

УДК 677.027

АНАЛИЗ КИНЕТИКИ СУШКИ И ТЕРМООБРАБОТКИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ХИМИЧЕСКИХ НИТЕЙ

Н.Н. Ясинская*, Н.В. Скобова*, К.Э. Разумеев**

*Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь,

**Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технология. Дизайн. Искусство), Москва

Рассмотрены вопросы сушки и термообработки текстильных композиционных материалов, полученных способом пропитки тканых полотен их химических нитей водной дисперсией стиролакрилата. В результате анализа кинетики сушки установлена зависимость скорости первого и второго периодов сушки от концентрации водной дисперсии полимерного связующего, а также влияние природы волокнистого материала на общую продолжительность сушки. Разработаны и экспериментально подтверждены математические модели, позволяющие рассчитывать общую продолжительность сушки текстильных композиционных материалов, полученных способом пропитки водной дисперсией стиролакрилата концентрацией от 50 до 500 г/л.

Заключительными операциями технологии формирования текстильных композиционных материалов способом пропитки тканых полотен водными дисперсиями полимерных связующих являются сушка и термообработка. Правильностью их организации и проведения определяются потребительские, эксплуатационные, функциональные и другие свойства готовых материалов и изделий. Выбор рациональных режимов зависит от структуры, геометрических и тепловых свойств текстильных материалов, а также состава используемых полимерных связующих [1].

Объектами исследования являются тканые полотна из вискозных и полиамидных нитей крепового переплетения, пропитанные водной дисперсией стиролакрилата концентрацией от 50 до 500 г/л. Анализируя кинетику их конвективной сушки (рис. 1), можно выделить два характерных периода. На участке *AB* происходит быстрый подвод влаги к поверхности материала и испарение (период постоянной скорости сушки). В этом периоде удаляется основная часть влаги (механически связанной), содержащейся в сквозных и

межволоконных порах текстильного материала независимо от его сырьевого состава. В точке *B* начинается уменьшение скорости сушки, граница испарения перемещается к поверхности материала до тех пор, пока не удалится капиллярная влага (период падающей скорости сушки).

Как можно видеть, интенсивность сушки во втором периоде зависит от природы волокнистого материала. Для текстильных композиционных материалов из полиамидных нитей наклон участка *BC* больше, чем для материалов из вискозных нитей. Общую продолжительность сушки вискозных материалов определяет продолжительность периода падающей скорости (участок *BC*). На участке *CD* удаляется влага с физико-химической связью, и скорость сушки зависит от скорости ее диффузии внутри волокнообразующего полимера. Для материалов из синтетических нитей на этом участке влажность материала практически достигает равновесного значения.

Общая продолжительность сушки τ определяется по формуле [2, 3]

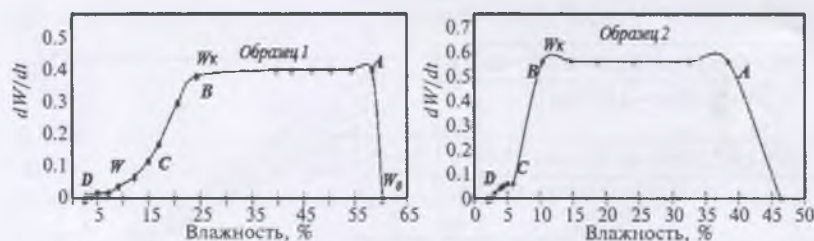


Рис. 1. Кинетика сушки текстильных композиционных материалов: образец 1 (560 г/м²) – вискозная ткань + полимерное связующее стиролакрилат 500 г/л; образец 2 (520 г/м²) – полиамидная ткань + полимерное связующее стиролакрилат 500 г/л.

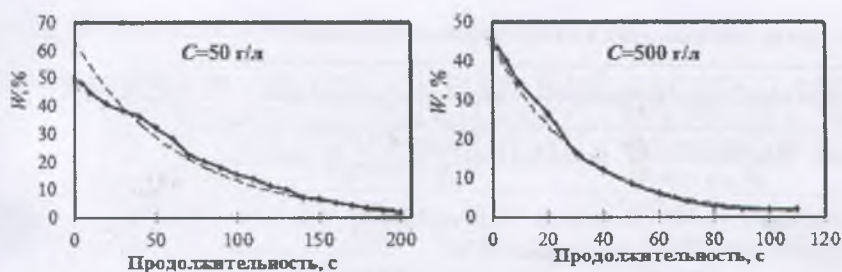


Рис. 2. Зависимость кинетики сушки текстильных композиционных материалов из полиамидных нитей от концентрации полимерного связующего (температура воздуха в сушильной камере $t_a = 140$ °С).

