

УДК: 544.77. 661.18

## Ј-170Т ИЗОТАКТИК ПОЛИПРОПИЛЕНИ ВА ЈМ-370 ПРОПИЛЕНИНИНГ ЭТИЛЕН БИЛАН БЛОКЛАНГАН СОПОЛИМЕРИ ЭЛАСТИК-МУСТАҲКАМЛИГИНИНГ ҲАРОРАТ ВА ЭКСТРУЗИЯ СОНИГА БОҒЛИҚЛИГИ

**Бердиназаров Қодирбек Нуридин ўғли,**  
стажер-тадқиқотчи, кичик илмий ходим;

**Нормуродов Нурбек Файзулло ўғли,**  
кичик илмий ходим;

**Ҳақбердиев Элшод Олмосович,**  
таянч докторант, кичик илмий ходим;

**Содиқов Шухрат Гофурович,**  
кимё фанлари номзоди, етакчи илмий ходим;

**Ашуров Ниғмат Рустамович**  
техника фанлари доктори, профессор, лаборатория мудир  
ЎзР ФА Полимерлар кимёси ва физикаси институти

**Рискулов Алимжан Ахмаджанович,**  
техника фанлари доктори, профессор, институт ректори

Тошкент автомобиль йўлларини лойиҳалаш,  
қуриш ва эксплуатацияси институти

**Аннотация.** Полипропилен (ПП) физик-механик ва термик хусусиятлари яхшилиги туфайли машинасозлик ва электротехника саноатида кенг қўлланилади. Ҳарорат таъсирида ПП макромолекуларининг парчаланishi туфайли унинг эластик – мустаҳкамлик хусусиятлари йўқолиши кузатилади. Экструзия ҳарорати (170-200 °С) ва экструзия сонининг (7-мартагача) таъсири изотактик ПП учун бир қатор механик хусусиятларнинг кучайишига олиб келиши ва ПП нинг этилен билан блокланган сополимерига деярли таъсир қилмаслиги кўрсатилди. Олинган натижалар полипропиленни қайта ишлаш шартларини танлаш учун қизиқиш уйғотади.

**Таянч тушунчалар:** полипропилен,  $\sigma$ - $\epsilon$  эгрилиги, механик хусусиятлар, экструзия ҳарорати ва экструзия сони, микробўшлиқлар.

## ЗАВИСИМОСТЬ УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОТАКТИЧЕСКОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА Ј-170Т И БЛОК-СОПОЛИМЕРА ПРОПИЛЕНА С ЭТИЛЕНОМ ЈМ-370 ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И ЧИСЛА ЭКСТРУЗИИ

**Бердиназаров Кодирбек Нуридин угли,**  
стажер-исследователь, младший научный сотрудник;

**Нормуродов Нурбек Файзулло угли,**  
младший научный сотрудник;

**Хакбердиев Элшод Олмосович,**  
докторант (PhD), младший научный сотрудник;

**Содиқов Шухрат Гафурович,**  
кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник;

**Ашуров Нигмат Рустамович,**  
доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией  
Институт химии и физики полимеров АН РУз

**Рискулов Алимжан Ахмаджанович,**  
доктор технических наук, профессор, ректор института  
Ташкентский институт по проектированию,  
строительству и эксплуатации автомобильных дорог

**Аннотация.** Полипропилены благодаря физико-механическим и температурным характеристикам находят широкое применение в машиностроении и электротехнической промышленности. В процессе термического воздействия из-за деградации макромолекул полипропиленов наблюдается потеря упруго-прочностных характеристик. Показано, что воздействие температур экструзии (170-200 °C) и числа экструзии (до 7 циклов) приводит к усилению ряда механических свойств изотактического полипропилена (J-170T) и практически не влияет на блок-сополимер пропилен с этиленом. Полученные данные представляют интерес для выбора условий рециклинга полипропиленов.

**Ключевые слова:** полипропилен, кривые  $\sigma$ - $\epsilon$ , механические свойства, температура и число экструзии, микропустоты.

