

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПА-6

Д.О. Завражин, Г.С. Баронин

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор Д.М. Мордасов

Ключевые слова и фразы: наномодифицированные полимер-углеродные материалы; интенсивная пластическая деформация; твердофазная экструзия.

Аннотация: Исследован процесс интенсивной пластической деформации наномодифицированных полимер-углеродных материалов на примере твердофазной плунжерной экструзии. Получены зависимости необходимого давления формования образцов наномодифицированных полимерных материалов на основе ПА-6 от температуры экструзии и содержания модификатора. Показано, что твердофазная плунжерная экструзия при оптимальной температуре переработки протекает при сниженном на 10–30 % давлении формования и с более качественной поверхностью экструдатов.

Технологические методы обработки полимеров давлением в твердом агрегатном состоянии известны сравнительно недавно. В настоящее время нет единой сложившейся терминологии. В работах разных авторов встречаются различные названия метода: «формование в твердом состоянии», «формование в твердой фазе», «пластическое деформирование (формоизменение)», «низкотемпературное формование», «интенсивная пластическая деформация». По-видимому, следует считать, что терминология нового технологического метода сейчас только складывается и не является окончательной.

В основе всех процессов переработки полимеров в твердом состоянии лежит пластическая (вынужденная эластическая) деформация, которая носит обратимый характер. Формование ведется в температурном интервале, заключенном между комнатной температурой и температурой стеклования T_c для аморфных полимеров или плавления $T_{пл}$ для кристаллизующихся. Частным случаем метода является формование без нагрева, то

Завражин Дмитрий Олегович – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Материалы и технология», старший научный сотрудник НОЦ ТамбГТУ – ИСМАН «Твердофазные технологии», e-mail: zavrazhin-do@yandex.ru; Баронин Геннадий Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Теория машин, механизмов и детали машин», директор НОЦ ТамбГТУ – ИСМАН «Твердофазные технологии», ТамбГТУ, г. Тамбов.

есть переработка при температуре окружающей среды. В литературе этот вид переработки термопластов носит название «холодное формование». Если комнатная температура лежит ниже температуры хрупкости полимера $T_{хр}$, то переработку ведут выше этой температуры, что обеспечивает проведение процесса в нехрупкой области [1, 2].

В качестве объекта исследования использовали полиамид ПА-6. В качестве модифицирующих веществ применяли углеродные нанотрубки (УНТ) «Таунит» (производства ООО «НаноТехЦентр», Россия, г. Тамбов) с наружным диаметром 8...15 нм и длиной 2 мкм и более в виде сыпучего порошка.

Образцы диаметром 5 мм и длиной 15 мм, полученные литьем под давлением, подвергали твердофазной плунжерной экструзии (ТФЭ) при температурах $T_{экс} = 298$ К и $T_{экс} = 363$ К на экспериментальной установке типа капиллярного вискозиметра с загрузочной камерой диаметром 5 мм (рис. 1) [1]. Мерой деформируемости при ТФЭ является экструзионное отношение $\lambda_{экс}$ (степень обжатия). В работе использовались три фильеры с экструзионными отношениями: $\lambda_{экс} = 2,52$; $\lambda_{экс} = 2,07$; $\lambda_{экс} = 1,52$.

Измерялось давление, необходимое для твердофазной экструзии исследуемых наномодифицированных полимеров в зависимости от состава. Необходимое давление формования $P_{ф}$ определяли делением усилия формования $F_{ф}$ на площадь поперечного сечения заготовки. Скорость перемещения плунжера при выдавливании составляла 50 мм/мин.

На рисунке 2 показана типичная диаграмма твердофазной экструзии ПА-6, снятая на универсальной испытательной машине УТС 101-5 при

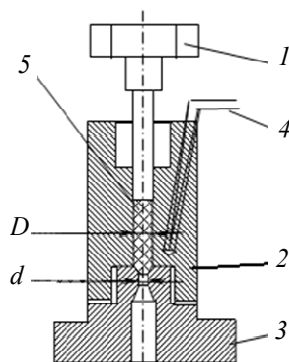


Рис. 1. Ячейка высокого давления:
1 – пуансон; 2 – матрица;
3 – основание; 4 – термopара;
5 – заготовка композиционного материала; D – диаметр загрузочной камеры; d – диаметр фильеры

P , МПа

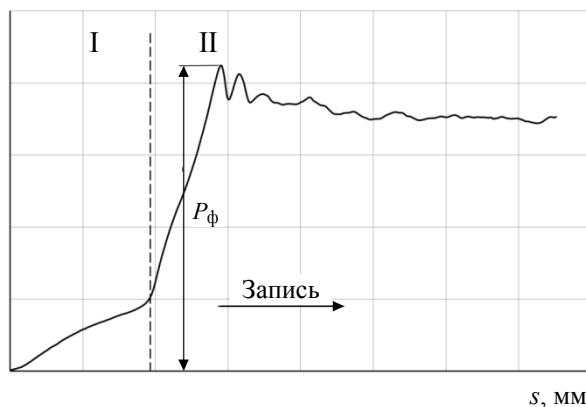


Рис. 2. Типичная диаграмма твердофазной экструзии ПА-6 (50 мм/мин $< v < 100$ мм/мин):

I – режим упругого или высокоэластического деформирования;
II – режим пластического деформирования

скоростях выдавливания $50 \text{ мм/мин} < v < 100 \text{ мм/мин}$ (s – перемещение плунжера пресса). По экспериментальным зависимостям четко обозначаются основные стадии процесса экструзии: I – упругое или высокоэластическое деформирование, соответствующее повышению напряжения во времени; II – пластическое деформирование (течение материала).

