

УДК 678.027, 678.8
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОГО ФОРМОВАНИЯ
НА ОСНОВЕ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Д. С. ГОНЧАРЕНКО, Е. И. КОРДИКОВА, А. В. СПИГЛАЗОВ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Минск, Беларусь

Большинство крупногабаритных изделий из композиционных материалов изготавливают методом вакуумной пропитки стекловолоконистых материалов термореактивным связующим. Пропитка и формование детали происходит на открытой оснастке с закрепленным на ней вакуумным мешком. В качестве непрерывного волокнистого армирующего наполнителя используются стеклоткани различного типа, а в качестве полимерной матрицы – полиэфирные, эпоксидные и винилэфирные смолы.

Отработка технологического процесса вакуумной инфузии на реальных материалах требует больших затрат времени и ресурсов, моделирование позволяет сократить эти затраты. Для моделирования процесса пропитки использовался модуль VARI в системе PAM-RTM, который позволяет достоверно прогнозировать параметры процессов.

На первом этапе создается геометрия и расчетная сетка конечных элементов для последующего анализа в модуле VARI, где задаются параметры моделирования для расчета пропитки на основе закона Дарси [1]. Закон устанавливает линейное отношение между скоростью потока и градиентом давления:

$$q = -\frac{K}{\mu}(\Delta p - e_z \rho g),$$

где q – скорость потока, м/с; K – тензор проницаемости, м²; μ – вязкость связующего, Па·с; Δp – градиент давления жидкости, Па; ∇ – оператор Гамильтона, 1/м; g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ – плотность связующего, кг/м³; e_z – орт вертикальной оси, направленный вверх.

Контроль выполнения закона сохранения массы на каждом этапе по времени обеспечивается за счет сравнения притока и оттока связующего.

Исходными данными для моделирования являются: давление и учет гравитационных сил; плотность и вязкость термореактивного связующего; плотность, поверхностная плотность и коэффициенты проницаемости наполнителя в зависимости от направления, определенные опытным путем на установке, реализующей двухмерное течение жидкости в системе [2]. Кроме того необходимо задать пористость материала, толщину ткани и направления основы и утка.

В процессе пропитки уплотненного пакета связующее заполняет все межволоконное пространство, следовательно, можно принять, что относительная объемная пористость пакета и относительное объемное содержание связующего в материале имеют одинаковое значение.

Для упрощения расчетной модели приняли ряд допущений: материал моделируется как однородное по объему тело с анизотропией свойств по трем направлениям – основе, утку и перпендикулярно слою; свойства материала неизменны в процессе течения (структура ткани постоянна).

Результаты пропитки представлены на рис. 1.

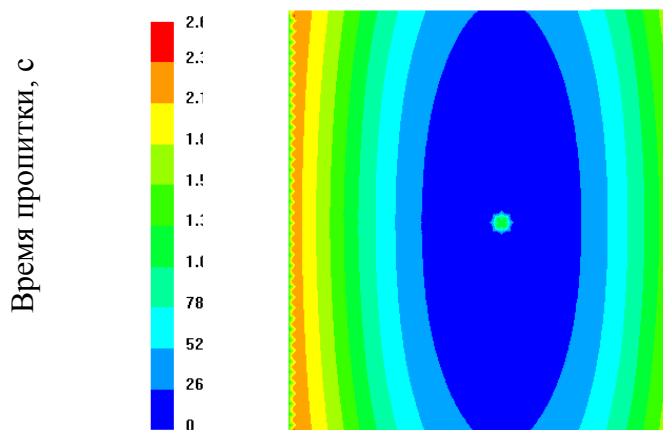


Рис. 1. Продолжительность пропитки наполнителя при течении связующего из центра

Визуализация процесса пропитки в среде PAM-RTM позволяет определять и анализировать время и скорость пропитки, распределение давлений, образование пористости, влияние места подачи связующего на прохождение процесса.

Использование моделирования процессов пропитки в настоящее время актуально и позволяет создать возможность прогнозирования параметров процесса пропитки для изделий сложной пространственной формы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Щеглов, Б. А.** Теоретические основы и прикладные задачи технологии композитов / Б. А. Щеглов, А. А. Сафонов. – М. : ЛЕНАНД, 2015. – 112 с.
2. **Кордикова, Е. И.** Поведение тканого наполнителя при пропитке под давлением / Е. И. Кордикова, А. В. Спиглазов // Тр. БГТУ. Сер. IV Химическая технология органических веществ. – 2008. – Вып XVI. – С. 136–138.