$$\tau_{1-2} = \frac{1}{N} \left[W_0 - W_{кр.п} + \frac{1}{c} \ln \frac{W_{кр.п} - W_p}{W_k - W_p} \right], \quad (1)$$

где N – скорость сушки в периоде ее постоянной скорости, %/ч; W_0 – начальная влажность, %; χ – относительный коэффициент сушки, зависящий от свойств материала и его начальной влажности (принимается равным 1/%), $W_{кр.п}$ – критическое приведенное влагосодержание, %; W_p – равновесное влагосодержание, %; W_k – критическое влагосодержание, %.

При сушке текстильных композиционных материалов особое значение имеет перемещение капиллярной влаги, количество которой зависит от природы волокнистого материала, пористости тканого полотна и концентрации полимерного связующего. Известно [4], что с увеличением пористости тканого полотна скорость сушки в первом и втором периодах возрастает. Одновременно с сушкой волокнистого материала происходит сушка водной дисперсии стиролакрилата, и интенсивность и общая продолжительность процесса зависят от концентрации дисперсии полимера [5]. Поэтому целью дальнейших исследований является исследование зависимости скорости сушки текстильных композиционных материалов из химических нитей от концентрации полимерного связующего.

С целью определения влияния концентрации связующего на интенсивность и общую продолжительность сушки проведены исследования сушки материалов из полиамидных и вискозных нитей в первом и втором периодах при различных концентрациях полимерного связующего (рис.2 и 3).

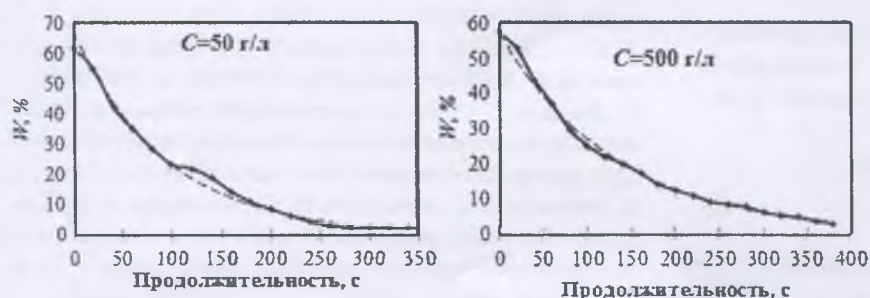


Рис. 3. Зависимость кинетики сушки текстильных композиционных материалов из вискозных нитей от концентрации полимерного связующего (температура воздуха в сушильной камере $t_a = 140$ °С).

Изменение концентрации полимерного связующего влияет на начальную влажность материала W_0 . Для композиционных материалов из гидрофобных полиамидных нитей начальная влажность W_0 уменьшается с 50.1% при концентрации дисперсии полимерного связующего 50 г/л до 45.8% при концентрации 500 г/л для материалов из гидрофильных вискозных нитей – с 62.0% при концентрации дисперсии стиролакрилата 50 г/л до 57.6% при концентрации 500 г/л.

При увеличении концентрации водной дисперсии полимерного связующего скорость сушки в периоде постоянной скорости N увеличивается для материалов из гидрофобных полиамидных нитей и уменьшается для материалов из гидрофильных вискозных нитей.

Анализируя данные второго периода сушки, можно сделать вывод, что для материалов из гидрофобных синтетических нитей интенсивность испарения влаги в этом периоде с увеличением концентрации водной дисперсии увеличивается, общая продолжительность сушки уменьшается. Противоположная закономерность наблюдается для материалов из гидрофильных вискозных нитей: с увеличением концентрации полимерной дисперсии интенсивность испарения влаги во втором периоде уменьшается, общая продолжительность сушки увеличивается. Это можно объяснить тем, что материалы из синтетических волокон обладают менее развитой пористостью и способностью удерживать влагу, чем целлюлозные и гидратцеллюлозные. Основная часть влаги удаляется из сквозных пор и капилляров в периоде постоянной скорости сушки. Синтетические волокна практически не содержат

