

## 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  $\alpha$ . 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]

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

Здесь  $v = -dh/dt$  – скорость сжатия слоя, связанная со скоростью пултрузии  $U$  соотношением  $v = U \operatorname{tg} \alpha$ ;  $B(z)$  – ширина слоя:  $B(z) = A/h(z)$ ;  $A$  – площадь сечения слоя;  $k$  и  $n$  – параметры степенного закона течения однонаправленного слоя в трансверсальной плоскости ( $k$  – коэффициент консистенции;  $n$  – показатель степени), определяемые экспериментально [3].

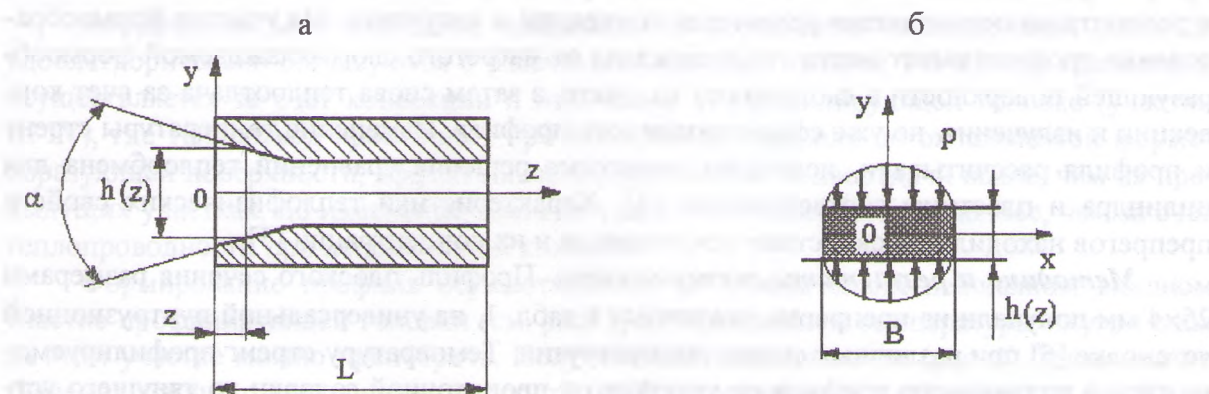


Рис. 1. Схемы профилирующей головки (а) и деформирования слоя (б)

Усилие пултрузии находили путем интегрирования касательных напряжений по поверхностям контакта деформируемого слоя с формообразующей оснасткой. При температуре выше температуры плавления имеет место прилипание расплава к поверхности профилирующей головки и вязкое течение в полимерной прослойке между деформируемым слоем и формообразующей поверхностью профилирующей головки. В этом случае сила сопротивления перемещению слоя равна [4]

$$F = \int_0^S \int_0^L \frac{dp}{dz} \delta(x, z) [1 - \eta(z)] dx dz. \quad (2)$$

Здесь  $\delta$  – толщина полимерной прослойки;  $dx$  – элемент контура формообразующей поверхности  $S$ ;  $\eta(z)$  – безразмерная ордината ( $y'/\delta$ ), отсчитываемая от поверхности  $S$ , точки, в которой касательное напряжение равно нулю. Значения  $y'$  и  $\eta(z)$  находили из условия баланса расхода полимерного расплава в прослойке.

На участках, где наблюдается скольжение, составляющую усилия пултрузии определяли по коэффициенту трения слоя о формообразующую поверхность.

Расчеты усилия пултрузии проводили по характеристикам вязких свойств однонаправленных препрегов двух типов: на основе полипропилена (ПП) и полиамида-6 (ПА-6), полученных из стеклорвинга и содержащих 20 мас.% стекловолокна (СВ) (табл. 1).

Таблица 1  
Параметры степенного закона течения однонаправленного слоя

Материал	Температура, °С	$k$ , кПа·с <sup><math>n</math></sup>	$n$
ПП+СВ (20 мас. %)	170	0,19	3,1
	180	0,35	2,7
ПА+СВ (20 мас. %)	240	0,28	2,5
	260	0,19	0,5



Согласно расчетам по формулам (1) и (2), при неизменной температуре давление в профилирующей головке и, соответственно, усилие пултрusionи возрастают с увеличением скорости протягивания слоя. Однако в реальном процессе температура слоя, поступающего в головку, возрастает с увеличением скорости его перемещения. Ее значение зависит от условий теплопередачи. На начальном участке – от пропиточной до профилирующей головки – перемещается стренга преимущественно круглого сечения, и теплоотдача определяется условиями конвекции и излучения. На участке формообразования профиля имеет место теплопередача от нагретого слоя охлаждаемой формообразующей поверхности в скользящем контакте, а затем снова теплоотдача за счет конвекции и излучения, но уже сформированного профиля. Изменение температуры стренг и профиля рассчитывали, используя известные решения уравнений теплообмена для цилиндра и пластины соответственно [4]. Характеристики теплофизических свойств препрегов находили по свойствам компонентов и их концентрации [5].

