

УДК 677.017

Н. Н. Ясинская, В. В. Мурычева

Витебский государственный технологический университет
Республика Беларусь, 210035, г. Витебск, Московский пр., 72

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСИИ СТИРОЛ-АКРИЛАТА ПО ОБЪЕМУ ТКАНОЙ ОСНОВЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТЕКСТИЛЬНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

© Н. Н. Ясинская, В. В. Мурычева, 2016

Разработана математическая модель, позволяющая определить процентное содержание адсорбированной дисперсии связующего в объеме тканой основы композиционного материала. Установлен характер влияния плотности и вязкости полимерной композиции, плотности волокнистого материала на относительное содержание связующего в тканом полотне. Предложен метод определения равномерности распределения полимерного связующего по объему тканого полотна.

Ключевые слова: композиционный материал, тканое полотно, пропитка, связующее, дисперсия полимера, капиллярный подъем, адсорбция.

Одной из основных технологических операций, связанных с производством композиционных материалов, является пропитка армирующей структуры полимерным связующим. Особенно важен этот аспект при использовании в качестве основы композитов готовых волокнистых полотен или изделий, к которым, в первую очередь, следует отнести тканые полотна, имеющие заданную потребителем форму.

Для достижения высоких прочностных свойств композитов пропитка тканой основы может осуществляться следующими методами: протягиванием через ванну со связующим; окунанием волокнистого материала; просасыванием связующего через слой волокнистого материала под действием разности давлений; методом капиллярного насыщения; комбинированными методами [1].

С точки зрения технологического упрощения, снижения трудоемкости и энергетических затрат процесса пропитки, наиболее предпочтительным представляется метод капиллярного подъема. При этом расход связующего и интенсивность пропитки будут зависеть от пористости тканой основы, свойств связующего и темпов его впитывания.

На качественные показатели готового композита влияет равномерность адсорбированной дисперсии полимерного связующего в объеме тканой основы.

Целью работы является исследование зависимости относительного содержания полимерного связующего в тканом полотне от свойств полимерной композиции и волокнистого материала, а также равномерность распределения связующего в тканой основе при формировании текстильных композиционных материалов.

Для исследования зависимости относительного содержания и равномерности распределения полимерного связующего в тканом полотне от свойств

полимерной композиции и волокнистого материала использовалась водная дисперсия стирол-акрилата.

Процентное содержание адсорбированной дисперсии стирол-акрилата в объеме тканой основы для предельных значений ее концентрации в полимерной композиции (100 и 500 г/л) при температуре процесса импрегнирования 20, 40 и 60 °С определяли «методом сухого привеса» — наиболее распространенный метод (рисунки 1 и 2).

Взвешенный образец тканой основы 10×10 см подвергают в определенных условиях пропитыванию полимерной композицией, затем высушивают и снова взвешивают. Привес (величина адсорбции), выраженный в процентах от массы исходного материала, служит количественной характеристикой пропитывающих свойств полимерной композиции [2].

Анализ представленных графических зависимостей показывает, что повышение концентрации дисперсии стирол-акрилата в полимерной композиции увеличивает эффективность пропитывания. Процесс адсорбции протекает с высокой скоростью в начальный период импрегнирования материала (в течение 1–2 минут). Далее механизм и скорость переноса сорбата зависят от концентрации стирол-акрилата и температуры импрегнирования: величина адсорбции тем выше, чем выше концентрация и температура.

Равномерность и скорость адсорбции также зависят от структуры тканой основы: чем больше плотность тканой основы, тем быстрее наступает адсорбционное равновесие. Увеличение сквозной пористости тканой основы приводит к замедлению процесса адсорбции.

Однако тканая основа является гетеропористой системой с сообщающимися капиллярами, следовательно, размер частиц дисперсии стирол-акрилата,

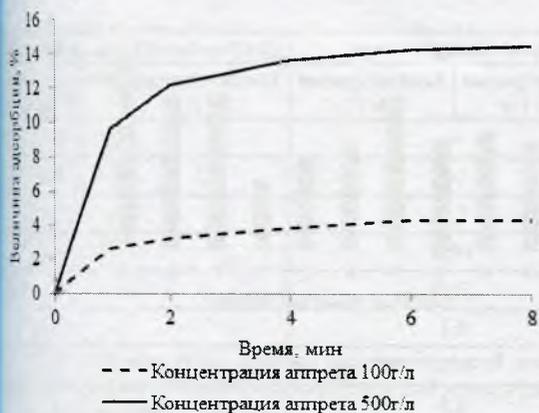


Рис. 1. Кинетические кривые адсорбции стирол-акрилата различной концентрации на тканой основе композиционного материала

вязкость, сорбционная устойчивость малозначительно влияют на процесс пропитывания.