## STRESS-STRAIN CHARACTERISTICS OF ISOTACTIC POLYPROPYLENE J-170T AND BLOCK - COPOLYMER PROPYLENE WITH JM-370 ETHYLENE, DEPENDING ON TEMPERATURE AND EXTRUSION NUMBER

**Berdinazarov Qodirbek Nuridin ugli**  
Research Assistant, Junior Researcher;

**Normurodov Nurbek Fayzullo ugli**  
Junior Researcher;

**Khakberdiev Elshod Olmosovich**  
PhD student, Junior Researcher;

**Sadykov Shuxrat Gafurovich**  
Doctor of Philosophy (Chemistry);

**Ashurov Nigmat Rustamovich**  
Doctor of Science (Technical), Professor

Uzbekistan Academy of Sciences, Institute of Polymer Chemistry and Physics

**Riskulov Alimzhan Akhmadzhanovich**  
Doctor of Science (Technical), Professor

Tashkent Institute for the Design, Construction and maintenance of automobile Roads

**Abstract.** Polypropylene (PP), thanks to the physicist-mechanical and temperature characteristics, are widely used in mechanical engineering and the electrical industry.

In the process of thermal exposure due to degradation of PP macromolecules, a loss of elastic strength characteristics is observed. It was shown that the influence of extrusion temperatures (170-200 °C) and extrusion numbers (up to 7 cycles) lead to a strengthening of a number of mechanical properties for isotactic PP (J-170T) and practically do not affect the block copolymer of propylene with ethylene. The data obtained are of interest for the selection of polypropylene recycling conditions.

**Keywords:** polypropylene,  $\sigma$  -  $\epsilon$  curves, mechanical properties, temperature and extrusion numbers, microvoids.

## Введение

Полипропилены из класса полиолефинов занимают в мире лидирующие позиции как по объему производства, так и по сферам применения [1-5]. В то же время с течением времени ввиду потери эксплуатационных характеристик они значительно пополняют объем отходов, засоряющих окружающую нас среду [6-8]. В научной литературе решению проблем утилизации полимерных материалов [9-12], в том числе полиолефинов [13-17], посвящено множество исследований.

Классификация переработки полимерных материалов (ПМ) включает: рекструзию (первичная); механическую переработку (вторичная); химическую переработку (третичная); получение энергии (четвертичная). Естественно, с экологической точки зрения наибольший интерес представляет механический метод рециклинга ПМ с использованием современных подходов химической модификации, включая и нанотехнологии [4, 15, 18]. Данный подход на начальном этапе требует комплексного изучения механизма термоокислительной деградации (включая и воздействие УФ-излучения), имитирующей естественные условия, и оценки уровня потерь эксплуатационных характеристик [16, 19-22].

При этом из-за различия технологических процессов производства и структурных особенностей полимерных материалов каждый представитель данного класса полимеров требует проведения самостоятельных исследований по оценке уровня деградации и потери эксплуатационных характеристик.

Нами проведены исследования по изучению изменений упруго-прочностных характеристик двух типов полипропиленов (ПП) – изотактического и блоксополимера пропилена с этиленом производства СП ООО Uz-Kor Gas Chemical (Узбекистан) при варьировании температуры и числа экструзии.

## Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны:

- ПП J-170T:  $\rho=0,85-0,95$  г/см<sup>3</sup>, ПТР=23-33 г/10 мин. (2,16 кг). Производитель – СП ООО «Uz-Kor Gas Chemical» (Узбекистан);

- ПП JM-370,  $\rho=0,85-0,95$  г/см<sup>3</sup>, ПТР=30-40 г/10 мин. (2,16 кг). Производитель – СП ООО «Uz-Kor Gas Chemical» (Узбекистан);

- полипропилен с привитым малеиновым ангидридом (ППМА): получен в расплаве,  $W_{МА}=5$  масс. %.

