

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЛУНЖЕРНОЙ ЭКСТРУЗИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

*Институт инновационных исследований  
Гомель, Беларусь*

Значительный рост объемов производства, переработки и потребления полимерных материалов влечет за собой и увеличение количества их отходов. В связи с этим использование отходов в народном хозяйстве становится все более важной и актуальной задачей с точки зрения расширения сырьевой базы промышленности, снижения потребности в первичном сырье, экономии средств производства и охраны окружающей среды.

Одним из перспективных методов переработки композиционных материалов на основе отходов является экструзия.

Благодаря высокой производительности, легкости механизации и автоматизации, технологические процессы получения изделий экструзионными методами нашли широкое применение в самых разных сферах производства [1]. Основное достоинство экструзионных методов — возможность изготовления длинномерных изделий, однородных по составу и свойствам: пустотелых плит [2], брусьев, труб [3,4], профильно-погонажных изделий [5].

К недостаткам изделий, получаемых по экструзионной технологии, следует, в первую очередь, отнести низкую прочность на изгиб, обусловленную неблагоприятной ориентацией частиц наполнителя (древесины), которые располагаются преимущественно перпендикулярно направлению прессования [1].

Значительный ресурс повышения прочности экструзионных изделий достигается за счет дополнительной облицовки упрочняющими материалами или введением армирующих высокомодульных нитей [3,4].

В настоящей работе предлагается альтернативный способ улучшения прочностных характеристик — формирование на поверхности изделия высокопрочной фазы отвержденного реактопласта заданной толщины. При этом в объеме изделие сохраняет пористую структуру, что обеспечивает высокие теплоизоляционные свойства.

Рассмотрим подробнее теплофизические особенности процесса.

Пусть формирующий канал имеет три четко выраженные зоны:

1. необогреваемая зона уплотнения;
2. обогреваемая зона плавления;

### 3. охлаждаемая зона затвердевания прессматериала.

В процессе формования прессматериал уплотняется в зоне уплотнения, где он приобретает пористую структуру некоторой плотности, и затем поступает в зону плавления, температура которой по всей длине поддерживается постоянной. При этой температуре в зоне плавления происходит процесс теплопередачи от стен формирующего канала к формируемому изделию, в результате чего температура в сечении изделия постепенно выравнивается, пока не достигнет температуры зоны плавления формирующего канала. В [6] приводится функциональная зависимость для аналогичного режима теплопередачи. Так, для пластины толщиной  $2S$ , температура которой в начальный момент всюду одинакова и равна  $t_0$ , нагреваемой в среде с постоянной температурой  $t_{cp}$ , безразмерная температура пластины является функцией следующих безразмерных величин [6]:

$$\Theta = f(x/S, F_0, Bi), \quad (1)$$

где  $\Theta = \frac{t - t_{cp}}{t_0 - t_{cp}}$  — безразмерная температура;  $t$  — температура пластины на расстоянии  $x$  от средней плоскости пластины в момент времени  $\tau$ , считая от начала нагревания;  $F_0 = \frac{a\tau}{S^2}$  — число Фурье (безразмерное время);  $a$  — коэффициент температуропроводности,  $m^2/c$ ;  $Bi = \frac{\alpha \cdot S}{\lambda}$  — число Био (отношение внутреннего термического сопротивления к внешнему);  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи от поверхности пластины к окружающей среде;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности материала пластины,  $Вт/(м \times ^\circ C)$ .

Функциональная зависимость в этом случае выражается уравнением [6]:

$$\Theta = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 \sin \epsilon_n}{\epsilon_n + \sin \epsilon_n \cos \epsilon_n} \cdot \cos\left(\frac{x}{S} \epsilon_n\right) \exp(-\epsilon_n^2 F_0), \quad (2)$$

где  $\epsilon_n$  — корни характеристического уравнения  $ctg \epsilon_n = \epsilon_n / Bi$ ; при  $Bi \rightarrow \infty$  (практически при  $Bi > 100$ ) уравнение принимает вид:

$$\Theta = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4(-1)^{n+1}}{(2n-1)\pi} \cos \frac{(2n-1)\pi x}{2S} \exp\left[-\frac{(2n-1)^2 \pi^2}{4} F_0\right], \quad (3)$$

При значениях  $F_0 > 0,3$  можно приближенно вычислить  $\Theta$ , оставив в формуле (5) только первый член ряда (ошибка при этом не превышает 1%), т.е.:

$$\Theta = \frac{4}{\pi} \cos \frac{\pi x}{2S} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4} F_0\right), \quad (4)$$

Плунжерная экструзия предполагает изготовление изделий в виде пластин и других профилей с постоянной толщиной поперечного сечения. При формировании изделий в металлических прессформах под давлением имеется непосредственный контакт плотной обогреваемой среды (металлическая стенка) с формируемым изделием. В этом случае  $Bi \gg 100$ .

