

ПРОПИТКА СТЕКЛОВОЛОКНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ТЕРМОРЕАКТИВНЫМ СВЯЗУЮЩИМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Process of impregnation of a glass-fiber filler under pressure in the closed shape is considered. Being grounded on laws D'arcy the coefficient of transparency of filamentary system is calculated at an one-dimensional current. Associations of a coefficient of transparency on a content of a filler and diameter of infinitesimal filaments are received. It is displayed, that process key parametre is time of impregnation which depends on porosity of system, viscosities connecting and lengths of bar. Associations of time of impregnation on the basic influencing factors are received. For affirming of theoretical accounts experiments on the physical model realising an one-dimensional current of a stream of a fluid are made. The received experimental data confirm rated meanings of a coefficient of transparency and impregnation time. On the basis of the analysis received theoretical and experimental data the output that under pressure it is necessary to apply to deriving of a qualitative article by an impregnation method connecting with viscosity $<1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ and survival time more than 2 h, and a filler – with the greatest diameter of an infinitesimal filament is drawn. The optimum content of a filler in a composite material which can be reached, is equal 40–50% about.

Введение. Изготовление крупногабаритных изделий из стеклопластиков – процесс длительный и трудоемкий. Наиболее простым и часто применяемым методом получения плоских изделий является метод контактного формования. Сухой наполнитель укладывается на поверхность формы, далее нанесение связующего осуществляется с помощью кисти или распылителя. Для удаления воздуха и уплотнения материала формующее изделие прикатывается роликом.

Приведенный метод формования имеет ряд недостатков, например: практически исключенная возможность регулирования содержания наполнителя в материале изделия, большая пористость материала, большие затраты ручного труда, длительный цикл изготовления и т. п. [1].

В последнее время новую жизнь получил метод пропитки наполнителя под давлением в закрытых формах, известный еще с 70-х гг. XX в. Данная технология имеет ряд преимуществ по сравнению с широко применяемым методом контактного формования. В частности, снижаются отходы материалов, изделие имеет более точные размеры и более однородно по объему (отсутствуют воздушные включения), снижается время изготовления изделий, что приводит к снижению их себестоимости [1]. Однако для осуществления данного процесса требуются более дорогостоящее оборудование и более сложная оснастка, связующее с низкой вязкостью на стадии пропитки, необходимость согласования параметров процесса для получения высокой степени пропитки и качества изделия [2].

Целью данной работы является расчет основных параметров процесса, обеспечивающих полную пропитку наполнителя при подаче жидкого связующего под давлением в замкнутую форму.

Основная часть. Метод пропитки под давлением заключается в следующем. Непропитанный сухой наполнитель (ткани, холсты) укладывают

на пуансон, после чего матрицу и пуансон смыкают с усилием до создания заданной толщины пакета наполнителя, полость формы герметизируют, и затем под давлением подают связующее (рис. 1). Для ускорения процесса пропитки и повышения качества конечного изделия полость предварительно вакуумируют [2].

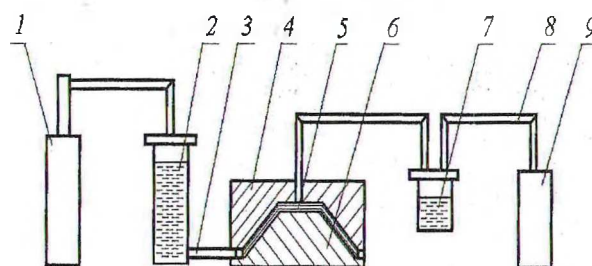


Рис. 1. Схема установки для пропитки под давлением: 1 – компрессор; 2 – емкость со связующим; 3 – нагнетающий трубопровод; 4 – матрица; 5 – сток; 6 – пуансон; 7 – излишки связующего; 8 – трубопровод; 9 – вакуумный насос

Основными параметрами процесса получения изделий по данному методу являются давление нагнетания и время пропитки.

Давление при пропитке наполнителя не должно превышать критического значения, при котором сопротивление течению связующего в заготовке становится равным силе трения заготовки о стенки формы. В противном случае наблюдается смятие наполнителя и смещение его в направлении стока. Максимальное давление нагнетания p_{\max} (МПа) определяют по формуле

$$p_{\max} \leq \frac{2p_y fl}{H},$$

где p_y – давление уплотнения материала наполнителя, МПа; f – коэффициент трения стекла по стали (для стеклонити с парафиновым замасли-

вателем по стали $f = 0,26$); l, H – длина и толщина пакета наполнителя соответственно, мм.

