

$$Q_3 = \frac{B U h_{\pi} (s+1)}{s+2}$$

Таким образом, получены все уравнения, необходимые для расчета параметров пултрузионной головки и процесса пултрузии в случае получения однонаправленно армированных лент с термопластичной матрицей. Обоснованность изложенного подхода подтвердилась в процессе проектирования опытной плоскощелевой пултрузионной головки и отработки технологии формования лент.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волоконная технология переработки термопластичных полимерных материалов/Под ред. Г.С.Головкина. - М.: МАТИ, 1992.
2. Патент США 4988278. - 1992.
3. Торнер Р.В. Основные процессы переработки полимеров (теория и методы расчета). - М.: Химия, 1972.

УДК 678.073:678.066.9:539.4

В.П.Ставров, профессор;

В.М.Давыдик, инж.;

А.О.Жуковский, инж.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПУЛТРУЗИЕЙ

Permeability of stochastic fibersystem for thermoplastic polymer melt and dependency of elastic and strength properties of unidirectional pultruded glassfiber prepregs on consistency and properties of components is described.

Высокопрочные материалы и изделия на основе однонаправленных волокнистых наполнителей получают методом пултрузии. Одна из наиболее существенных проблем, от решения которой зависит получение высокопрочных изделий из армированных термопластов, - проблема пропитки волокнистой системы расплавом полимера [1]. В данной статье приводятся результаты исследования проницаемости волокнистой системы с учетом ее стохастического характера, а также влияние доли и свойств компонентов на свойства композита, получаемого пултрузией.

Нити и ровинг, консолидируемые путем пултрузии, образуют трансверсально изотропную волокнистую систему, поэтому необходимо определить проницаемость в двух главных направлениях: вдоль волокон (по оси z) и в плоскости, перпендикулярной волокнам (по оси

х). При степенном законе течения полимерного расплава объемный расход через единичную площадку пористой волокнистой системы связан с градиентом давления и параметрами течения нелинейным соотношением. Пусть μ - коэффициент вязкости; n - параметр (показатель степени); $s = 1/n$.

Для определения коэффициентов проницаемости применим подход Козени-Кармана, основанный на капиллярной модели порового пространства [2]. Допустим, что течение расплава полимера в направлении оси x осуществляется по щелевым капиллярам [3], причем ширина щели ξ - случайная величина, определяемая расстоянием между волокнами, измеренным в произвольном сечении. Осредненный (с учетом разброса размеров) расход получается в результате применения оператора математического ожидания. Расход через единичную площадку получим, умножив полученный результат на число щелей, приходящихся на единицу ширины $[L]$. Если размер хорд и промежутков мал по сравнению с единицей ширины площадки $[L]$, можно считать, что $[L] = n_1(a + b)$, где n_1 - среднее число промежутков на единице ширины площадки $[L]$; a - средняя длина хорды, пересекающей волокно; $b = \langle \xi \rangle$. Приняв $[L] = 1$, получим расход жидкости через единичную площадку:

$$Q = \frac{\langle \epsilon^{s+2} \rangle}{(s+2) 2^{s+2} (a+b) \mu^s} \left| \frac{dp}{dy} \right|^s \quad (1)$$

Задача определения Q , а следовательно, коэффициента проницаемости K_x сводится к нахождению начального момента порядка $s+2$ случайного зазора между волокнами. Примем для промежутков между волокнами распределение Вейбулла с параметрами q (параметр неоднородности - показатель степени) и m . Приемлемость закона Вейбулла для распределения промежутков между волокнами проверяли путем исследования микрошлифов однонаправленного стеклопластика на основе жгута со средним объемным содержанием волокон $C_v = 0,65$ по методике, описанной в [4]. Параметры распределения равны: $q = 1,4$, $m = 4,3$, $b = \langle \xi \rangle = 3,9$ мкм, $S\xi = 2,8$ мкм, $V\xi = 0,7$. Критерий $X^2 = 9,3$ при табличном (для уровня значимости 5%) $X^2_{т} = 16,9$, т.е. гипотеза о законе распределения Вейбулла согласуется с результатами измерений. Штельбринк [5] установил, что при больших концентрациях волокон ($C_v > 0,6$) параметр q практически не зависит от C_v .

Начальный момент порядка k случайной величины ξ равен:

$$\langle \xi^k \rangle = m^k \Gamma(1 + k/q). \quad (2)$$

Здесь $\Gamma(x)$ - гамма-функция.

