

УДК 678.743:539.2

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-2-285-28-32

Н. А. Адаменко, Г. В. Агафонова, А. С. Чистяков

ВЗРЫВНОЕ ПРЕССОВАНИЕ ПОЛИСУЛЬФОНА

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: mv@vstu.ru

В работе представлены результаты исследования влияния исходной пористости, интенсивности взрывного прессования на плотность, пористость и теплодеформационные характеристики полисульфона.

Ключевые слова: взрывное прессование, полисульфон, плотность, теплостойкость.

© Адаменко Н. А., Агафонова Г. В., Чистяков А. С., 2024.

N. A. Adamenko, G. V. Agafonova, A. S. Chistyakov

EXPLOSIVE PRESSING OF POLYSULFONE

Volgograd State Technical University

In work research results of a study of the effect of the initial porosity, the intensity of explosive pressing on the density, porosity and thermal deformation characteristics of polysulfone.

Keywords: explosive pressing, polysulfone, density, heat resistance.

Введение

Полисульфон (ПСФ) – один из наиболее термостойких конструкционных ароматических термопластов. ПСФ не токсичен и может использоваться в медицине, а также для изделий, пребывающих в контакте с пищевыми продуктами, даже в условиях высокой температуры. Температура стеклования аморфных областей полимера от 190 до 195 °С, а температура его деструкции 420 °С. Это позволяет использовать детали из ПСФ там, где требуются высокие эксплуатационные характеристики. Полимер сохраняет работоспособность при длительной эксплуатации в диапазоне температур от –60 до 150 °С, при кратковременной эксплуатации – до 175 °С, при этом механические и электрические свойства не изменяются [1, 2].

Вследствие повышенной жесткости цепей макромолекул, сильного межмолекулярного взаимодействия переработка ПСФ традиционными для термопластов методами литья под давлением и экструзии затруднена. Значительные температуры перехода в вязкотекучее состояние и высокая вязкость расплавов требуют высоких температур (290–360 °С) и давлений при формовании. Повышение температуры переработки ПСФ для снижения вязкости расплава невозможно из-за развивающихся процессов деструкции.

Исследования в области взрывной обработки свидетельствуют о большой практической значимости этого высокоэнергетического способа модификации и переработки трудноперерабатываемых термостойких полимеров. В результате такой обработки в них происходят глубокие структурные и фазовые превращения, которые существенно влияют на свойства получаемых материалов [3].

Установлено, что применение ударных волн позволяет осуществлять особый вид кратковременных механических воздействий, способствующих созданию необходимых условий для протекания химических превращений в полимерных материалах. Свойства получаемых полимерных прессовок во многом определяются технологическими параметрами ВП (тип и тол-

щина заряда взрывчатого вещества, давление, приложенное к обрабатываемому порошку, его исходная пористость). При выборе интенсивности ударного воздействия необходимо учитывать физико-механические особенности обрабатываемого материала. Воздействие высокого давления и скорости нагружения может привести к расслоению прессовки и появлению макротрещин, а недостаточная его величина приведет к излишней пористости материала [3–5]. Ранее выполненные исследования по ВП жесткоцепных термопластов [3, 6] свидетельствуют о целесообразности применения взрывной обработки невысокой интенсивности, предотвращающей возможность деструкции полимера.

В работе проведены сравнительные исследования свойств полисульфона после взрывного прессования (ВП) давлением 0,7–3,0 ГПа.

Материалы и методы исследования

Полисульфон (ТУ 6-05-1969-84), использованный в исследовании, представляет собой порошок светло-янтарного цвета с насыпным весом 0,65–0,7 Мг/м³ [7]. Взрывное прессование порошка ПСФ осуществлялось по схеме скользящего ударного сжатия. Интенсивность ударного воздействия варьировали типом взрывчатого вещества, что позволило изменять давление ВП от 0,7 до 3,0 ГПа. Размеры спрессованных образцов для исследований составляли 60х100 мм, толщина 3–5 мм.

Измерение плотности материала осуществлялось гидростатическим взвешиванием на аналитических весах Shinko HTR-220CE согласно ГОСТ 15139–69. Значения пористости КМ определяли соотношением измеренной плотности к теоретической.