- монтмориллонит «Cloisite 20A»: модифицирован смесью ПАВ (C<sub>14</sub>H<sub>29</sub>)<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>N<sup>+</sup> (5 масс. %), (C<sub>16</sub>H<sub>33</sub>)<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>N<sup>+</sup> (30 масс. %), (C<sub>18</sub>H<sub>37</sub>)<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>N<sup>+</sup> (65 масс. %), порошок кремово-белого цвета,  $d_{001}=3,15$  нм ( $2\theta=3,8^\circ$ ), 95 мг-экв/100 г. Производитель – Southern Clay Products Inc. (США);

- монтмориллонит «Cloisite 15A»: модифицирован смесью ПАВ (C<sub>14</sub>H<sub>29</sub>)<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>N<sup>+</sup> (5 масс. %), (C<sub>16</sub>H<sub>33</sub>)<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>N<sup>+</sup> (30 масс. %), (C<sub>18</sub>H<sub>37</sub>)<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>N<sup>+</sup> (65 масс. %), порошок кремово-белого цвета,  $d_{001}=3,63$  нм, 95 мг-экв/100 г. Производитель – Southern Clay Products Inc. (США).

Вспомогательные материалы:

- малеиновый ангидрид C<sub>4</sub>H<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: ч.д.а., бесцветные ромбические кристаллы,  $M_r=98,06$  г/моль, перегонялся при  $T_{кип}=84,0$  °С/14 мм рт. ст.,  $T_{пл}=60$  °С,  $\rho^6=1,3140$  г/см<sup>3</sup>;

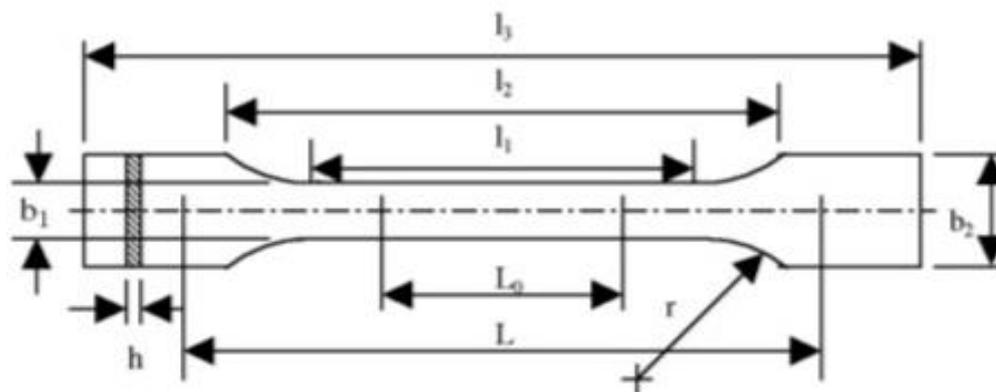
- м-Ксилол C<sub>8</sub>H<sub>10</sub> (1,3-диметилбензол): ч., бесцветная жидкость,  $M_r=106,17$  г/моль, абсолютизировался и перегонялся над металлическим натрием,  $T_{кип}=139,1$  °С,  $n_{D}^{20}=1,4972$ ,  $\rho_4^{20}=0,8642$  г/см<sup>3</sup>.

Вариацию температуры (Т) и числа экструзии проводили в одношнековом экструдере *Brabender* (Германия). Экструзию проводили при 60 об/мин. в температурном режиме по зонам: 220-240-250-240 °С. Общая масса используемых компонентов в композиции состав-

ляла 300 г. Полученные смеси после экструдирования гранулировали.

Оценку механических свойств (модуль упругости, предел текучести, относительное удлинение при разрушении) проводили на разрывной машине

INSTRON 3366 (США) при скорости 20 мм/мин. Для испытаний изготавливали не менее 3÷5 образцов, которые представляли собой плоскую лопатку, изображенную на рисунке 1.



Тип 1ВА (мм)

$l_3$	$\geq 75$
$l_2$	$58 \pm 2$
$l_1$	$30 \pm 0.5$
$b_2$	$10 \pm 0.5$
$b_1$	$5 \pm 0.5$
$h$	$\geq 2$
$L_0$	$25 \pm 0.5$
$L$	$l_2 + 2$
$r$	$\geq 30$