**Методика и результаты эксперимента.** Профиль плоского сечения размерами 25×4 мм получали из препрегов, указанных в табл. 1, на универсальной пултрusionной установке [6] при различных скоростях пултрusionи. Температуру стренг профилируемого слоя и полученного профиля на участках от пропиточной головки до тянущего устройства измеряли с помощью бесконтактного термометра типа БНТ-03. Усилие пултрusionи (сопротивление профилированию) находили как разность измеренного с помощью тензорезисторного датчика полного тянущего усилия и сопротивления протягиванию стренг через пропиточную головку. Различные скорости пултрusionи задавали с помощью частотного преобразователя типа Омрон, установленного в системе привода тянущего устройства.

Результаты измерений температуры показаны на рис. 2. Видно, что тепловой режим пултрusionи существенно зависит от скорости протягивания и теплофизических свойств препрега.

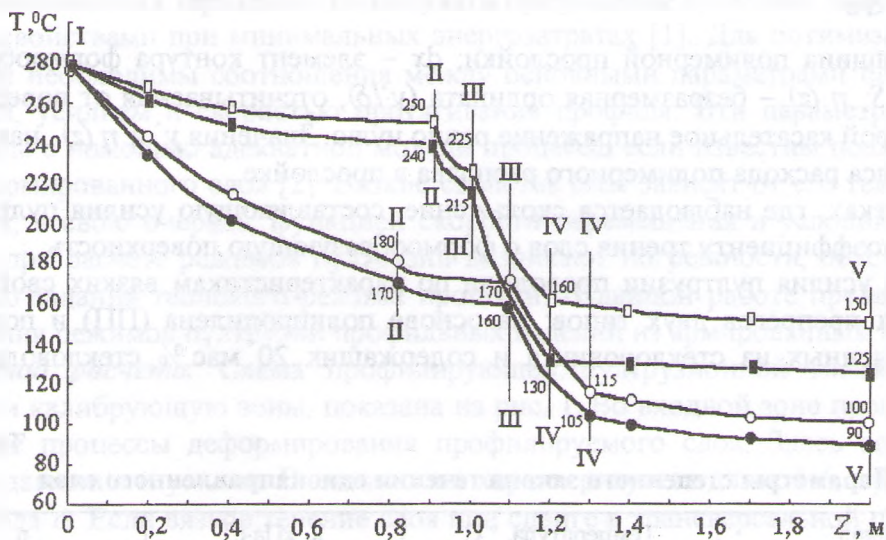


Рис. 2. Распределение температуры слоя при одностадийной пултрusionи профильного изделия: I – пропиточная головка; II – собирающий ролик; III – профилирующая головка (вход); IV – профилирующая головка (выход); V – тянущее устройство

Кoeffициенты теплоотдачи ( $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ) по участкам

Материал	I-II-III	III-IV	IV-V
ПП+СВ20	25-30	70-75	50-55
ПА-6+СВ20	17-18	70-72	45-50

Кoeffициенты теплоотдачи, найденные по результатам эксперимента (табл. 2), удовлетворительно согласуются с рассчитанными для участков I-II-III, где теплоотвод осуществляется за счет конвекции и излучения. В профилирующей головке (участки III-IV), где теплоотвод происходит при скольжении профиля по охлаждаемой формообразующей поверхности, эффективные коoeffициенты теплоотдачи выше, чем на предыдущих участках, но изменение температуры слоя происходит медленнее, чем за счет теплопроводности при неподвижном контакте.

Формирование профиля осуществляется на относительно небольшом входном участке профилирующей головки (см. рис. 1, а). Изменением температуры внутри слоя на этом участке можно пренебречь. Полученные в эксперименте (рис. 3) более низкие значения усилий с увеличением скорости профилирования слоя объясняются его более высокой температурой на входе в профилирующую головку (см. рис. 2) и, соответственно, более низкими значениями вязкости полимерного расплава и препрега. Меньшими значениями вязкости препрега объясняются и более низкие усилия пултрузии при изготовлении профиля из ПА-6+СВ20 по сравнению с усилиями при профилировании препрега ПП+СВ20. Если учесть эти факторы, то расчетные усилия пултрузии оказываются близкими к полученным в результате эксперимента (см. рис. 3).

