

10. Патент RU 1791753 С от 10.02.1995. Способ определения долговечности эластомеров // Алексеев А.Г., Прокопчук Н.Р., Старостина Т.В., Кисель Л.О.
11. Патент ВУ 2468 от 30.12.1998. Способ определения долговечности эластомерных композиций // Прокопчук Н.Р., Кудинова Г.Д., Асловская О.А. и др.
12. Заявка на выдачу патента РБ № 19980642 от 28.09.1998. Способ определения долговечности полиолефинов/Прокопчук Н.Р., Толкач О.Я.
13. Уэндланд У. Термические методы анализа. – М.: Мир, 1978. – С. 54-70.

УДК 678.073:678.027.9

А. Л. Наркевич, аспирант; В. П. Ставров, профессор

ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПРОФИЛЯ ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННО АРМИРОВАННОГО ТЕРМОПЛАСТА ПРИ ОДНОСТАДИЙНОЙ ПУЛТРУЗИИ

Using the model of a thermoplastic polymer melt filtration through a unidirectional fibre layer the structure transformation and stiffness shaped parts manufactured with the on-line pultrusion is investigated.

Введение. Одностадийная пултрузионная технология позволяет получать из однонаправленно армированных термопластов профильные изделия различного назначения. Высокая производительность и низкая энергоемкость процесса достигаются за счет того, что препрег в виде стренг поступает в профилирующую головку непосредственно после пропитки, без промежуточного охлаждения и нагрева [1].

Для полной консолидации температура стренг должна быть выше температуры плавления матричного полимера. В процессе перемещения стренг на участке от пропиточной до профилирующей головки и во входной части профилирующей головки изменяется их положение – от исходного, соответствующего расположению калибрующих втулок на выходе из пропиточной головки, – до конечного, соответствующего требуемой структуре профильного изделия. Для этого используют различные отклоняющие элементы с криволинейной поверхностью – валки, ролики, фильеры. За счет натяжения стренг на криволинейной поверхности отклоняющих элементов создается давление, которое приводит к смещению армирующего наполнителя относительно контура стренги или формуемого профиля. В результате изменяются структура профиля в трансверсальном сечении и, следовательно, характеристики его жесткости. Такое смещение может быть также причиной искривления оси получаемого стержня. Указанное явление до сих пор не исследовалось. Цель данной работы – создание модели трансформации структуры и количественная оценка влияния различных конструктивно-технологических факторов на структуру и свойства профилей, получаемых методом одностадийной пултрузии из армированных термопластов.

Модель процесса. Пусть стержень прямоугольного сечения (рис. 1) протягивается через формирующий инструмент с криволинейной (в плоскости yz) поверхностью. Радиус кривизны этой поверхности R . Натяжение (усилие пултрузии) равно F . Тогда давление на поверхность равно

$$p = F/Rb. \quad (1)$$

При пултрузионной пропитке стеклоровинга расплавом термопластичного полимера на выходе из пропиточной головки формируются стренги с относительно компактным расположением волокон в трансверсальном сечении [2]. Если относительная доля

волокон мала, то эти области, заполненные преимущественно волокнами, сохраняются и в готовом изделии (рис. 2). Их расположение в сечении может быть произвольным.

Пусть x – нейтральная ось сечения стержня (см. рис. 1). Под действием натяжения пучки волокон смещаются к оси x_0 . Этот процесс сопровождается фильтрацией полимерного расплава, находящегося в области, прилегающей к формообразующей поверхности (оси x_0), в направлении оси y .

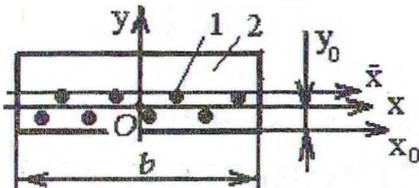


Рис. 1. Поперечное сечение стержня:
1 – армирующий элемент; 2 – полимерная матрица



Рис. 2. Микршлиф профиля, полученного пултрузией

Если расплав обладает нелинейно-вязкими свойствами, которые характеризуются степенным законом течения с параметрами k и n (k – коэффициент консистенции, n – показатель степени), то закон его фильтрации записывается в виде обобщенного закона Дарси [3]:

$$\frac{dh}{dt} = K_e \left(\frac{p}{kh} \right)^s, \quad (2)$$

где h – толщина полимерной прослойки; K_e – эффективный коэффициент проницаемости; $s = 1/n$.