**Рис. 1. Основные параметры лопатки для механических испытаний на разрыв**

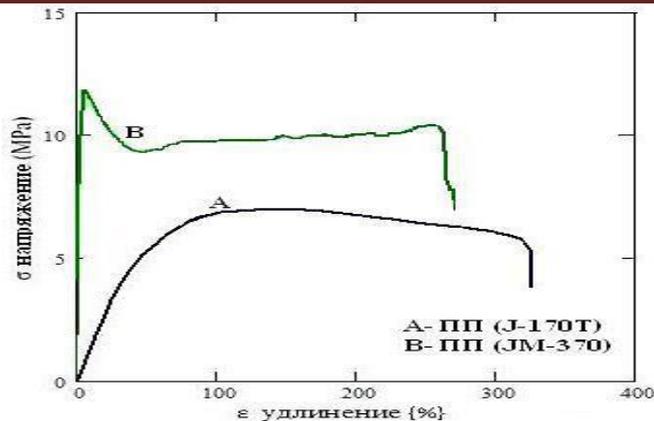
### Результаты и их обсуждение

Деградация полипропилена при воздействии температуры и кислорода достаточно хорошо изучена [14, 16]. При длительном воздействии этих факторов на начальном этапе можно наблюдать два процесса: собственно разрыв макроцепей на фрагменты различной длины и их сшивание.

Как правило, разрыв макроцепей приводит к облегчению процесса кристаллизации (т. е. к увеличению степени кристалличности), сопровождается усилением модуля упругости и напряжения при пределе текучести, тогда как процесс сшивания катастрофически уменьшает относительное удлинение при разрушении. Рассмотрим общий характер

кривых  $\sigma$ - $\varepsilon$  для исследованных образцов (рис. 2).

Кривые  $\sigma$ - $\varepsilon$  типа А характерны для изотактического полипропилена (в нашем случае ПП J-170Т). Деформационным кривым присущи следующие стадии [16]: I – стадия упругой деформации (определяющая модуль упругости материала), стадия II и III совмещены (т. е. отсутствует процесс коалесценции микропустот, отмеченный как предел текучести с падением напряжения). Третья стадия может развиваться в двух направлениях деформации: при постоянном напряжении с характерным ориентационным процессом либо со спадом напряжения с образованием «шейки», далее – стадии фибриллизации и разрушения.



**Рис. 2.** Характерные кривые  $\sigma$ - $\epsilon$  для ПП J-170T и JM-370

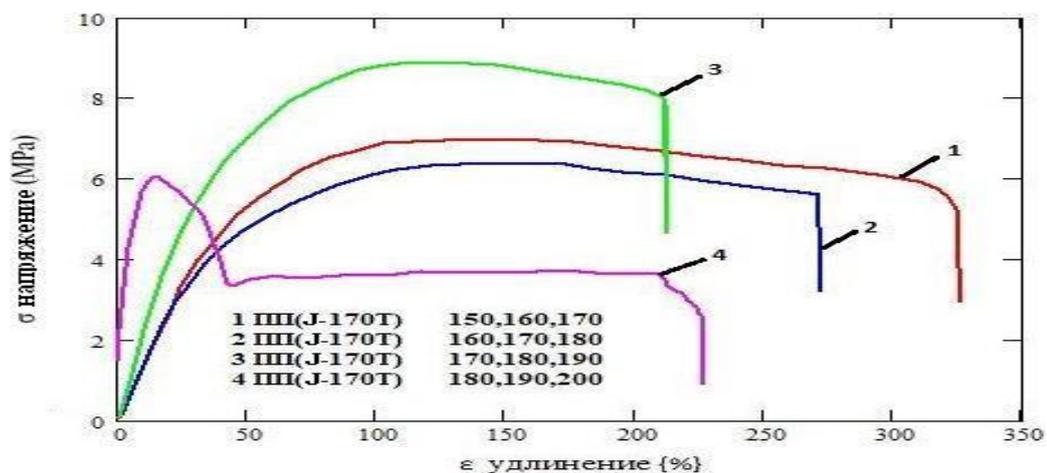
Изотактическим полипропиленом присущи высокие величины модуля упругости (800-900 МПа) и малые значения относительного удлинения при разрушении (десятки процентов).

Совершенно иная ситуация (рис. 2, тип В) наблюдается в процессе деформирования блок-сополимера пропилена с этиленом (8-10 масс. %). Таким системам (ПП JM-370) свойствен выход на предел текучести (как для полиэтилена) с последующим резким снижением напряжения (по-видимому, из-за высокой скорости процесса коалесценции микропустот) и в

дальнейшем развитии больших деформаций без изменения напряжения, завершающемся разрушением образца.

