

УДК 678.024

**О. И. Карпович, А. Л. Наркевич, А. Н. Калинка**  
Белорусский государственный технологический университет

### **ОЦЕНКА ФОРМУЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ**

В работе рассматривается процесс затекания расплава композиции материалов на основе металлосодержащих смешанных полимерных отходов в капилляр заданной геометрии под давлением. Разработана методика экспериментальной оценки глубины затекания композиций. На основании закона одномерной фильтрации нелинейно-вязких жидкостей со степенным законом течения и экспериментальных данных по глубине затекания композиций в капилляр рассчитаны эффективные коэффициенты проницаемости. При расчете учитывались основные параметры режима течения композиции. Установлены зависимости глубины затекания расплавов исследуемых композиций от температуры, давления, толщины капилляра.

Полученные данные позволяют рассчитывать режимы технологического процесса прессования предварительно пластицированной заготовки, способствующие формованию стенок изделий требуемой высоты и толщины. Результаты экспериментов показали, что композиции на основе металлосодержащих смешанных полимерных отходов обладают хорошей формуемостью. Изделия, изготовленные из таких отходов, могут иметь относительно высокие стенки и ребра жесткости.

**Ключевые слова:** металлосодержащие полимерные отходы, пласт-формование, технологические режимы, формуемость, глубина затекания.

**O. I. Karpovich, A. L. Narkevich, A. N. Kalinka**  
Belarusian state technological University

### **EVALUATION OF FORMABILITY OF MATERIALS BASED ON METAL-CONTAINING POLYMERIC WASTES**

The article deals with the process of melt flowing in the composition of materials based on metal-containing mixed polymer waste into a capillary of a given geometry under pressure. A technique has been developed to experimentally estimate the depth of flow of compositions. Based on the law of one-dimensional filtration of nonlinear viscous liquids with a power law of flow and experimental data on the depth of flow of compositions into the capillary, the effective permeability coefficients are calculated. The calculation took into account the main parameters of the flow regime of the composition. The dependences of the depth of flow of the melts of the studied compositions on the temperature, pressure, thickness of the capillary were established.

The data obtained allow us to calculate the modes of the technological process of pressing a pre-kneaded preform, which contributes to the formation of walls from products of the required height and thickness. The results of the experiments showed that compositions based on metal-containing mixed polymer waste have good formability. Products made from such waste may have relatively high walls and stiffeners.

**Key words:** metal-containing polymer waste, seam-shaping, technological regimes, formability, deep flowing.

**Введение.** В рамках выполнения задания государственной научно-технической программы Республики Беларусь «Природопользование и экологические риски» в ОАО «Белцветмет» ведется освоение производства транспортной тары (поддонов и контейнеров) из полимерсодержащих отходов, образующихся после разделки аккумуляторных батарей. В качестве технологического процесса формования изделий используется прессование предварительно пластицированной заготовки (пласт-формование). Данный процесс включает следующие стадии: подготовку и совмещение компонентов

в дозирующем устройстве; пластикацию композиции в червячном экструдере; накопление дозы и формирование заготовки в накопителе; перемещение заготовки в пресс-форму; деформирование заготовки на гидравлическом прессе (формообразование изделия); охлаждение в форме и извлечение изделия.

В результате разделки отработавших автомобильных аккумуляторных батарей образуются полимерсодержащие отходы двух типов [1]:

1) отходы после разделки корпусов аккумуляторных батарей (далее КАБ);

2) полимерсодержащие отходы после разделки внутренней части аккумуляторных батарей (далее ПОАБ).

Изучению состава и структуры полимерсодержащих отходов, физико-механических и технологических характеристик материалов на их основе уделено значительное внимание [1–3]. Установлено, что КАБ в композиции будут выступать как полимерное связующее, так как содержит более 97 мас. % термопластичных плавких полимеров (в основном полипропилен), а ПОАБ – в качестве наполнителя, так как 90 мас. % их компонентов неплавкие [1].