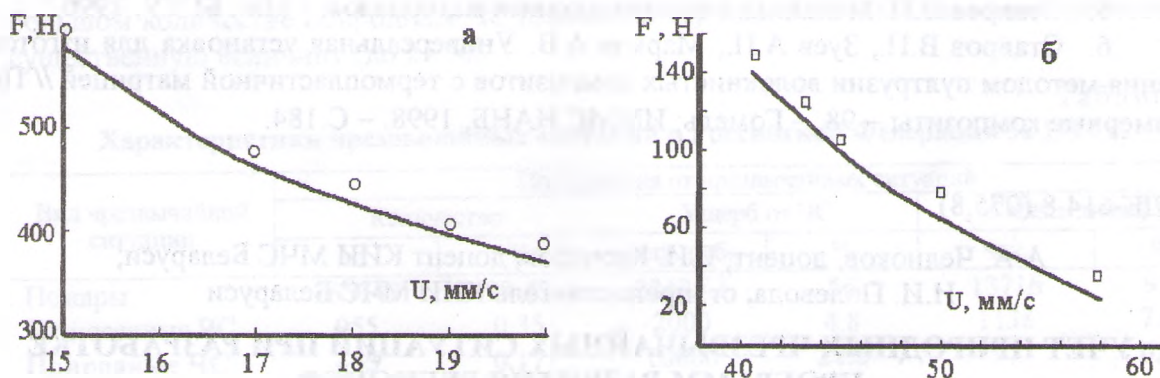


Рис. 3. Зависимость усилия от скорости пултрузии при профилировании стержней из препрега ПП+СВ20 (1) и ПА-6+СВ20 (2)

Кoeffициенты трения сформированного профиля о поверхность профилирующей головки при температуре формообразования имеют достаточно высокие значения (0,4-0,5 для профиля ПА-6+СВ20 и 0,6-0,75 для ПП+СВ20) и с увеличением температуры возрастают. Поскольку на участках III-IV (см. рис. 2) температура внутренних слоев профиля превышает температуру плавления матричного слоя или близка к ней, то высокие касательные напряжения в поверхностном слое служат причиной наблюдаемых в эксперименте нарушений сплошности и, следовательно, снижения качества поверхности профиля. Оптимизация режимов пултрузии на основе предложенной методики позволяет избежать таких дефектов.



**Выводы.**

1. Предложена методика определения параметров одностадийного процесса пултрузии профилей из однонаправленно армированного термопластичного полимера.
2. Показано, что соотношение между скоростью и усилием пултрузии определяется температурой деформируемого слоя и показателями вязких свойств слоя при сдвиге в трансверсальной плоскости. Учет теплового режима пултрузии позволяет оптимизировать параметры процесса.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Ставров В.П., Марков А.В. Одностадийная пултрузионная технология получения профилей из армированных термопластов // Новые конкурентоспособные и прогрессивные технологии в условиях современного рынка: Материалы Межд. конф. – Могилев: ММИ, 2000. – С. 163.
2. Ставров В.П., Наркевич А.Л. Моделирование процесса пултрузии волокнистых композитов с термопластичной матрицей // Передовые технологии в производстве материалов и восстановлении изношенных поверхностей: Тезисы докл. Межд. конф. – Минск, 1997. – С. 23-24.
3. Ставров В.П., Дорожко А.В., Зуев А.П., Кременевская Е.И., Марков А.В., Старинская Т.В. Характеристики анизотропных композитов с термопластичной матрицей в вязкотекучем состоянии. 1. Методы определения // Материалы, технологии, инструменты. – 1998. – Т.3. № 3. – С. 92-97.
4. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1984.
5. Ставров В.П. Механика композиционных материалов. – Мн.: БГТУ, 1996.
6. 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.

УДК 614.8 (075.8)

А.А. Челноков, доцент; Г.И. Касперов, доцент КИИ МЧС Беларуси;  
И.И. Полевода, ст. преподаватель КИИ МЧС Беларуси

### **УЧЕТ ПРИРОДНЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММ РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ**

Procedure of making of region development program is to allow protection of population and territories in natural emergencies. Public protection is based on risks decrease of the natural emergencies sources. Safety in natural emergencies is based on principles and requirements of application and national complex of normative-technical documents in constructions.

**Чрезвычайная ситуация (ЧС)** – обстановка, сложившаяся в результате аварии, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые повлекли или могут повлечь за собой человеческие жертвы, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей, нанести вред здоровью людей или окружающей среде [1]. Межгосударственный стандарт ГОСТ 22.0.03-97 определяет **природную чрезвычайную ситуацию** (чрезвычайную ситуацию природного характера) как обстановку на определенной территории или акватории, сложившуюся в результате возникновения источни-