Интегрирование уравнения (2) дает зависимость толщины полимерной прослойки от времени контакта деформируемого слоя с формообразующей поверхностью. Аналитическое решение этой задачи для случая произвольного расположения элементов невозможно, поэтому использовали численное решение по алгоритму, описанному в [3]. Этот алгоритм позволяет учесть не только произвольную исходную конфигурацию армирующих элементов в сечении, но и ее изменение под действием потока расплава. В результате расчета находили координаты армирующих элементов в произвольный момент времени, в т. ч. их конечные значения после контакта стержня с формообразующей поверхностью. По этим значениям вычисляли момент инерции армирующих элементов согласно формуле

$$I_x^{(a)} = \sum \bar{y}_i^2 A_i - y_0 \sum \bar{y}_i A_i, \quad (3)$$

где $y_0 = \sum \bar{y}_i A_i / A$; $A = \sum A_i$; A_i – площадь сечения элемента i ; \bar{y}_i – ордината элемента, отсчитываемая от формообразующей поверхности (от оси x_0).

Жесткость стержня при изгибе относительно оси x равна

$$D_x = E_c I_x + (E_a - E_c) I_x^{(a)}, \quad (4)$$

где E_a , E_c – модуль Юнга армирующих элементов и матричного полимера; I_x – момент инерции сечения профиля.

Смещение элементов вызывает не только изменение жесткости при изгибе, но и появление кривизны стержня, если нейтральная ось для системы армирующих элементов x не совпадает с нейтральной осью сечения \bar{X} .

Результаты расчета и эксперимента. Расчет проведен для случая пултрузии стержня прямоугольного сечения (см. рис. 1). Показатели вязких свойств k и n матричного полимера (полиамида-6) при температурах формообразования профиля 215 и 225° С равны 10 и 6 кПа·сⁿ; 0,57 и 0,6 соответственно. Радиус формообразующей поверхности $R = 35$ мм. Скорость пултрузии 2,5 и 3,1 м/мин; усилие – 650 Н.

Продолжительность фильтрации расплава через систему упорядоченно расположенных элементов зависит от структуры (рис. 3). Время прохождения потока при заданных условиях оказалось почти на порядок меньше продолжительности контакта формируемого профиля с формообразующей поверхностью.

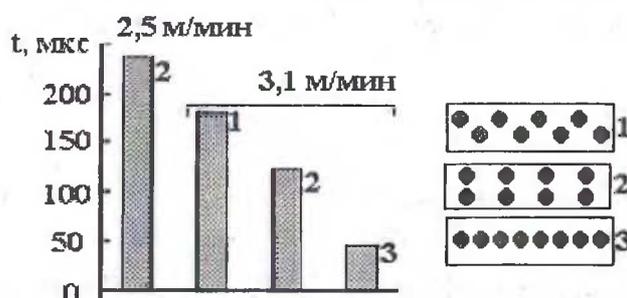


Рис. 3. Продолжительность смещения армирующих элементов в зависимости от их расположения в сечении и скорости протяжки

В результате смещения армирующих элементов момент инерции их уменьшается для структуры 1 (см. рис. 3) в 7,5 раза, для структуры 2 – в 3,3 раза; в случае структуры 3 почти не изменяется. Жесткость стержней при изгибе в случае структур 1 и 2 уменьшается на 30%. Для структуры 3 получили увеличение жесткости, и при этом ее значение на 10% больше, чем для структур 1 и 2, однако при испытаниях на изгиб такие профили разрушались при относительно низких усилиях вследствие потери устойчивости волокон, расположенных в сжатой зоне сечения.