В книге [4] показано, что величина b явно выражается через средний размер a хорды случайной длины, пересекающей волоно круг диаметром d в сечении, перпендикулярном направлению волокон, и через объемные связующего C_n и волокон C_f

$$b = \frac{\pi d C_n}{4 C_f}; \quad a = \frac{\pi d}{4}. \quad (3)$$

С учетом (1) - (3) запишем выражение для коэффициента проницаемости волокнистой системы при течении степенной жидкости перпендикулярно волокнам:

$$K_x = \left(\frac{\pi d}{C_n} \right)^{s+1} \frac{\Gamma(1 + (s+2)/q) C_n^{s-2}}{(s+2) 2^{2s+4} \Gamma^{s+2}(1+1/q)}. \quad (4)$$

Параметр m распределения расстояний ξ между волокнами в формулу (4) для коэффициента проницаемости не входит, поскольку он согласно формулам (2) и (3) выражается через параметры структуры d , C_n и C_f . Действительно:

$$m = \frac{\pi d C_n}{4 C_f \Gamma(1+1/q)}. \quad (5)$$

Выражение (5) позволяет вычислить параметр m по известным характеристикам структуры. Для исследованного стеклопластика $d = 9,8$ мкм, $C_n = 0,65$, $C_f = 0,35$, $q = 1,4$. Расчет дает $m = 4,16$, что близко к полученному экспериментально значению $m = 4,3$.

Найдем коэффициент проницаемости волокнистой системы вдоль направления волокон K_x . Вычисления приводят к следующему выражению:

$$K_x = \frac{d^{s+1} C_n^{s+2}}{(s+3) 2^{2s+1} C_f^{s+1}}. \quad (6)$$

Результаты расчета коэффициентов проницаемости однонаправленно волокнистой системы для главных направлений показаны на рис. 1. Видна существенная зависимость проницаемости от параметра n расплава и направления течения. При этом степень анизотропии проницаемости увеличивается с уменьшением параметра n ($n = 1$ соответствует ньютоновской жидкости). Экспериментально полученные коэффициенты проницаемости оказались меньше расчетных. Это обусловлено, в первую очередь, сжатием волокнистой системы под давлением расплава. Введение в расчетные формулы (4) и (6) более высоких значений C_n (0,7 - 0,9) существенно улучшает соответствие,

практически приближая расчетные значения коэффициентов проницаемости к экспериментальным.

Модули упругости однонаправленного волокнистого композита при отсутствии дефектов структуры достаточно точно находятся путем осреднения по схеме Фойгта [4]:

$$E = E_a C_v + E_c C_n \quad (7)$$

В формуле (7) E_a , E_c - модули Юнга арматуры и связующего; C_v , C_n - их объемные доли. Формула учитывает неизбежную пористость. Если C_o - объемная доля пор, то $C_v + C_n + C_o = 1$. В случае термопластичных связующих, как правило, $E_a \gg E_c$, поэтому вторым слагаемым в (10) можно пренебрегать.

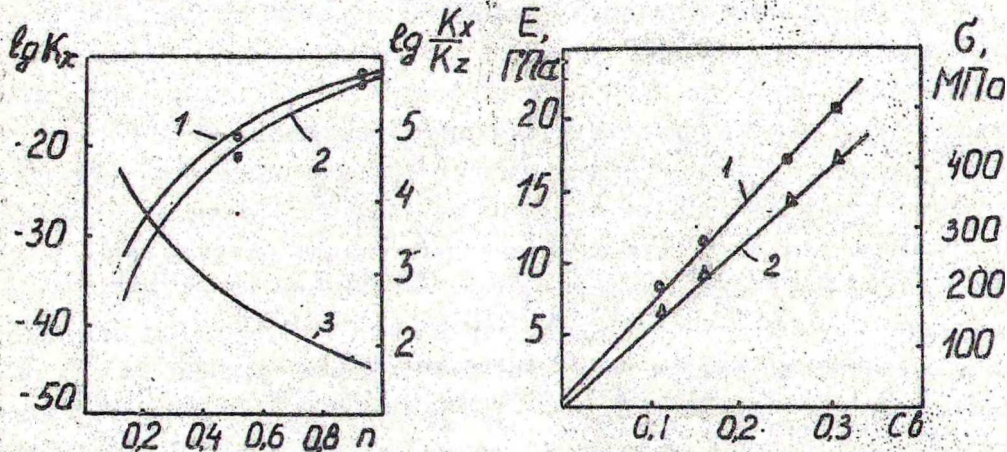


Рис.1. Зависимость коэффициентов проницаемости волокнистой системы от параметра n расплава: 1 - перпендикулярно волокнам; 2 - вдоль волокон; 3 - степень анизотропии. Точки соответствуют экспериментальным значениям для ПЭНП ($n = 0,5$) и ЭД-20 ($n = 0,9$).

