

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И СОЗДАНИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Василевич Ю.В., Неумержицкая Е.Ю., Василевич А.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

В последние годы работами многих ученых было показано, что решение проблемы создания высокопрочных стеклопластиков мало изучено и в попытках изучения таких материалов преобладают эмпирические методы. Высказано утверждение о возможности решения проблемы на основе исследования напряженно-деформированного состояния и устойчивости армированной системы с учетом особенностей стеклопластиков, обусловленных податливой матрицей и существенной неоднородностью материала, прочностные и деформационные свойства которого не являются детерминированными [1, 2]. Развитие такого подхода способствовало предложению о введении понятия сплошности композита, которое предполагает сплошность всех компонентов, отсутствие нарушений связи по границам их соприкосновения и однородность всей системы в целом.

**Монолитность композиционных материалов** напрямую зависит от степени пропитки связующим. В работе [3] время, необходимое для полной пропитки композита, определяется по формуле

$$t = \frac{\mu f(\delta) k^2 \ln k}{\rho g h + \frac{2\delta \cos \theta}{r_b} \cdot \frac{1 - \delta}{\delta^2}},$$

где  $f(\delta) = 16(1 - \delta)^{1,5} [1 + 56(1 - \delta)^3]$ ,  $k = r_0/r_b$ ,  $r_0$  - наружный радиус макронити;  $r_b$  - радиус элементарного волокна;  $h$  - высота поднятия жидкости в капилляре;  $\delta$  - пористость;  $\mu$  - вязкость связующего;  $\theta$  - угол наклона арматуры к горизонту. Анализ приведенного соотношения выше показывает, что скорость капиллярного течения связующего весьма низка (2 - 8 см/мин), а для того, чтобы скорость пропитки была приемлемой с точки зрения производительности процесса, необходимо протягивать ткань со скоростью 2 - 80 м/мин, т.е. на два-три порядка выше. Это не обеспечивает полную пропитку армирующего материала в ванне, поэтому процесс пропитки на микроуровне начинается только при выходе из ванны, когда под действием гравитационных сил в капиллярах образуются капли, раздвигающие волокна и способствующие образованию радиальных и продольных щелей, куда устремляется связующее.

**Оценка проницаемости пористой среды** обычно проводится в условиях одномерного течения ньютоновской жидкости известной вязкости через пористый образец прямоугольного сечения [4]. Измеряя перепад давления на входе и выходе, а также расход жидкости, можно рассчитать коэффициент проницаемости пористой среды  $K$  по следующей

формуле

$$K = \frac{Q\mu L}{(p_1 - p_2)b\delta},$$

где  $Q$  – расход жидкости;  $\mu$  - вязкость жидкости;  $L, b, \delta$  - размеры образца;  $(p_1 - p_2)$  - перепад давления по длине образца.

**Роль технологического натяжения арматуры** при намотке очень велика. Натяжение определяет коэффициент наполнения композиционного материала арматурой, решающим образом влияет на прочность и другие свойства материала даже при не слишком хороших упругих и адгезионных свойствах применяемого связующего. Однако превышение некоторого максимума технологического натяжения приводит к дополнительным повреждениям армирующих волокон при движении по пропиточно-формирующему тракту станка и к появлению участков, не смоченных связующим и создающих неоднородность свойств материала по толщине наматываемой оболочки.

**Оптимальное давление контактного формования** при намотке, определяемое натяжением наполнителя, позволяет получать максимальную прочность, минимальную пористость и наилучшие сочетания других свойств материала. Оно зависит от типа армирующего полуфабриката и характеристик полимерного связующего. Номинальное значение технологического натяжения армирующего материала, выражаемое в долях разрывной нагрузки применяемой арматуры ( $P_p$ ), для стеклянных нитей варьируется в пределах 0,12-0,5 от  $P_p$  [5]. Для стеклоткани натяжение обычно составляет 0,1-0,4 ( $P_p$ ). При этом уровень приложенных натяжений органопластиков в 2 раза выше, а при намотке углепластиков и боропластиков в 2 раза ниже, чем при намотке стеклопластиков [5].