При повышении температуры в пропиточной ванне улучшается доступность макропор волокнистого материала для проникновения макромолекул стирол-акрилата. Следовательно, повышение температуры пропитывания значительно улучшает проникновение полимерной композиции в поры тканой основы композиционного материала, однако чрезмерный и длительный нагрев пропитывающей дисперсии стирол-акрилата приводит к ее астабилизации и коагуляции [3].

Разработана математическая модель, позволяющая определить процентное содержание адсорбированной дисперсии стирол-акрилата в объеме тканой основы КТМ, %:

$$N_{adc} = \frac{C \cdot [k_0 \cdot \gamma_0 (\gamma_s \cdot \sigma - m_H) + 640 \cdot \gamma_s \sqrt{\gamma_0 \cdot \eta \cdot v}]}{C \cdot [k_0 \cdot \gamma_0 (\gamma_s \cdot \sigma - m_H) + 640 \cdot \gamma_s \sqrt{\gamma_0 \cdot \eta \cdot v}] + \gamma_s \cdot m_H} \cdot 100 \quad (1)$$

где C — концентрация дисперсии в полимерной композиции, г/л; k_0 — коэффициент пропитывания, учитывающий степень заполнения пор полимерной композицией; γ_0 — плотность полимерной композиции, кг/м³; γ_s — плотность волокна, кг/м³; σ — толщина тканой основы, м; m_H — масса 1 м² тканой основы, кг; v — скорость движения тканой основы на поточной линии, м/с; η — вязкость, Па·с.

Известно, что при условии, что все поры тканой основы композиционного материала при пропитке полимерной композицией заполнены, то масса связующего m_s , поглощенная порами тканой основы на 1 м², кг:

$$m_s = \omega \cdot \gamma_0 \cdot \sigma,$$

где ω — относительная объемная пористость тканой основы (общая пористость).

Толщина тканой основы, м:

$$\sigma = h_0 + \eta_{os},$$

где h_0 — высота волны изгиба нитей основы, м; η_{os} — коэффициент смятия нитей основы для сечения эллипса по вертикальной оси.

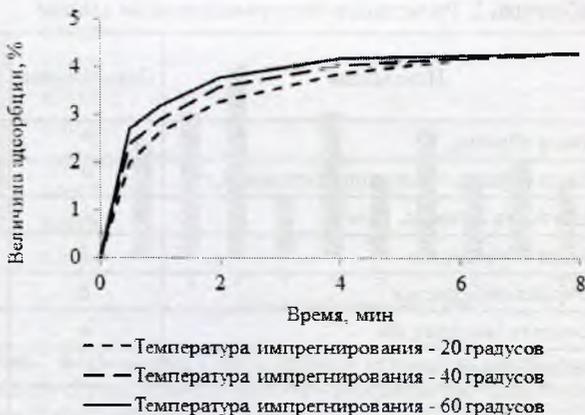


Рис. 2. Кинетические кривые адсорбции стирол-акрилата на тканой основе композиционного материала при различной температуре процесса импрегнирования

Если часть объема пор не будет заполнена связующим или в нем окажутся пузырьки воздуха, то масса связующего, кг:

$$m_1 = k_0 \cdot \omega \cdot \gamma_0 \cdot \sigma. \quad (2)$$

Коэффициент пропитывания определяется следующим образом:

$$k_0 = \frac{w_a}{P_R},$$

где w_a — массовая доля аппрета (полимерной композиции) после пропитывания, %; P_R — общая пористость материала, %.

Общая пористость материала состоит из микроструктуры волокон, макроструктуры всего материала и сквозной пористости между нитями в переплетении. В свою очередь массовая доля полимерной композиции, %:

$$w_a = \frac{P_2 \cdot P_1}{V_1 \cdot \gamma_0} \cdot 100,$$

где P_2 — масса образца после пребывания в аппретирующем растворе, кг; P_1 — масса сухого образца, кг; V_1 — объем образца, м³.