Метод термомеханического анализа (ТМА) был использован для оценки термических свойств исследуемых образцов. Используя установку ТМА Netzsch 402 F3 Hyperion, по стандартной методике было произведено исследование деформации по измерению глубины проникновения индентора диаметром 1,0 мм в образец размером 5х5 мм и высотой 2 мм при нагрузке 1 Н и скорости нагрева 5 °С/мин до температуры 260 °С. Термомеханические кри-

вые были построены и проанализированы с помощью программного обеспечения Proteus 61, встроенного в установку ТМА. Приведенные термомеханические кривые были получены путем аппроксимации экспериментальных данных для трех одинаковых образцов.

Результаты исследований

Одним из важнейших показателей, характеризующих процесс прессования взрывом и качество получаемых заготовок, является их плотность. Ранее установлено, что исходная пористость полимерных порошков оказывает существенное влияние на процесс уплотнения взрывной волной [3–5]. Чем больше свободное пространство и скорость соударения и трения частиц друг о друга, тем большие изменения претерпевают их поверхности и тем большая вероятность их активации в ударной волне. Однако при этом в результате соударений и пластической деформации частиц высока вероятность чрезмерного локального разогрева порошка, что приведет к протеканию деструктивных процессов, а следовательно, к снижению прочностных свойств прессовки.

Чтобы оценить влияние исходной пористости полимера на его уплотнение при ВП, порошок статически подпрессовывался давлением от 20 до 200 МПа. Увеличение давления подпрессовки привело к монотонному повышению плотности брикетов (рис. 1). Начиная с давления подпрессовки 100 МПа материал приобретает достаточно высокую плотность ($1,2 \text{ Мг/м}^3$) и максимального значения достигает при $P = 200 \text{ МПа}$.

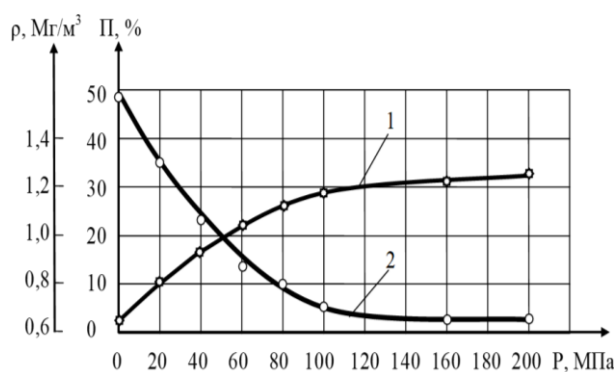


Рис. 1. Зависимость плотности (1) и пористости (2) брикетов от давления подпрессовки

Исследование прессовок после ВП показало, что максимальной плотностью $1,21\text{--}1,22 \text{ Мг/м}^3$ обладают образцы, предварительно подпрессованные давлением не менее 40 МПа (рис. 2) до

плотности $0,95\text{--}1,1 \text{ Мг/м}^3$, с исходной пористостью 18–28 %. После взрывного прессования пористость таких образцов составляет 2 %.

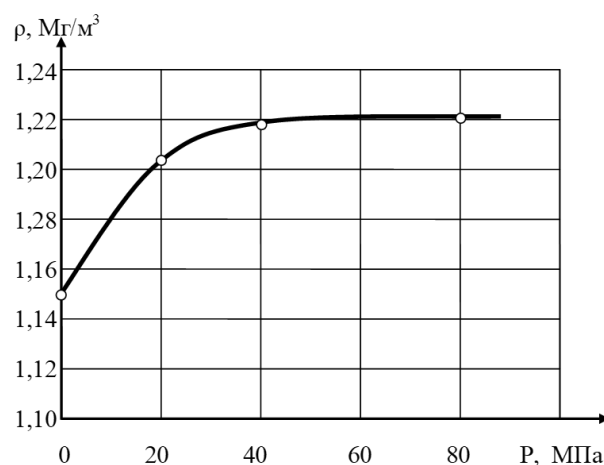


Рис. 2. Зависимость плотности полисульфона после взрывного прессования от давления подпрессовки