Разрабатываемые в рамках задания изделия – поддоны для медной катанки и контейнеры для перевозки отработавших аккумуляторных батарей – имеют достаточно сложную конфигурацию и ряд конструктивных элементов: стенки, ребра жесткости, бобышки, отверстия и т. д. Наличие данных элементов, а также высокая вязкость расплавов композиций существенно усложняют процесс формования. При назначении усилия деформирования заготовки необходимо знать, будет ли его достаточно для формования отдельных конструктивных элементов заданных размеров. Возможность получения подобных элементов не изучена.

Целью исследования является оценка режимов и возможности получения различных конструктивных элементов изделий из материалов на основе металлосодержащих смешанных полимерных отходов.

**Основная часть.** Рассмотрим процесс затекания расплава композиции в капилляр заданной формы и размеров под давлением  $p_0$  (рис. 1).

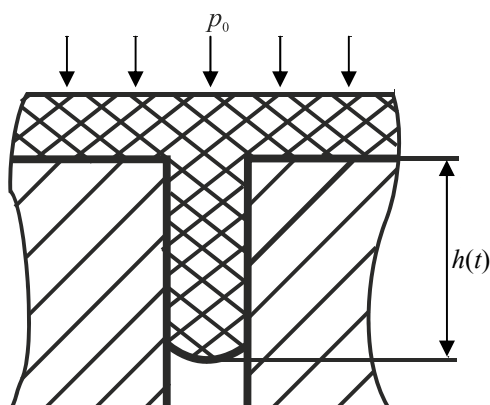


Рис. 1. Схема затекания расплава в капилляр

Закон одномерной фильтрации нелинейно-вязких жидкостей имеет следующий вид [4]:

$$q_x = \frac{K}{\mu^s} \left| \frac{dp}{dx} \right|^s, \quad (1)$$

где  $q_x$  – объемный расход жидкости через единицу площади нормального сечения в направлении течения;

$K$  – коэффициент проницаемости, зависящий от формы и размеров капилляра;

$\mu$  – коэффициент консистенции;

$s = 1/n$ ;

$n$  – параметр среды.

Интегрирование уравнения (1) с учетом  $dp/dx = p_0/x$  дает следующую формулу для глубины затекания нелинейно-вязкой жидкости как функцию времени  $t$ :

$$h(t) = \left[ (1+s)K(p_0/\mu(t))^s t \right]^{1/(s+1)}. \quad (2)$$

Расчет глубины затекания по формуле (2) затруднен, поскольку течение композиции происходит при неизотермическом режиме, а параметры  $\mu$  и  $n$  зависят от температуры. Течение композиции прекращается при достижении в центре канала температуры ниже температуры плавления композиции.

Все эти факторы можно учесть при определении эффективного коэффициента проницаемости, так как распределение температуры по сечению капилляра, и, следовательно, температурная зависимость коэффициента консистенции, являются функциями характерного размера капилляра, т. е. его толщины.

Формуемость оценивали по глубине затекания расплава исследуемой композиции в капилляре с заданной геометрией. Схема определения глубины затекания представлена на рис. 2.

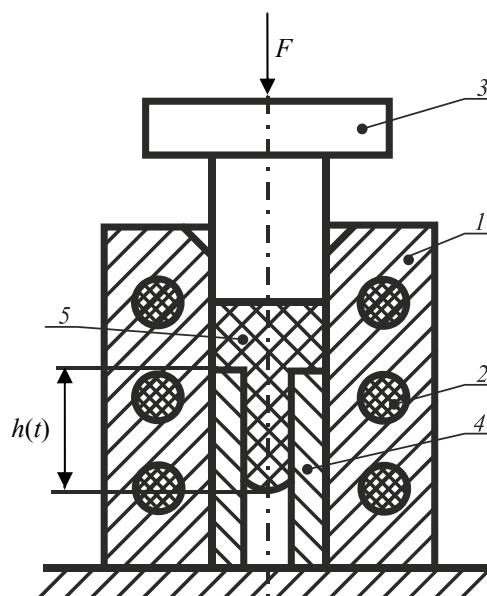


Рис. 2. Схема определения глубины затекания: 1 – обогреваемая пресс-форма; 2 – нагревательный элемент; 3 – пуансон; 4 – вкладыш; 5 – полимерная композиция

