значения при данной температуре. Поскольку усадка является термоактивационным процессом, с повышением температуры величина усадки в момент времени τ_1 возрастает, равновесное значение усадки достигается быстрее.

Расчетные данные температуры прогревания комбинированной пневмотекстированной высокоусадочной нити показывают, что центральная часть нити прогревается до заданной температуры за 480 сек (8 мин). Экспериментально установлено, что оптимальная продолжительность термообработки для достижения равновесного значения усадки также равна 8-8,5 мин.

При термообработке комбинированной пневмотекстированной нити с 30%-ым содержанием высокоусадочного компонента (рис.2), скорость релаксационных процессов в промежуток времени $0-\tau_1$ при $T = 130^\circ\text{C}$ значительно уменьшается. Значение усадки в момент τ_1 $U = 0,2U_{\text{равновесная}}$.

Это объясняется наличием сил, оказывающих сопротивление усадке, в частности, сил трения, обусловленных присутствием низкоусадочного компонента, и не связано с изменением продолжительности прогревания комбинированной пневмотекстированной высокоусадочной нити. Рассмотрение в термодинамическом аспекте процесса термообработки высокоусадочной нити показывает, что он является самопроизвольно протекающим процессом с изменением свободной энергии системы, подчиняющийся уравнению:

Рис.2. Экспериментальная зависимость усадки комбинированной пневмотекстированной высокоусадочной нити с 30%-ым вложением высокоусадочного компонента от продолжительности процесса термообработки.



$$A = P\Delta L = \Delta U - T\Delta S + p\Delta V + A' = \Delta H - T\Delta S + A' \quad (1)$$

где: A - механическая работа внешних сил (работа усадки);

P - сила усадки;

ΔL - изменение длины нити;

- U - внутренняя энергия;
- S - энтропия;
- V - объем образца;
- H - теплосодержание;
- A^{δ} - прочие виды работ (преодоление внутреннего

трения и т.п.);

усадка. %

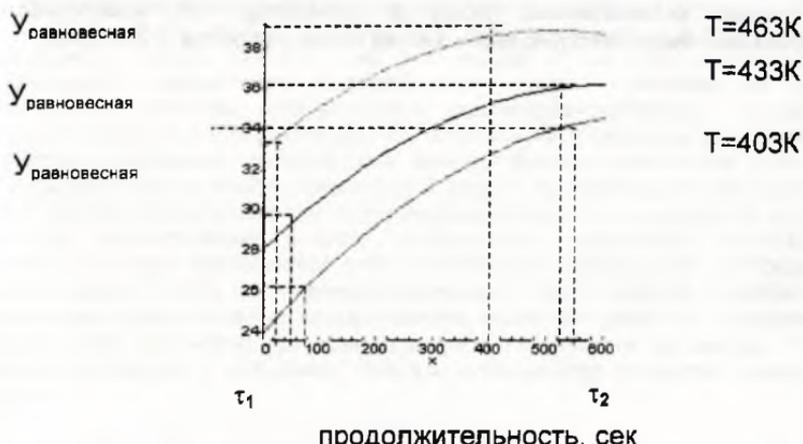


Рис.3. Экспериментальная зависимость усадки комбинированной пневмотекстурированной высокоусадочной нити с 90%-ым содержанием ву компонента от продолжительности процесса термообработки.

Для исследуемых нитей величины ΔV очень мала, поэтому $P\Delta V \ll r\Delta L$.

При проведении термообработки, по мере роста межмолекулярных взаимодействий происходит уменьшение теплосодержания системы ($\Delta H < 0$), а также увеличение энтропии системы (за счет дезориентационных процессов) $\Delta S > 0$. В соответствии с уравнением (1), независимо от соотношения абсолютных величин изменений теплосодержания и энтропии ($|T\Delta S| > |\Delta H|$) при термической обработке процесс идет самопроизвольно с совершением внешней работы ($A < 0$) за счет усадки нити. Наличие внешнего сопротивления (низкоусадочный компонент, крутка и т.п.) оказывает значительное влияние на процесс термообработки, незначительно меняя теплосодержание системы, но весьма сильно влияя на изменение подвижности сегментом макромолекул и соответственно на изменение энтропии. Чем больше внешнее сопротивление, тем меньше возможность конформационного перехода и связанная с этим усадка нити.

С увеличением температуры до 190 °С подвижность макромолекул увеличивается, скорость усадки увеличивается, за промежуток времени 0- τ_1 (рис.2) проходит основная часть усадки комбинированной пневмотекстурированной высокоусадочной нити. Исследование процесса термической обработки комбинированной нити с 30%-ным содержанием высокоусадочного компонента показало, что независимо от скорости протекания процесса, продолжительность термообработки для достижения равновесного значения усадки не изменяется.

Совместный анализ полученных теоретических и экспериментальных зависимостей, доказывает возможность практического использования уравнения

$$T(0, \tau) = T_c - (T_c - T_0) * e(-5.76 \frac{a \tau}{R^2}) \quad (2)$$

где $T(0, \tau)$ – температура на оси высокоусадочной нити в момент времени τ , °С

T_c – температура воздуха в термокамере, °С;

T_0 – исходная температура комбинированной высокоусадочной нити, °С;

a – коэффициент температуропроводности, м²/с;

R – радиус комбинированной пневмотекстурированной высокоусадочной нити, м;

τ – продолжительность термообработки, сек.

для описания релаксационных процессов, протекающих при термообработке комбинированных пневмотекстурированных нитей линейной плотности 20-100текс.