Измерения плотности спрессованного взрывом материала в зависимости от давления ВП свидетельствуют о ее некотором снижении на $0,03\text{--}0,04 \text{ Мг/м}^3$ с увеличением давления ВП до $1,5\text{--}3,0 \text{ ГПа}$. Снижение плотности может быть связано с визуально наблюдаемым незначительным расслоением материала, а также возможной деструкцией полимера. Наиболее плотные прессовки были получены давлением $0,7\text{--}0,8 \text{ ГПа}$ с исходной плотностью после подпрессовки $0,95\text{--}0,97 \text{ Мг/м}^3$. При этом режиме плотность прессовок достигает $1,22\text{--}1,24 \text{ Мг/м}^3$.

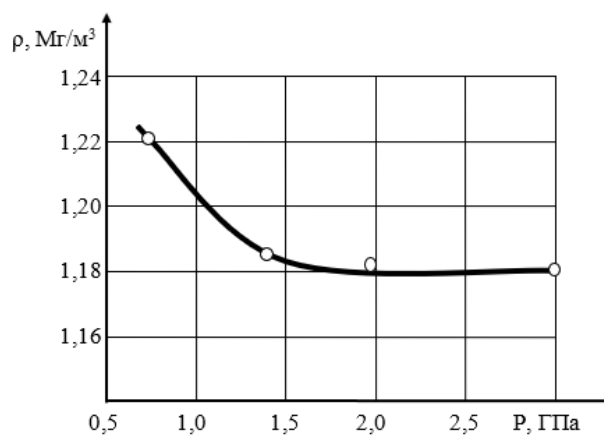


Рис. 3. Зависимость плотности полисульфона от давления ВП

Результаты термомеханического анализа ПСФ после ВП различным давлением представлены на рис. 4 и в табл. Как видно из термомеханических кривых (ТМК) до температу-

ры 150 °С полимер не деформируется, что свидетельствует о сохранении высокой термодинамической стабильности после всех примененных режимов ВП. Дальнейший нагрев сопровождается незначительным расширением всех исследованных образцов и регистрируется наличием положительных деформаций с максимумом 0,52–0,75 % при приближении к температуре стеклования полимера (190 °С). В области температуры стеклования 190 °С наблюдается резкое увеличение деформации образцов (рис. 4, кривые 1–4). Деформация прессовок выше температуры стеклования обусловлена объемными изменениями при увеличении термодинамической подвижности цепочек макромолекул при его размягчении и релаксацией внутренних напряжений. Выше 190 °С регистрируются положительные деформации с максимумом 35–36 % в области температур 204–205 °С у полимера после ВП наибольшими давлениями 1,9 и 3,0 ГПа (рис. 4, кривая 4, 5), что в 3,0–3,5 раз больше, чем после ВП давлением 0,8

и 1,2 ГПа (рис. 4, кривые 2, 3). Такие интенсивные деформации после ВП наибольшими давлениями вызваны релаксацией внутренних напряжений после интенсивного ударного уплотнения. Причем уровень внутренних напряжений настолько высок, что нивелирует деформации, вызванные наличием определенной пористости у предельно сжатого полимера (рис. 3).

Окончание тепловой деформации полимера ($t_{\text{кон}}$) связано с внедрением индентора, а на термомеханической кривой определяется плато. Наименьшая $t_{\text{кон}}$ наблюдается у образцов после ВП минимальным давлением 0,8 ГПа. Однако теплостойкость полимера определяется температурой начала размягчения полимера и для всех исследованных образцов она различается незначительно на 0,05–2,0 %, при этом минимальные тепловые деформации расширения в области температур, близких к началу размягчения испытывают образцы после ВП давлением 0,8–1,2 ГПа, что позволяет их выбрать как оптимальные для получения образцов из порошка ПСФ.