Максимальное давление, применяемое при пропитке, зависит от размера заготовки и от жесткости формы и обычно составляет 0,3–0,5 МПа, но может достигать 2–2,5 МПа [2].

Время пропитки при ограниченном времени жизнеспособности терморезактивного связующего должно составлять не более 4/5 от последнего. Время является одним из важнейших параметров и зависит от формы и размеров изделия, плотности и ориентации наполнителя и вязкости связующего.

Продолжительность заполнения формы (продолжительность пропитки) рассчитывают по формуле

$$t = \frac{\mu r_0^2}{k p_0} \left[\left(2 \ln \frac{l}{r_0} - 1 \right) \frac{l^2}{r_0^2} + 1 \right],$$

где μ – вязкость полимерного связующего, Па·с; r_0 – радиус входной части, м; k – коэффициент проницаемости наполнителя, м^2 , p_0 – давление на входе, Па; l – длина заготовки, м.

Для определения коэффициента проницаемости наполнителя рассмотрим течение вязкой ньютоновской жидкости между волокнами [3].

Заполнение полимером элементарной полости между волокнами на малом участке можно рассматривать в первом приближении как течение жидкости в щели (рис. 2).

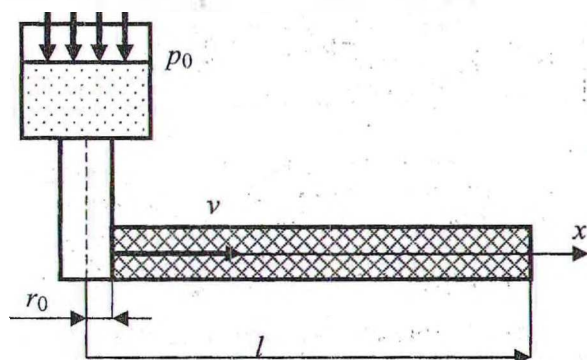


Рис. 2. Расчетная схема пропитки волокнистого наполнителя

Тогда, исходя из условия Дарси и уравнения Козени – Кармана, при диаметре элементарного волокна d_b и с параметром распределения Вейбулла для стохастической системы $q = 1$ имеем выражение для расчета коэффициента проницаемости системы k (м^2), пропитываемой ньютоновской жидкостью ($n = 1$):

$$k = \left(\frac{\pi d_b}{P} \right)^2 \frac{\Gamma(3)(1-P)^3}{2^6},$$

где d_b – диаметр элементарного волокна, м; P – степень наполнения, доли ед.; Γ – гамма-функция.

Зависимости коэффициента проницаемости от влияющих параметров представлены графически на рис. 3.

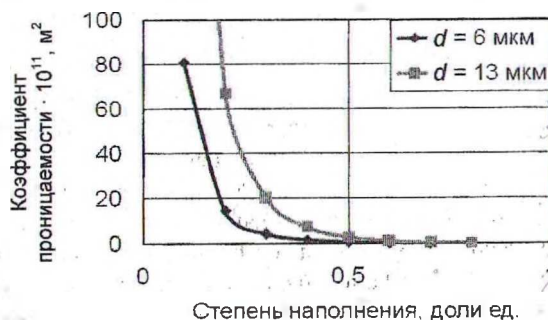


Рис. 3. Зависимость коэффициента проницаемости волокнистой системы от степени наполнения при различных значениях диаметра волокна

При увеличении степени наполнения (уменьшении пористости пакета наполнителя) коэффициент проницаемости резко снижается, что говорит об увеличивающемся сопротивлении системы при пропитке. При увеличении диаметра элементарного волокна в волокнистой системе коэффициент проницаемости увеличивается. Результаты расчета показывают, что увеличение диаметра приводит к облегчению процесса пропитки.

Предполагая, что при пропитке полимерное связующее заполняет все поры в материале, имеем прямую связь между пористостью наполнителя и объемным содержанием связующего в материале.

Расчет времени пропитки проводили для плоского изделия длиной 250 мм и радиусом входной части 20 мм.

Зависимости времени пропитки от определяющих параметров представлены на рис. 4–5.

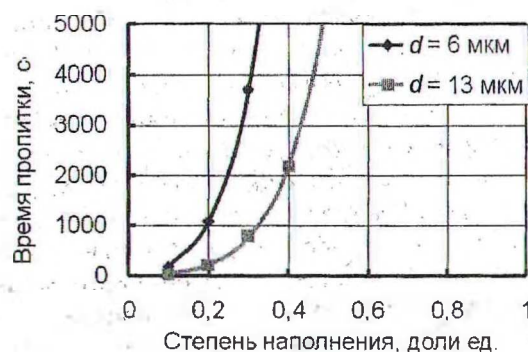


Рис. 4. Зависимость времени пропитки от степени наполнения при различных значениях диаметра элементарных волокон

Расчеты показывают, что время пропитки зависит от степени наполнения и качественный материал можно получить в пределах до 1 ч со степенью наполнения 0,4 (рис. 4).