В отличие от изотактического полипропилена, блок-сополимер пропилена с этиленом проявляет сравнительно низкие величины модуля упругости (500-600 МПа) и, напротив, значительно высокие значения относительного удлинения при разрушении (500-600 %).

Проанализируем результаты экспериментов во взаимосвязи с изложенными соображениями относительно процесса деградации ПП и характерных особенностей кривых  $\sigma$ - $\epsilon$ .



**Рис. 3.** Кривые  $\sigma$ - $\epsilon$  для ПП J-170T при вариации температуры

Как видно из рис. 3, увеличение температуры экструзии ПП J-170T в интервале 170-200 °C приводит к существенным изменениям формы кривых  $\sigma$ - $\epsilon$  и соответствующих упруго-прочностных

характеристик (табл. 1). Вариация температуры (T) экструзии в пределах 170-190 °C не изменяет форму кривых  $\sigma$ - $\epsilon$ . Вариация T экструзии в этих пределах приводит к незначительному повыше-

нию величины напряжения предела текучести ( $\sigma_T$ ), снижению модуля упругости ( $E$ ) при сохранении относительного удлинения при разрушении ( $\varepsilon_p$ ).

Совершенно иная ситуация наблюдается при температуре экструзии 200 °С. Форма кривой  $\sigma$ - $\varepsilon$  претерпевает существенные изменения (тип А трансформируется в тип В), наблюдается от-

четливый пик, связанный с выходом на стадию текучести с резким спадом напряжения (такой факт связан с формированием множества микропустот значительных размеров), и в дальнейшем наблюдается стадия ориентационных процессов, не зависящая от напряжения на достаточно широком интервале величин деформации (сотни процентов).

**Таблица 1**

**Зависимость механических свойств ПП J-170Т от температурных зон экструдирования**

Наименование образца	Модуль Юнга [МПа]	Относительное удлинение при разрыве [%]	Напряжение при растяжении при пределе текучести \ [МПа]
ПП J-170Т 150, 160, 170	916,32±6,89	23,35±1,39	32,75±0,88
ПП J-170Т 160, 170, 180	813,92±18,37	22,11±1,62	33,17±1,50
ПП J-170Т 170, 180, 190	862,42±13,36	20,17±3,84	30,73±0,53
ПП J-170Т 180, 190, 200	755,34±197,32	204,98±17,89	29,25±8,03

При данной температуре экструзии можно наблюдать значительное повышение предела текучести, модуля упругости и  $\varepsilon_p$ . Подобное поведение наблюдали и в работе [16], авторы связывают это с процессом дегградации ПП, который ввиду снижения молекулярных масс (ММ) содействует повышению степени кристалличности ПП.

Подтверждение предлагаемого механизма изменений упруго-прочностных характеристик в широком интервале температур экструзии изотактического ПП требует проведения дополнительных исследований по оценке воздействия

деградационных процессов на показатель текучести расплава и оценки степени кристалличности экструдированных образцов ПП.

Аналогичные исследования, проведенные на блок-сополимере пропилен-этилен JM-370, не выявили существенных изменений как по форме кривых  $\sigma$ - $\varepsilon$  (рис. 4), они идентичны образцу ПП J-170Т, экструдированного при T=200 °С, так и по основным характеристикам  $\sigma_m$ ,  $E$ ,  $\varepsilon_p$ , за исключением незначительного падения модуля упругости по мере повышения температуры экструзии (табл. 2).