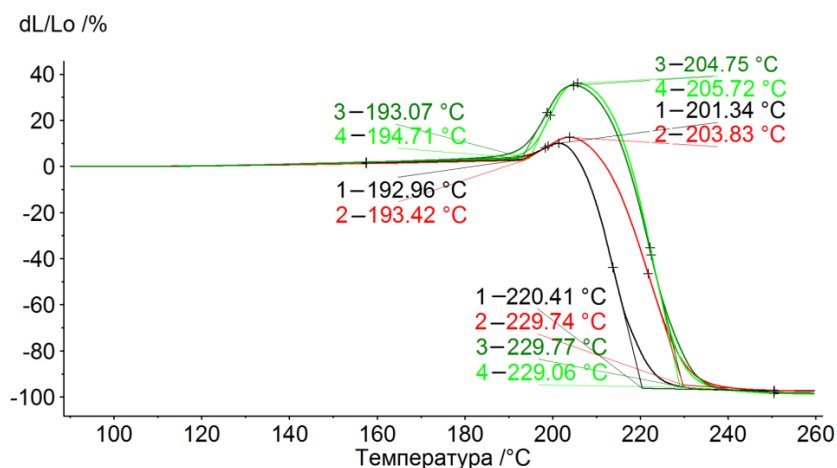


Рис. 4. Термомеханическая кривая полисульфона:
1 – 0,8 ГПа; 2 – 1,2 ГПа; 3 – 1,9 ГПа; 4 – 3 ГПа

Результаты ТМА

№	P, ГПа	$t_{\text{нач.}}, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon_{\text{нач.}}, \%$	$t_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon_{\text{max}}, \%$	$t_{\text{кон.}}, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon_{\text{кон.}}, \%$
1	0,8	190	0,52	201	10,06	220	-94,77
2	1,2	191	0,66	203	12,68	229	-90,16
3	1,9	192	0,62	204	35,16	229	-91,16
4	3	194	0,75	205	36	228	-91,64

Заключение

Проведенными исследованиями показана возможность получения плоских прессовок ПСФ взрывным прессованием скользящей ударной волной давлением 0,7–1,2 ГПа.

Установлено влияние давления предварительного прессования на пористость и плотность брикетов до и после взрывного прессования с получением наиболее плотных прессовок (1,22 Мг/м³) давлением 0,7–0,8 ГПа с ис-

ходной плотностью после подпрессовки 0,95–0,97 Мг/м³.

Установлено, что после ВП ПСФ сохраняет высокие термомодеформационные свойства. Теплостойкость исследованных образцов не зависит от давления ВП составляет 190–194 °С, а величина тепловых деформаций в области температур, близких к началу размягчения в 3,0–3,5 раза меньше после ВП давлением 0,7–1,2 ГПа, что позволяет рекомендовать данный интервал давлений как оптимальный при получении компактов из ПСФ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цыриторов, Ц. Б. Особенности получения высокопрочных полимеров / Ц. Б. Цыриторов, Т. П. Кравченко, К. С. Пиминова [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – Т. 31, № 11(192). – С. 137–139.
2. Штейнберг, Е. М. Применение и производство по-

лисульфона. Обзор / Е. М. Штейнберг, Е. А. Сергеева, Л. А. Зенитова, И. Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – № 20. – С. 168–171.

3. Адаменко, Н. А. Взрывная обработка термостойких полимеров / Н. А. Адаменко, Г. В. Агафонова, А. В. Казуров ; ВолГТУ. – Волгоград, 2020. – 240 с.

4. Formation of the structure and properties of polyvinylidene fluoride and composites based on it, prepared by explosive pressing / N. A. Adamenko, G. V. Agafonova, L. N. Ignatieva [et al.] // Journal of Fluorine Chemistry. – 2021. – Vol. 249. – P. 109852.

5. Adamenko, N. A. The effect of explosive treatment on the structure and thermomechanical properties of filled polytetrafluoroethylene / N. A. Adamenko, G. V. Agafonova // International Polymer Science and Technology. – 2018. – Vol. 45, No. 2. – P. 39–42.

6. Структурные изменения полиоксibenзоила при взрывной обработке / Н. А. Адаменко, Г. В. Агафонова, В. Н. Арисова, П. А. Литвинов // Физика и химия обработанных материалов. – 2007. – № 4. – С. 52–56.

7. Регулирование свойств полисульфонов за счет модификации / Г. Н. Петрова, Э. Я. Бейдер, В. П. Чеботарев [и др.] // Пластические массы. – 2010. – № 12. – С. 23–27.