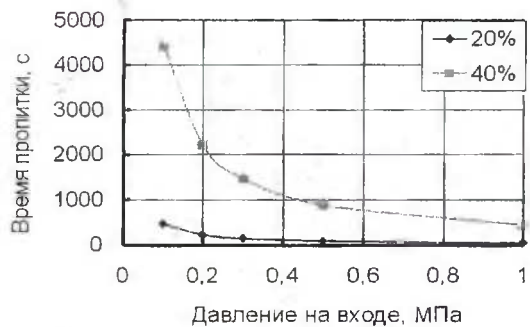


Рис. 5. Зависимость времени пропитки наполнителя полимерным связующим от давления на входе при получении КМ с содержанием наполнителя 20 и 40%

Время пропитки прямо пропорционально вязкости полимерного связующего: при снижении вязкости время пропитки снижается. Увеличение перепада давления (или увеличение давления на входе) приводит к существенному снижению времени пропитки и выражается зависимостью, представленной на рис. 5.

Анализируя проведенные расчеты, можно сделать вывод о том, что для получения качественного материала необходимо применять связующее с вязкостью менее 1 Па·с и временем жизни более 2 ч, а наполнитель — с наибольшим диаметром элементарного волокна. Оптимальное содержание наполнителя в композиционном материале (КМ), которого можно достичь, равно 40–50% об. Данные расчета согласуются с общими рекомендациями, описанными в работе [4].

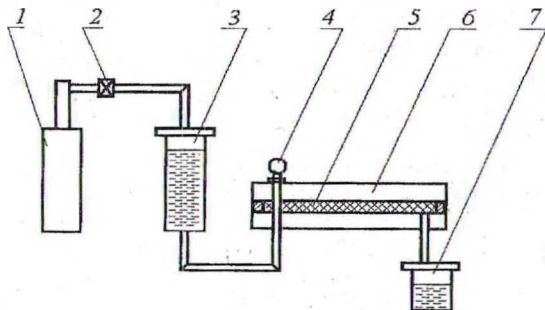


Рис. 6. Схема установки, реализующей процесс одномерного течения полимерного связующего через волокнистую систему:

- 1 — компрессор; 2 — распределитель;
- 3 — емкость со связующим; 4 — манометр;
- 5 — наполнитель, 6 — стекло; 7 — сток

Для подтверждения возможности применения расчетов для реальных условий проводили эксперимент на физической модели, реализующей одномерное течение полимерного связующего через волокнистую систему. Схема применяемой установки приведена на рис. 6.

В качестве модельной жидкости использовали глицерин с вязкостью 0,5 Па·с. В форму с зазором 3 мм укладывали 15 слоев ткани Т10-80, что давало степень наполнения 50% об. Создавали давление на входе 0,2 МПа компрессором. В ходе эксперимента фиксировали время прохождения фронтом жидкости определенного расстояния.

Заключение. Для процесса пропитки стеклянного наполнителя под давлением в замкнутой форме определены основные факторы, влияющие на протекание процесса. Экспериментальное значение коэффициента проницаемости получили равным $2,64 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$, тогда как теоретическое значение составляет $5,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$. Время пропитки модельного поля длиной 250 мм получили равным 549 с, а по расчетам — 441 с.

Сравнив теоретические и экспериментальные данные, можно сделать вывод о том, что результаты неплохо соответствуют друг другу. Однако меньшее значение времени пропитки, полученное в результате расчета, свидетельствует о необходимости доработки математической модели процесса.

Литература

1. Справочник по композиционным материалам / под ред. Дж. Любина. — М.: Машиностроение, 1989. — 579 с.
2. Ефимов, В. Г. Опыт изготовления крупногабаритных деталей из композиционных материалов методом пропитки под давлением / В. Г. Ефимов, Е. А. Курочкин. — Л., 1977. — 19 с.
3. Кордилова, Е. И. Пропитка волокнистых материалов расплавами термопластичных полимеров: дис. ... канд. техн. наук: 27.12.2000 / Е. И. Кордилова. — Минск, 2000. — 153 с.
4. Техника переработки пластмасс / под ред. И. Н. Басова. — М.: Химия, 1985. — 480 с.