Для теплоизоляционных изделий, имеющих малую плотность (до  $1000 \text{ кг/м}^3$ ) число Фурье, как правило, больше 0,3. Следовательно, функциональная зависимость (4) вполне применима для описания процесса теплопередачи, протекающего в формирующем канале при формировании изделий типа пластины. С ее помощью можно определить то время  $\tau$ , в течение которого температура на расстоянии  $h$  от поверхности формируемого изделия достигнет  $t = t_{na}$ , где  $t_{na}$  — температура плавления формируемого материала. Так, выразив  $x$  через  $h$ , а

именно:  $x=S-h$ , подставив  $F_0 = \frac{a\tau}{S^2}$  и  $a = \frac{\lambda}{\rho C}$  в уравнение (4) и разрешив его относительно  $\tau$ , получим:

$$\tau = -\frac{4\rho CS^2}{\pi^2\lambda} \ln \frac{\Theta\pi}{4 \cos \frac{\pi(S-h)}{2S}}, \quad (5)$$

где  $\rho$  — плотность изделия;  $C$  — теплоемкость материала изделия.

При достижении на расстоянии  $h$  от поверхности изделия температуры  $t=t_{na}$ , материал на толщине  $h$  оказывается в расплавленном состоянии, в то время как в остальной части сечения изделия  $t < t_{na}$ , и материал сохраняет свою пористую структуру, приобретенную в зоне уплотнения формирующего канала. Как только слой расплава достигает заданной толщины  $h$ , изделие удаляют из зоны плавления и продвигают в охлаждаемую зону затвердевания, где окончательно формируется поверхностный слой изделия. Процесс этот протекает в формирующем канале непрерывно по мере поступления материала.

При этом время  $\tau$ , определяемое по формуле (5), является одним из главных параметров технологического режима изготовления погонажных изделий. Оно представляет собой время выдержки изделия в зоне плавления, в течение которого образуется слой расплава толщиной  $h$  на поверхностях изделия.

Вторым, не менее важным параметром технологического режима, является средняя температура зоны плавления  $t_{cp}$  формирующего канала, которую необходимо принимать в пределах:

$$t_{дестр} > t_{cp} \geq t_{на}$$

где  $t_{на}$  — температура плавления материала отходов или связующего;  $t_{дестр}$  — температура деструкции материала отходов или связующего.

И, наконец, существенным параметром технологического режима является давление формования  $P$ . Оно определяет, прежде всего, плотность изделия  $\rho$ . Поскольку плотность  $\rho$  и зависящий от нее коэффициент теплопроводности  $\lambda$  входят в формулу (5), для определения параметра  $\tau$  необходимо предварительно установить зависимость  $\rho = f(P)$ . Зная зависимость  $\rho = f(P)$ , задаются плотностью  $\rho$ , которую необходимо получить в изделии, а затем по ней определяют давление формования  $P$ .

Для осуществления процесса необходимо также определить вспомогательные параметры, такие как скорость движения изделия в формирующем канале и длина зоны плавления, которые являются производными величинами от основных параметров и зависят от вида применяемого оборудования.

Предлагаемый метод отличается простотой в исполнении и в то же время обладает более широкими технологическими возможностями по сравнению с существующими аналогами.

Возможность изготовления крупногабаритных профилированных изделий с повышенными теплоизоляционными свойствами методом плунжерной экструзии позволит перерабатывать огромное количество отходов промышленных производств

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барсуков В.Г. и др. Экструзионные технологии переработки материалов растительного происхождения // *Материалы, технологии, инструменты*. — 2002. — Т. 7. — №2. — С. 65–70.
2. Корчаго И.Г., Завражнов А.М. Экструзионные древесно-стружечные плиты. М.: Лесная промышленность, 1972.
3. Прушак В.Я., Колдаева С.Н., Михайлов М.И. Технология древесно-полимерных композитов для деталей машин. Гомель: Информтрибо, 1992.
4. Екименко Н.А., Колдаева С.Н., Прушак В.Я. Химстойкие трубы, бруски, направляющие и др., изготовленные из композиционных материалов // *Древесно-полимерные композиционные материалы и изделия*. Тез. докл. VIII Симпозиума. Гомель, 1991.
5. Проект фирмы «Амосо Chemical», 1994.
6. *Теплотехнический справочник* под ред. В.М. Юренева и П.Д. Лебедева. Том 2. — М.: Энергия, 1976. — С. 148–150.