Математические модели сушки текстильных композиционных материалов

Концентрация полимерного связующего, г/л	Полиамидные материалы	Вискозные материалы
50	$W_{50} = 64.02e^{-0.016\tau}$ $R^2 = 0.97019$	$W_{50} = 64.71e^{-0.011\tau}$ $R^2 = 0.97325$
100	$W_{100} = 60.17e^{-0.017\tau}$ $R^2 = 0.96985$	$W_{100} = 69.73e^{-0.01\tau}$ $R^2 = 0.97719$
200	$W_{200} = 47.82e^{-0.019\tau}$ $R^2 = 0.97805$	$W_{200} = 66.50e^{-0.009\tau}$ $R^2 = 0.98219$
300	$W_{300} = 36.86e^{-0.024\tau}$ $R^2 = 0.91576$	$W_{300} = 63.00e^{-0.009\tau}$ $R^2 = 0.99175$
400	$W_{400} = 44.75e^{-0.03\tau}$ $R^2 = 0.98541$	$W_{400} = 60.44e^{-0.008\tau}$ $R^2 = 0.90218$
500	$W_{500} = 44.74e^{-0.033\tau}$ $R^2 = 0.98501$	$W_{500} = 59.63e^{-0.008\tau}$ $R^2 = 0.99651$

осмотической влаги (влаги набухания). К началу второго периода сушки, когда увеличивается скорость пленкообразования, влагосодержание материала достигает 10% при концентрации полимерной дисперсии 50 г/л и 15% при концентрации дисперсии 500 г/л.

Вискозные волокна и нити имеют развитую систему сквозных и тупиковых пор. При сушке сначала удаляется свободная влага, находящаяся в капиллярах и порах, осмотическая и влага в фуникулярном состоянии. Затем удаляется влага пендулярная и влага с физико-химической формой связи. С увеличением концентрации дисперсии полимерного связующего повышается ее вязкость, и скорость продвижения влаги из глубинных слоев к поверхности материала уменьшается. Кроме того, при увеличении концентрации возрастает скорость пленкообразования, что также затрудняет удаление влаги из мелких и тупиковых капилляров волокнистого материала.

В результате экспериментальных исследований кинетики сушки текстильных композиционных материалов из полиамидных и вискозных нитей получены математические модели, позволяющие рассчитать продолжительность сушки до равновесного влагосодержания (W_p) при концентрации водной дисперсии от 50 до 500 г/л (таблица).

Скорость сушки в периоде постоянной скорости N в интервале концентраций полимерного связующего 50 – 500 г/л имеет линейную зависимость от концентрации:

– для полиамидных материалов:

$$N = 0.0012c + 0.3178, \quad (2)$$

– для вискозных материалов:

$$N = -0.0002c + 0.4178. \quad (3)$$

Обобщая результаты экспериментальных исследований процесса сушки текстильных композиционных материалов из химических нитей, можно сделать следующие выводы:

– при увеличении концентрации водной дисперсии стиролакрилата уменьшается начальное влагосодержание текстильного композиционного материала W_0 ,

– при сушке текстильных композиционных материалов из гидрофобных полиамидных нитей с увеличением концентрации водной дисперсии стиролакрилата более 200 г/л скорость сушки в первом и втором периодах возрастает, общая продолжительность сушки сокращается в 2-2.5 раза;

– при сушке текстильных композиционных материалов из гидрофильных вискозных нитей с увеличением концентрации полимерной дисперсии скорость сушки в первом и втором периодах уменьшается, общая продолжительность сушки возрастает

Библиографический список

1. Ясинская Н.Н., Ольшанский В.И., Коган А.Г. Композиционные текстильные материалы: монография. – Витебск: ВГТУ, 2016. – 299 с.
2. Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. – М.: Гос. изд. технико-теоретич. литературы, 1954. – 296 с.
3. Ясинская Н.Н., Ольшанский В.И., Чукасова-Ильющкина Е.В. // Текст пром-сть. 2010. № 3. – С.16-18.
4. Воюцкий С.С. Физико-химические основы пропитывания и импрегнирования волокнистых систем водными дисперсиями полимеров. – М.: Химия, 1969. – 336 с.
5. Пахомов А.Н., Гатапова Н.Ц., Пахомова Ю.В. Моделирование и расчет кинетики сушки жидких дисперсных продуктов на подложках: монография. – Тамбов: ТГТУ, 2016. – 160 с.