**Таблица 2**

**Механические свойства ПП (JM-370) от температурных зон экструдирования**

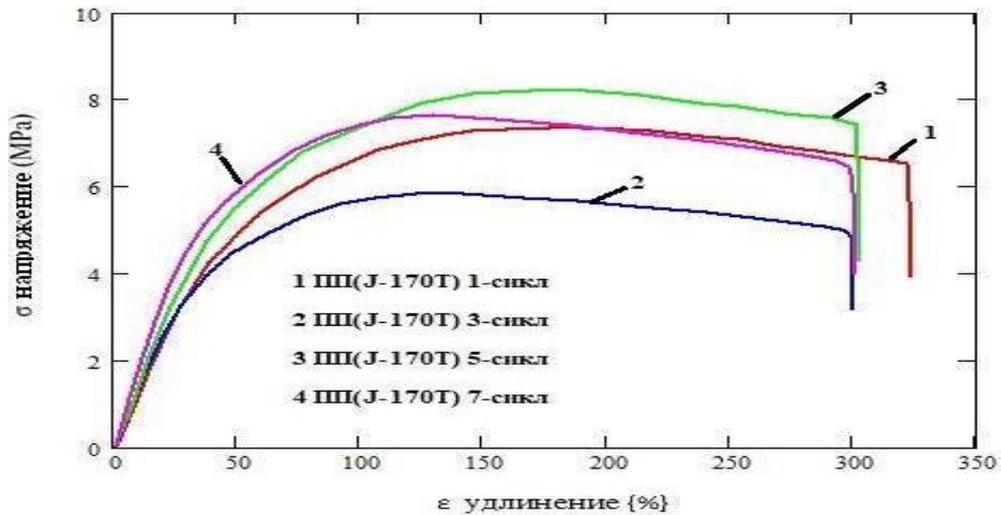
Наименование образца	Модуль Юнга [МПа]	Относительное удлинение при разрыве (Стандарт) [%]	Напряжение при растяжении при пределе текучести/ [МПа]
ПП(JM-370) 150, 160, 170	635,28±6,62	577,64±19,21	19,81±0,80
ПП(JM-370) 160, 170, 180	571,01±14,93	705,27±106,44	22,88±0,20
ПП(JM-370) 170, 180, 190	539,48±14,20	367,66±92,90	21,51±0,38
ПП(JM-370) 180, 190, 200	586,76±10,43	410,21±90,27	19,84±0,85

Рассмотрим экспериментальные данные о влиянии многократного экструдирования полипропиленов на механические свойства.

Кривые  $\sigma$ - $\varepsilon$  (рис. 4) для изотактического ПП J-170Т представляют собой, помимо стадии упругого деформирования, совмещенные стадии текучести и ориентационного процесса с образова-

нием «шейки», последующей фибрилляции и разрушения. Последние две стадии проходят с отрицательным наклоном производной напряжения от деформации, многократная экструзия (7 циклов) оставляет практически

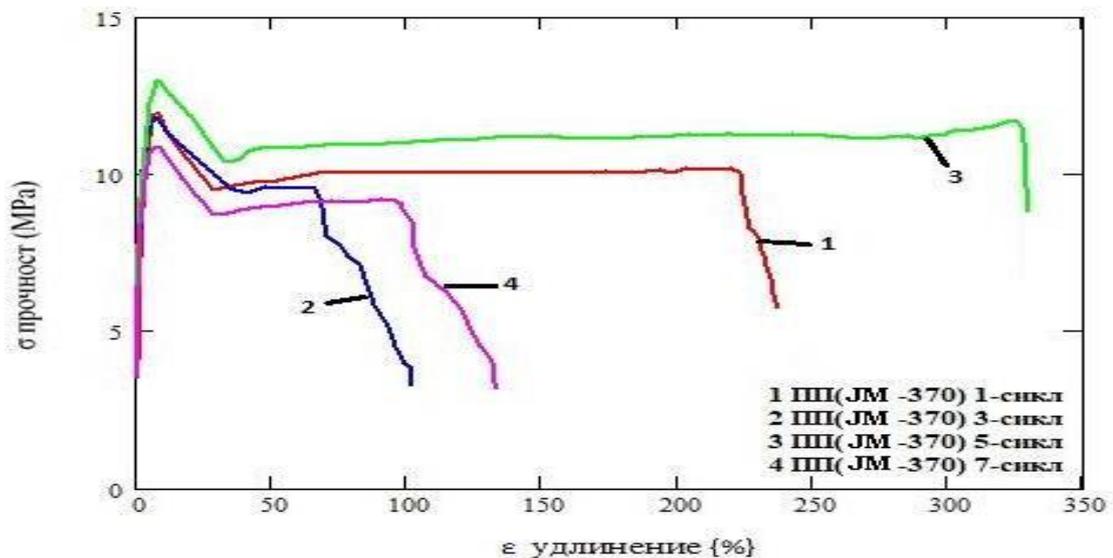
неизменной величину  $\sigma_m$  и  $\varepsilon_p$ , в то время как модуль упругости при малых числах экструзии незначительно увеличивается, затем уменьшается на 15-20 % по мере увеличения числа экструзий.