Общая пористость материала, %:

$$P_R = \frac{V_p}{V_1} \cdot 100,$$

где V_p — объем пор, м³:

$$V_p = V_1 \cdot \frac{P_1}{\gamma_s}.$$

В свою очередь относительная объемная пористость тканой основы может быть выражена уравнением:

$$\omega = \frac{\gamma_s \cdot \sigma \cdot m_s}{\gamma_s \cdot \sigma}.$$

Подставляя значение ω в уравнение (2), получим выражение для m_1 , кг:

$$m_1 = \frac{k_0 \cdot \gamma_0 (\gamma_s \cdot \sigma \cdot m_H)}{\gamma_s}.$$

Таблица. 1. Расчетные и экспериментальные данные

Показатель	Обозначение	Расчетные значения		Экспериментальные значения	
		Концентрация 100 г/л	Концентрация 500 г/л	Концентрация 100 г/л	Концентрация 500 г/л
Масса образца, г	P_1	—		4,9	
Масса образца после аппретирования, г	P_2	—		5,5	6,0
Плотность волокна, г/см ³	γ_a	1,5		—	
Длина образца, см	l	10,0		—	
Ширина образца, см	b	10,0		—	
Толщина (высота), см	v	0,1		—	
Объем образца, см ³	V_1	12,0		—	
Объем пор, см ³	V_p	8,8		—	
Общая пористость материала, %.	P_R	73,3		—	
Массовая доля аппрета (полимерной композиции) после пропитывания, %	w_a	5,0	9,2	—	
Коэффициент пропитывания	k	0,1	0,1	—	
Относительная объемная пористость	ω	0,7		—	
Масса связующего, поглощенная порами тканой основы на 1 м ² , кг	m_1	0,1	0,1	—	
Толщина слоя, м	h_1	0,0002900	0,0000957	—	
Количество связующего, наносимое на обе стороны тканой основы на 1 м ² , кг	m_2	0,608	0,201	—	
Процентное содержание адсорбированной дисперсии стирол-акрилата, %	$N_{адс.}$	4,23	14,50	4,30	14,60

Однако при выходе тканой основы из пропиточной ванны вследствие смачивания на обеих поверхностях будут образовываться тонкие слои полимерной композиции с толщинами h_1 .

Если исходить из уравнения, связывающего динамическую вязкость пропиточного состава η со скоростью движения тканой основы v при выходе ее из пропиточной ванны, то толщина слоя h_1 , м:

$$h_1 = \sqrt{\frac{v \cdot \eta}{\gamma_0 \cdot g}} \quad (3)$$

Тогда количество связующего, наносимое на обе стороны тканой основы на 1 м² m_2 , кг:

$$m_2 = 2 \cdot h_1 \cdot \gamma_0.$$

Или с учетом уравнения (3) с некоторым округлением количество связующего, кг:

$$m_2 = 0,64 \cdot \sqrt{\gamma_0 \cdot \eta \cdot v}.$$

Из анализа математической модели (1) при рассмотрении механизма процесса пропитки следует, что при прочих равных условиях:

— с увеличением плотности пропитывающей полимерной композиции γ_0 увеличивается относительное содержание полимерной композиции в пропитанном тканом полотне, приближаясь постепенно к постоянной величине (так как с увеличением плотности вязкость раствора увеличивается быстрее);

— с увеличением скорости v выхода тканого полотна из пропиточной ванны или с увеличением вязкости η пропитывающей дисперсии также увеличивается относительное содержание полимерной композиции (за счет увеличения толщины) с той же тенденцией, что и при увеличении плотности;

— с увеличением плотности волокон тканой основы относительное количество полимерной композиции в пропитанном тканом полотне незначительно уменьшается, так же как и с увеличением толщины наполнителя.

Полученные расчетные и экспериментальные данные представлены в таблице 1.

Установлено, что отклонение теоретических значений от экспериментальных составляет 1,58%, что подтверждает адекватность созданной математической модели (1), следовательно, она может быть использована для определения процентного содержания адсорбированной дисперсии в объеме тканой основы композиционного материала в процессе импрегнирования [4].

Недостаток метода сухого привеса заключается в том, что он не учитывает отфильтровывание частиц дисперсии стирол-акрилата. Рассмотрен специальный метод, учитывающий способность полимерной композиции равномерно пропитывать тканую основу.

Согласно данному методу, количество пропитывающего вещества определяется путем взвешивания нитей утка длиной 10 см и вычитания из найденного значения веса таких же нитей, взятых из непропитанной тканой основы композиционного материала. Продолжительность обработки — 15 минут, концентрация дисперсии стирол-акрилата — 100 и 500 г/л, температура обработки — 20 °С [5].

Результаты проведенных экспериментов представлены графически на рисунках 3 и 4.