Рис.2. Зависимость модуля Юнга (1) и прочности при растяжении (2) однонаправленных лент от содержания наполнителя. Сплошные линии - результаты расчета по формулам (7) и (8).

На рис. 2 сравниваются результаты расчета модулей Юнга по формуле (7) с результатами экспериментального определения этого показателя для лент, полученных пултрузией. Образцы изготавливали на опытной пултрузионной установке, созданной на базе червячного пресса ЧП45-25. Для изготовления использовал стекловолокнистые наполнители: стеклоровинг РБР-13-1600, стеклонить БС9-

52x1x2; термопласты: полиэтилен ПЭНП (марки 12003-200), сополимер сэйлен 11808-1750, полипропилен и полиамид 6.

Для прогнозирования прочности при растяжении может использоваться формула, вытекающая из предположения о равенстве деформаций компонентов при разрыве:

$$\sigma = \sigma_a \left(C_v + \frac{E_a}{E_c} C_n \right), \quad (8)$$

где σ - прочность при растяжении армирующих волокон и связующего. Ввиду малости E_c по сравнению с E_a второе слагаемое дает пренебрежимо малый вклад.

Подстановка в формулу (8) в качестве σ_a среднего значения разрушающих напряжений для элементарных волокон приводит к завышенным значениям прочности композита. Необходимо учитывать масштабный эффект прочности волокнистой системы.

С целью оценки роли масштабного эффекта исследовали распределение прочности при растяжении элементарной нити с линейной плотностью 13,6 текс. Для разрушающего усилия получен закон распределения Вейбулла с параметрами $q = 7,86$, $m = 59,5$ Н (среднее значение $F = 56$ Н, коэффициент вариации $V = 0,15$). При полученном значении параметра неоднородности q доля средней прочности, реализуемая в комплексной нити, равна $f(q) = 0,72$. Выражение для средней прочности армированной ленты, включающей N комплексных нитей, учитывающее масштабный эффект, имеет вид:

$$F_{cp} = \sigma_a A C_v f(q) \left(\frac{N A_0}{A C_v} \right)^{1+q}, \quad (9)$$

где A - площадь сечения ленты; A_0 - площадь сечения, $\sigma_a = F / A_0$ - среднее разрушающее напряжение для элементарной нити.

Результаты расчета по формуле (9) хорошо согласуются с экспериментальными данными (см. рис. 2). Разрушающая нагрузка, приходящаяся на одну комплексную нить типа БС9-52x1x2, рассчитанная по формуле (9), составляет 46 Н, найденная экспериментально (путем испытаний по ГОСТ 6943.10) - 44 Н.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что в полученных пултрузией термопластичных композитах достаточно эффективно реализуются потенциальные упругие и прочностные свойства волокнистых армирующих наполнителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленский Э.С., Куперман А.М., Лебедева О.В. // Технология: Конструкции из композиционных материалов. - Вып. 1. -1991.
2. Ромм Е.С. Структурные модели порового пространства горных пород. - Л.: Недра, 1985.
3. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. - М.: Химия, 1984.
4. Волков С.Д., Ставров В.П. Статистическая механика композитных материалов. - Минск, Изд-во БГУ, 1978.
5. Stellbrink K. Ueber relative Bruchwahrscheinlichkeiten benachbarter Fasern in belasten Composites. - DFL-FB 77-56, Stuttgart, 1977.

УДК 678.042

М.М.Ревяко, профессор; М.П.Цвирко, профессор;
В.Е.Пятосин, ст.н.сотр.; В.В.Яценко, ст.н.сотр.;
А.Я.Маркина, доцент; Ж.М.Зюськевич, инженер

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПЛЕНКИ

Optics and physical-mechanics properties, resistance to UY-radiation of polyethylene films, modify with luminophours and anti-oxidant was studied. It was shown the effect adoption films for plant growing.

Эффективность применения в растениеводстве полимерных пленок в значительной мере определяется их оптическими свойствами. Спектральный состав излучения влияет на сроки развития и урожайность сельскохозяйственных культур. Известно, что УФ-излучение и особенно эритемное УФ-излучение (280-320 нм) тормозит рост растений и снижает их продуктивность [1,2].

Перспективным и новым подходом к регулированию спектрального состава излучения с целью повышения эффективности его использования в теплицах является применение полимерных пленок, активированных люминофорами [3,4]. Такие пленки поглощают вредное для растений УФ-излучение и преобразуют его в фотосинтетически активную радиацию (ФАР) (380 - 710 нм). Однако описанные пленки имеют недостаточно высокую эффективность преобразования УФ-излучения в видимое, недостаточную фотостабильность и высокую стоимость.