В обогреваемую пресс-форму устанавливали вкладыш с заданной формой капилляра. Температуру пресс-формы поддерживали с помощью нагревателей (20, 50, 80°C) с точностью  $\pm 5^\circ\text{C}$ . Так как сечение большинства конструктивных элементов в изделии можно представить в виде прямоугольника, форму капилляра принимали в виде прямоугольной щели шириной 30 мм. Варьировали толщину щели: 4, 6 и 8 мм соответственно. В пресс-форму помещали предварительно пластицированную в червячном экструдере ЧП 32×25 исследуемую композицию объемом  $100 \pm 5 \text{ см}^3$ . Варьировали температуру композиции: 200 и 230°C. Пресс-форму помещали под гидравлический пресс ИП-100 и создавали с помощью пуансона давление  $p_0$  на композицию. После окончания течения фиксировали при соответствующих параметрах глубину  $h(t)$  затекания композиции в капилляр. Проводили не менее пяти экспериментов для каждой толщины щели капилляра, температуры и давления. Находили средние арифметические значения, исключая аномальные значения по критерию Груббса при уровне значимости 0,05. По средним значениям экспериментальных данных строили графики зависимостей параметров.

На рис. 3 показана зависимость глубины затекания от давления для базовой композиции КАБ + 50% ПОАБ и композиции с содержанием КАБ + 70% ПОАБ [3].

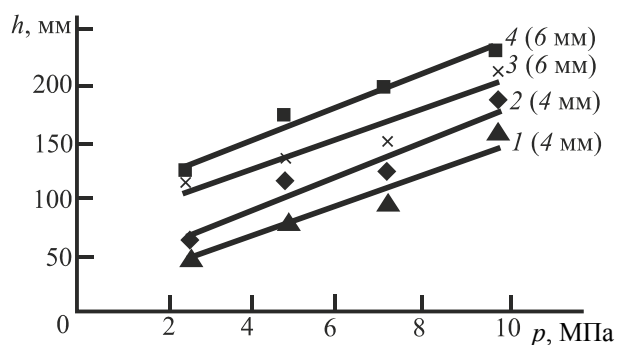


Рис. 3. Зависимость глубины затекания от давления для композиции КАБ + 50% ПОАБ (2, 4) и композиции с содержанием КАБ + 70% ПОАБ (1, 3) при исходной температуре заготовки 200°C и разной толщине капилляра – 4 и 6 мм

С увеличением давления глубина затекания увеличивается. Чем больше толщина капилляра, тем больше глубина затекания композиции.

На глубину затекания также влияет температура композиции (рис. 4). С увеличением температуры заготовки вязкость композиции снижается, следовательно, увеличивается глубина затекания.

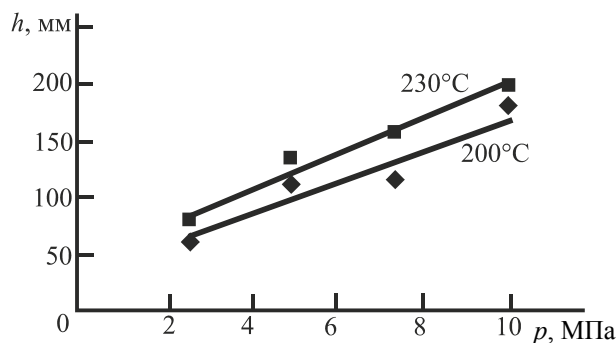


Рис. 4. Зависимость глубины затекания от давления для композиции КАБ + 50% ПОАБ при толщине капилляра 4 мм

Значения глубин затекания, полученные в результате эксперимента, подставляли в формулу (2). Для капилляров каждой толщины рассчитывали эффективный коэффициент проницаемости. Значения коэффициентов консистенции и параметров среды для расчета принимали согласно [3].