На представленных диаграммах (рис. 3, 4) хорошо прослеживается влияние вносимых добавок на изменение необходимого давления формования модифицированных материалов на основе ПА-6. Как отмечалось выше, ТФЭ при оптимальных температурах переработки позволяет снизить необходимое давление формования, что свидетельствует о значительном изменении структуры материала при нагреве.

Необходимо отметить, что при переработке полимерных материалов в режиме ТФЭ следует учитывать структурные особенности полимерной матрицы: переработка полимеров с жесткой структурой (ПА-6) при температуре окружающей среды может привести к разрушению полимерной

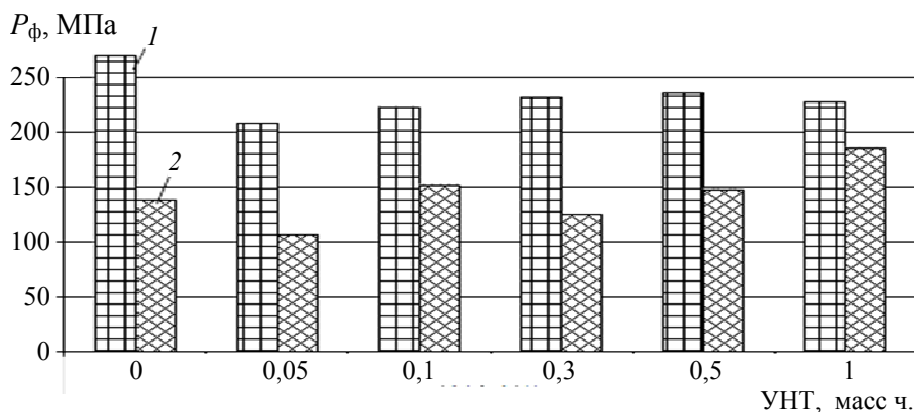


Рис. 3. Диаграмма изменения необходимого давления формования P_f образцов системы ПА-6 + УНТ, экструдированных при $\lambda_{экс} = 1,52$ и температурах 298 К (1) и 363 К (2), в зависимости от содержания УНТ

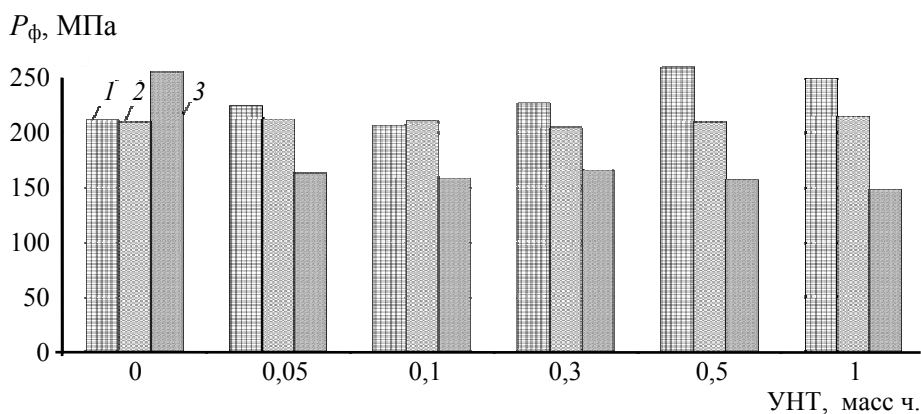


Рис. 4. Диаграмма изменения необходимого давления формования P_f образцов системы ПА-6 + УНТ, экструдированных при $T_{экс} = 363 \text{ К}$ и $\lambda_{экс} = 2,52$ (1), $\lambda_{экс} = 2,07$ (2), $\lambda_{экс} = 1,52$ (3), в зависимости от содержания УНТ

матрицы. Для перевода ПА-6 в высокоэластическое состояние при ТФЭ необходимо дополнительно повышать температуру, в противном случае отмечается разрушение поверхности образцов в виде трещин, разломов.

При оценке качества поверхности экструдатов необходимо отметить, что метод ТФЭ при больших экструзионных отношениях позволяет получить экструдаты с более гладкой глянцевой поверхностью. Использование значительных степеней обжатия ведет к развитию механизма пластической деформации матрицы полимера во всем объеме образца.

Одним из качественных технологических параметров, которые необходимо учитывать при проведении ТФЭ является коэффициент разбухания экструдата α , равный отношению диаметра экструдата к диаметру фильеры. Одной из основных задач при производстве изделий из полимерных материалов является достижение высокой размерной точности изделий. Проведенные исследования показали, что изменения коэффициента разбухания экструдата от внесения модификатора и от температуры экструзии минимально и составляет менее 0,5 %.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (государственное соглашение 14.В37.21.0947).

Список литературы

1. Переработка полимеров в твердой фазе. Физико-химические основы : монография / Г.С. Баронин [и др.]. – М. : Машиностроение-1, 2002. – 320 с.
2. Твердофазная обработка давлением полимерных композитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена / К.В. Шапкин [и др.] // Перспектив. материалы. – 2011. – № 11. – С. 455–461.

Research into Intensive Plastic Deformation of Polyamide-6-Based Materials

D.O. Zavrazhin, G.S. Baronin

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: intensive plastic deformation; nanomodified polymer-carbon materials; solid-phase extrusion.

Abstract: The process of intensive plastic deformation of nanomodified polymer-carbon materials on the example of solid-phase plunger extrusion is investigated. The dependencies of the required pressure for molding samples of nanomodified polymer PA-6-based materials from the extrusion temperature and the composition of the modifier have been produced. It is shown that solid-phase plunger extrusion occurs at the optimum temperature of processing and at 10–30 % reduced pressure of molding producing better surface extrudates.

© Д.О. Завражин, Г.С. Баронин, 2012