По результатам расчета разработаны меры по сохранению требуемой конфигурации армирующих элементов в сечении профиля.

Экспериментальную часть работы проводили на пултрузионной установке, описанной в статье [4]. При режимах, указанных выше, изготавливали профили в виде "раскладок" для крепления панелей в салонах транспортных средств (см. рис. 2).

Регулируя воздействие отклоняющих элементов, получали профили с равновесной структурой, при которой нейтральная ось для армирующих элементов совпадает с нейтральной осью всего сечения. Тем самым удалось устранить кривизну профилей в продольных плоскостях.

Выводы.

1. Течение полимерного расплава под действием натяжения стренг приводит к значительным изменениям структуры профилей, получаемых путем одностадийной пултрузии.

2. Предложенная модель позволяет рассчитать возможные смещения армирующих элементов и выработать мероприятия, устраняющие кривизну.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ставров В. П., Наркевич А. Л. Структура и механические свойства стеклоармированных профилей на основе вторичного полиамида-6 // Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической промышленности и производстве строительных материалов: Материалы докладов Межд. научно-техн. конф. – Мн.: БГТУ, 2000. – С. 93-96.
2. Ставров В. П., Марков А. В., Наркевич А. Л. Энергосберегающие on-line технологии производства изделий из термопластов, армированных волокнами // Там же. – С. 96-99.
3. Ставров В. П., Зуев А. П., Марков А. В. Универсальная установка для изготовления методом пултрузии волокнистых композитов с термопластичной матрицей // Полимерные композиты – 98. – Гомель: ИММС НАНБ, 1998. – С. 184.
4. Ставров В. П., Ставров В. В., Кременевская Е. И., Панкова Н. В. Пропитка натянутой системы полимерным расплавом // Материалы, технологии, инструменты. – 1999. №1. – С. 9-14.

УДК 678.073:678.027.9

А. В. Марков, инженер; А. Л. Наркевич, аспирант; О. И. Карпович, студент;
В. П. Ставров, профессор

РЕЖИМЫ ОДНОСТАДИЙНОЙ ПУЛТРУЗИИ ПРОФИЛЕЙ ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННО АРМИРОВАННЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ

The calculation method of on-line pultrusion process parameters of a unidirectional reinforced thermoplastic profiles is offered. It is shown, that a pultrusion speed and force on temperature and transversal viscosity of prepreg is depended.

Введение. Одностадийная пултрузионная технология позволяет из однонаправленно армированных термопластов получать профильные изделия с высокими механическими свойствами при минимальных энергозатратах [1]. Для оптимизации режимов пултрузии необходимы соотношения между основными параметрами процесса – температурой, усилием и скоростью протягивания профиля. Эти параметры могут быть рассчитаны с помощью адекватной модели процесса, если известны показатели вязких свойств армированного слоя [2]. Вязкие свойства слоя зависят от его температуры, являющейся, в свою очередь, функцией скорости перемещения и условий теплоотдачи. Поэтому при расчете режимов пултрузии возникают погрешности, обусловленные неточностью задания теплового режима процесса. В данной работе предлагается метод определения режимов пултрузии профильных изделий из армированных термопластов.

Метод расчета. Схема профилирующей пултрузионной головки, имеющей входную и калибрующую зоны, показана на рис. 1. Во входной зоне происходят нестационарные процессы деформирования профилируемого слоя. Здесь возникают наибольшие давления и усилия. Входная зона характеризуется длиной L , профилем $h(z)$ и углом входа α . Если вязкое течение слоя при сдвиге в трансверсальной плоскости описывается степенным законом, то распределение давления во входной зоне при протягивании слоя со скоростью U задано выражением [3]

$$p(x, z) = \frac{kv(s+2)^n B(z)^{n+1}}{h(z)^{2n+1}(n+1)} \left[1 - \left(\frac{2x}{B(z)} \right)^{n+1} \right] \quad (1)$$