Время достижения расплавом в центре капилляра температуры ниже 165°C (температура плавления полипропилена) рассчитывали, используя значения коэффициентов температуропроводности материала, установленные на предыдущих этапах работы [3]. Полученные значения подставляли в формулу (2).

Рассчитанные значения эффективных коэффициентов проницаемости представлены в таблице.

#### Средние значения эффективного коэффициента проницаемости

Толщина капилляра, мм	Эффективный коэффициент проницаемости $K$ , $1/\text{м}^{\text{s}+1}$
4	$8,6 \cdot 10^{-11}$
6	$13,6 \cdot 10^{-11}$
8	$14,7 \cdot 10^{-11}$

**Заключение.** Исследован процесс затекания расплавов композиции материалов на основе металлсодержащих смешанных полимерных отходов в капилляр заданной геометрии, моделирующий формирование изделия методом прессования предварительно пластицированной заготовки. Изучено влияние глубины затекания от температуры и давления, которое характеризует формуемость материалов.

Используя данные таблицы и формулу (2), можно рассчитывать технологические режимы, необходимые для получения стенок изделий требуемой высоты и толщины: температуру заготовки, давление прессования и время выдержки изделия под давлением при формовании.

В целом результаты эксперимента показывают, что исследуемые материалы на основе отходов обладают достаточно хорошей формуемостью. Из материалов на основе металлосодержащих

смешанных полимерных отходов возможно получение различных конструктивных элементов изделий, таких как стенки, ребра жесткости, бобышки, отверстия и т. д.

### Литература

1. Состав и структура полимерсодержащих отходов ОАО «Белцветмет» / О. И. Карпович [и др.] // Труды БГТУ. 2015. № 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. С. 74–77.
2. Физико-механические свойства композиционных материалов на основе полимерсодержащих отходов ОАО «Белцветмет» / О. И. Карпович [и др.] // Труды БГТУ. 2015. № 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. С. 78–82.
3. Карпович О. И., Калинка А. Н., Наркевич А. Л. Технологические характеристики материалов на основе металлосодержащих полимерных отходов, получаемых методом пласт-формования // Труды БГТУ. 2016. № 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. С. 73–78.
4. Ставров В. П. Формообразование изделий из композиционных материалов. Минск: БГТУ, 2006. 482 с.

### References

1. Karpovich O. I., Revyako M. M., Khrol E. Z., Dubina A. V. Composition and structure of polymer waste from JSC “Beltsvetmet”. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 4: Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology, pp. 74–77 (In Russian).
2. Karpovich O. I., Narkevich A. L., Khrol E. Z., Petrushenya A. F., Pozhen'ko Ya. I. Physical and mechanical properties of composite materials based on polymer waste from JSC “Beltsvetmet”. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 4: Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology, pp. 78–82 (In Russian).
3. Karpovich O. I., Kalinka A. N., Narkevich A. L. Technological characteristics of materials based on metal-containing polymer waste obtained by formation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 4: Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology, pp. 73–78 (In Russian).
4. Stavrov V. P. *Formoobrazovaniye izdeliy iz kompozitsionnykh materialov* [Forming of products from composite materials]. Minsk, BGTU Publ., 2006. 482 p.

### Информация об авторах

**Карпович Олег Иосифович** – кандидат технических наук, доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедрой механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: karpovich@belstu.by

**Наркевич Анна Леонидовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: narkevich\_ann@belstu.by

**Калинка Анна Николаевна** – заведующий лабораторией кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: a.n.k@mail.ru

### Information about the authors

**Karpovich Oleg Iosifovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Acting Head of the Department of Mechanics and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: karpovich@belstu.by

**Narkevich Anna Leonidovna** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Mechanics and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: narkevich\_ann@belstu.by

**Kalinka Anna Nikolayevna** – Head of Laboratory of the Department of Mechanics and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: a.n.k@mail.ru

Поступила 11.04.2019