Нарушение сплошности композита происходит вследствие либо потери сплошности, либо нарушения сплошности связующего или из-за нарушения связи по границе раздела волокно-смола. Условия сплошности описываются системой неравенств [3]

$$\frac{E_c}{E_a} \geq 0,06, \quad \frac{\tau_{адг}}{\sigma_a} \geq 0,04, \quad \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_a} \geq 1,5, \quad \frac{\sigma_c}{\sigma_a} \geq 0,06, \quad \frac{\tau_c}{\sigma_a} \geq 0,04.$$

Из-за существенного различия свойств компоненты стеклопластика разрушаются не одновременно. Поэтому при формулировании условий герметичности необходимо учитывать, какой из компонентов (или контактный слой) разрушается первым. В композитах даже при простых видах нагружения связующее находится в плоском (или объемном) напряженном состоянии, и для оценки его прочности и, следовательно, сплошности совершенно необходимо применение тех гипотез прочности, которые учитывают реальное напряженное состояние.

Связь волокнистого наполнителя со связующим при формовании изделий из композиционных материалов связано с процессом пропитки пористой волокнистой среды. Сопротивление этой среды, оказываемое

течению жидкости, зависит от размеров и геометрии пор, которые, в свою очередь, определяются ориентацией и содержанием волокнистого наполнителя.

**Оценка проницаемости пористой среды** обычно проводится в условиях одномерного течения ньютоновской жидкости известной вязкости через пористый образец прямоугольного сечения [4]. Измеряя перепад давления на входе и выходе, а также расход жидкости, можно рассчитать коэффициент проницаемости пористой среды  $K$  по следующей формуле

$$K = \frac{Q\mu L}{(p_1 - p_2)b\delta},$$

где  $Q$  – расход жидкости;  $\mu$  – вязкость жидкости;  $L, b, \delta$  – размеры образца;  $(p_1 - p_2)$  – перепад давления по длине образца.

**Роль технологического натяжения** арматуры при намотке очень велика. Натяжение определяет коэффициент наполнения композиционного материала арматурой, решающим образом влияет на прочность и другие свойства материала даже при не слишком хороших упругих и адгезионных свойствах применяемого связующего. Однако превышение некоторого максимума технологического натяжения приводит к дополнительным повреждениям армирующих волокон при движении по пропиточно-формирующему тракту станка и к появлению участков, не смоченных связующим и создающих неоднородность свойств материала по толщине наматываемой оболочки.

**Без обеспечения герметичности** стеклопластиков немислимо их применение в ряде отраслей промышленности и новой техники. Поэтому проблема формирования условий, которым должны удовлетворять как исходные элементы композита, так и условия его эксплуатации, для создания герметичной системы весьма актуальна.

1. Василевич Ю.В., Горелый К.А., Сахоненко С.В., Сахоненко В.М., Малютин Е.В. Механика препрегов – расчет изделий из армированных композиционных материалов. Научное издание в 2 частях. БНТУ, 2016. - 593с.

2. Василевич Ю.В., Горелый К.А., Сахоненко С.В., Сахоненко В.М., Скворцов К.Г., Федотов Д.А. Применение свойств препрегов в технических процессах изготовления изделий из композиционных материалов. Научное издание. – М.- 2017. - 153с.

3. Трофимов Н.Н., Канович М.З. Основы создания полимерных композитов. – М.: Наука, 1999, - 539с.

4. Практикум по технологии переработки пластических масс. Под.ред. Виноградова В.М., Головкина Г.С. – М.: Химия, 1980. – 240 с.

5. Калинин В.А., М.С. Макаров. Намотанные стеклопластики. – М.: Химия, 1986. – 272 с.