**Рис. 4. Кривые  $\sigma$ - $\varepsilon$  для ПП JM-370 от числа экструзий**

Кривые  $\sigma$ - $\varepsilon$  для блок-сополимера ПП с этиленом JM-370 (рис. 5) представляют собой деформационный процесс, включающий все стадии, т. е. упругую стадию, резкий выход на предел текучести и значительное падение напряжения (формирование значительного количества микропустот), стадию дефор-

мирования, не зависящую от напряжения (ориентационные процессы) с последующим разрушением. Обнаружено, что многократная экструзия не влияет на форму кривых  $\sigma$ - $\varepsilon$ , и практически все параметры  $\sigma_m$ ,  $E$ , за исключением  $\varepsilon_p$ , остаются неизменными.



**Рис. 5. Кривые  $\sigma$ - $\varepsilon$  для ПП JM-370 от числа экструзий**

### Выводы

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Вариация температуры экструзии изотактического ПП J-170T способствует усилению упруго-прочностных характеристик ПП по показателям предела текучести, модуля упругости и относительного удлинения при разрушении не менее чем 15-20 %, в то время как для блок-сополимера полипропилена с этиленом JM-370 заметных изменений не обнаружено.

2. Многократная экструзия ПП J-170T не влияет на  $\sigma_m$  и  $\varepsilon_p$ , модуль

упругости при малых числах экструзии увеличивается, затем уменьшается на 15-20 % по мере увеличения числа экструзии.

3. Многократная экструзия не влияет на форму кривых блок-сополимера пропилен с этиленом JM-370, параметры  $\sigma_m$ ,  $E$  остаются неизменными, а  $\varepsilon_p$  – незначительно уменьшается.

4. Изотактический ПП J-170T, как и ожидалось, по упруго-прочностным характеристикам превосходит блок-сополимер ПП с этиленом JM-370 по  $\sigma_m$  и  $E$ , существенно уступая по показателю  $\varepsilon_p$  (десятки процентов по сравнению с сотнями процентов).

### Источники и литература

1. Lu Y., Li Z. *Application Research of Polypropylene Film, Properties and Applications of Dielectric: Materials Proceedings of the 6-th International Conference on Polymer Materials.* – 2000. – N 2. – Pp. 1052-1057.
2. Simonik J., Drexler J. *Application of Atactic Polypropylene in Technology of Chemical Foaming of PVC pastes // Journal of the Vinyl and Additive Technology.* – 2004. – N 1 (2). – Pp. 119-121.
3. Kurahashi K. *The Application of Novel Polypropylene to the Insulation of Electric Power Cable / K. Kurahashi, Y. Matsuda, Y. Miyashita, T. Demura, A. Ueda, K. Yoshino // Electrical Engineering in Japan.* – 2006. – N 1 (3). – Pp. 551-558.
4. Karian H. *Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites / 2nd edn. – Plastics Engineering Series.* – 2003. – Vol. 67.
5. US Patent 5019447. *Oriented Polypropylene Films Structure / L.E. Keller.* – 1991.
6. Singh N. *Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications / N. Singh, D. Hui, R. Singh, I.P.S. Ahuja, L. Feo, F. Fraternali // Composites Part B: Engineering.* – 2017. – Pp. 115, 409-422. – Access mode: doi:10.1016/j.compositesb.2016.09.013.
7. Grigore M. *Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers // Recycling.* – 2017. – N 2 (4). – P. 24. – Access mode: doi:10.3390/recycling2040024.
8. Sasse F., Emig G. *Chemisches Recycling von Kunststoffen // Chemie Ingenieur Technik.* – CIT 70 (3). – Pp. 233-245. – Access mode: <https://doi.org/10.1002/cite.330700303>.
9. Ji X., Qian J.L., Wang J.Q. *Study on the Conversion of Polypropylene Waste to Oil in a Fluidized Bed Reactor // Energy Sources.* – 1998. – N 23 (2). – Pp. 157-163.
10. Yildirim S., Birc er Y., Yildiz C. *Utilization of Fly Ash and Polypropylene Wastes in the Production of a New Porous Composites Material // Journal of Porous Materials.* – 1996. – N 3 (3). – Pp. 189-191.
11. Horrocks R., Richards A.F., Ghosh S. *Influence of Waste Polymer Inclusion on the Performance of Oriented Polypropylene Geotextile Tapes // Textile Research Journal.* – 1995. – N 65 (10). – Pp. 601-606.