Анализируя представленные графические зависимости, можно сделать вывод, что количество дисперсной фазы, отложившейся на различных нитях утка, практически одинаково. Коэффициенты вариации полученных данных равны 0,25% и 0,21%,

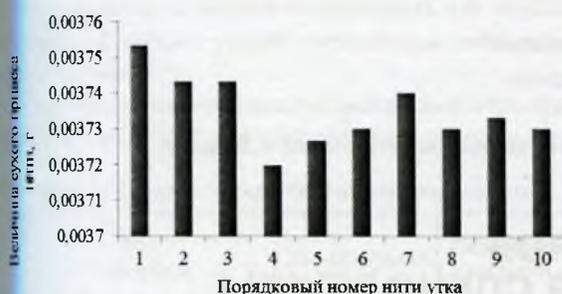


Рис. 3. Величина сухого привеса различных нитей утка тканой основы композиционного материала при концентрации стирол-акрилата — 100 г/л

соответственно. Такие значения данного показателя обусловлены удачно выбранным переплетением тканой основы — просвечивающее на базе репса 4/4, а также видом используемого сырья — рыхлой, гидрофильной, комплексной вязкой нитью. В свою очередь следует заметить, что значение концентрации стирол-акрилата играет незначительную роль при выбранных режимах обработки и параметрах строения тканой основы.

Среднее количество отложившейся дисперсной фазы на тканой основе при предельных значениях концентрации стирол-акрилата составляет 9,5% и 28,7%, соответственно.

Выводы

1. Путем теоретических и экспериментальных исследований установлено, что на качественные показатели готового композита влияет равномерность адсорбированной дисперсии полимерного связующего в объеме тканой основы.

2. Проведены экспериментальные исследования и создана математическая модель, позволяющая определить процентное содержание адсорбированной



Рис. 4. Величина сухого привеса различных нитей утка тканой основы композиционного материала при концентрации стирол-акрилата — 500 г/л

дисперсии стирол-акрилата в объеме тканой основы композиционного материала.

3. Установлена способность полимерной композиции равномерно пропитывать тканую основу.

Список литературы

1. Иманкулова А. С. Физико-механические свойства композита с тканой базальтовой основой. // Вопросы материаловедения, 2005. №3 (43). С. 55–60.
2. Воюцкий С. С. Физико-химические основы пропитывания и импрегнирования волокнистых систем водными дисперсиями полимеров, 1969. Москва. 336 с.
3. Браславский, В. А. Капиллярные процессы в текстильных материалах, 1987. Москва, 112 с.
4. Базеко В. В., Ясинская Н. Н., Коган А. Г. Исследование физико-механических свойств тканей со специальными видами заключительной отделки. // Вестник УО ВГУ, 2010, № 18. С. 9–13.
5. Базеко В. В., Ясинская Н. Н., Коган А. Г. Исследование физико-механических, гигиенических и эксплуатационных свойств льняных декоративных материалов. // Вестник УО ВГУ, 2011. №21. С. 13–18.

N. N. Yasinskaya, V. V. Murycheva

Vitebsk State Technological University
The Republic of Belarus, 210035, Vitebsk, Moskovsky, 72

The investigation of the dispersion of styrene-acrylate base fabric in terms of the formation of the textile composite material

A mathematical model, which allows to determine the percentage of adsorbed binder dispersion in the amount of the base fabric composite material. The nature of the influence of density and viscosity of the polymeric composition, the density of the fibrous material relative to the binder content in the woven fabric. A method for determining the uniform distribution of the polymer binder in terms of woven fabric.

Keywords: composite material, woven fabric, impregnated, middleware, polymer dispersion, the capillary rise, adsorption.

Reference

1. Imankulova A. S. Physical and mechanical properties of composite woven basalt foundation. *Voprosi materialovedeniya* [Journal Problems of Materials Science]. 2005. N 3 (43), 55–60 pp. (in russ)
2. Voyutsky S. S. *Fiziko-khimicheskie osnovi propitivanija i impregnirovaniya voloknistikh sistem vodnimi dispersijami polimerov*. [Physico-chemical basis of soaking and impregnating fiber systems aqueous polymer dispersion]. Moscow. 336 p. (in russ)
3. Braslavsky V. A. *Kapiljarnie processy v tekstilnikh materialakh*. [Capillary processes in textiles]. Moscow. 112 p.
4. Bazeko V. V., Yasinskaya N. N., Kogan A. G. The study of physical and mechanical properties of tissues with special kinds of final finishes. *Vestnik YO VGTY* [Herald UO VGTU]. 2010. N18. 9–13 pp. (in russ)
5. Bazeko V. V., Yasinskaya N. N., Kogan A. G. The study of physical, mechanical, sanitary and operational properties of linen decorative materials. *Vestnik YO VGTY* [Herald UO VGTU] 2011. N21, 13–18 pp. (in russ)