12. Majumdar J. *Thermal Properties of Polypropylene Post-Consumer Waste (PP PCW)* / J. Majumdar, F. Cser, M.C. Jollands, R.A. Shanks // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 2004. – N 78 (3). – Pp. 849-863.
13. Jin H. *The effect of extensive mechanical recycling on the properties of low density polyethylene* / H. Jin, J. Gonzalez-Gutierrez, P. Oblak, B. Zupančič, I. Emri // *Polymer Degradation and Stability*. – 2012. – N 97 (11). – Pp. 2262-2272. – Access mode: doi:10.1016/j.polymdegradstab.2012.07.039.
14. Waldman W.R., De Paoli M.A. *Thermo-mechanical degradation of polypropylene, low-density polyethylene and their 1:1 blend* // *Polymer Degradation and Stability*. – 1998. – N 60 (2-3). – Pp. 301-308. – Access mode: doi:10.1016/S0141-3910(97)00083-9.
15. Tri Phuong N., Gilbert V., Chuong B. *Preparation of Recycled Polypropylene: Organophilic Modified Layered Silicates Nanocomposites. – Part I: The Recycling Process of Polypropylene and the Mechanical Properties of Recycled Polypropylene / Organoclay Nanocomposites* // *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. – 2008. – N 27 (18). – Pp. 1983-2000. – Access mode: doi:10.1177/0731684407086326.
16. Aurrekoetxea J. *Effects of recycling on the microstructure and the mechanical properties of isotactic polypropylene* / J. Aurrekoetxea, M.A. Sarrionandia, I. Urrutibeascoa, M.L. MasPOCH // *Journal of Materials Science*. – 2001. – N 36 (11). – Pp. 2607-2613. – Access mode: doi:10.1023/A:1017983907260.
17. Bahlouli N. *Recycling effects on the rheological and thermomechanical properties of polypropylene-based composites* / N. Bahlouli, D. Pessey, C. Raveyre, J. Guillet, S. Ahzi, A. Dahoun, J.M. Hiver // *Materials & Design*. – 2012. – N 33. – Pp. 451-458. – Access mode: doi:10.1016/j.matdes.2011.04.049.
18. Strapasson R. *Tensile and impact behavior of polypropylene: low density polyethylene blends* / R. Strapasson, S.C. Amico, M.F.R. Pereira, T.H.D. Sydenstricker // *Polymer Testing*. – 2005. – N 24 (4). – Pp. 468-473. – Access mode: doi:10.1016/j.polymertesting.2005.01.001.
19. Marrone M., La Mantia P. *Monopolymers blends of virgin and recycled polypropylene* // *Polym Recy*. – 1996. – N 2 (1). – P. 9.
20. Guerrica-Echevarria G., Eguiazabal J.I., Nazabal J. *Effects of reprocessing conditions on the properties of unfilled and talc filled polypropylene* // *Polym Degrad Stab*. – 1996. – N 53. – P. 1.
21. Da Costa H.M., Ramos V.D., Rocha M.C.G. *Rheological properties of polypropylene during multiple extrusions* // *Polym Test*. – 2005. – N 24 (1). – P. 86.
22. Da Costa H.M., Ramos V.D., De Oliveira M.G. *Degradation of polypropylene (PP) during multiple extrusions: thermal analysis, mechanical properties and analysis of variance* // *Polym Test*. – 2007. – N 26 (5). – P. 676.

### **Рецензент:**

Холмуминов А.А., доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой "Полупроводников и физики полимеров" Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека.