

УДК 678.06

М. М. Ревяко, О. М. Касперович, Е. З. Хрол, А. Ф. Петрушеня
Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ ТЕРМОУСАЖИВАЕМЫХ МУФТ

В статье представлены результаты испытаний полимерных термоусаживаемых муфт, используемых для формирования неподвижных соединений трубопроводов. При изготовлении муфты подобного типа подвергаются сшивке с помощью радиационного излучения и ориентационной вытяжки. В работе определена зависимость показателей эксплуатационных характеристик термоусаживаемых муфт от технологических параметров их получения, в частности от природы используемого полимерного материала и степени облучения муфт после формования. Оценка качества полученных муфт в работе производилась по таким показателям, как степень сшивки материала в изделии, степень раздува изделий после проведения ориентационной вытяжки, а также по значениям усилия и давления обжатия муфтой труб оболочек. В работе установлен режим получения муфты, обладающей оптимальным набором эксплуатационных характеристик.

Ключевые слова: термоусаживаемая муфта, полиэтилен, степень сшивки, ориентационная вытяжка, усилие обжатия, давление обжатия.

M. M. Revyako, O. M. Kasperovich, E. Z. Khrol, A. F. Petrushenia

Belarusian State Technological University

RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF POLYMERIC HEAT-SHRINKABLE SLEEVES

The results of testing of polymeric heat-shrinkable sleeves used for forming the fixed joints of pipelines are presented in the article. During the production sleeves of this type are exposed to radiation and orienting drawdown. It was determined the dependence of the performance characteristics of heat-shrinkable sleeves on the technological parameters of their production, in particular on the nature of the used polymer material and the exposure degree after molding. Quality assessment of the obtained sleeves was assessed by such indicators as the degree of crosslinking of the material in the product, the degree of parison swell of products after conducting the orientation (drawing), and the force and pressure of compression of pipe-shells by sleeves. The mode to obtain sleeves with an excellent set of operational characteristics is determined in the work.

Key words: heat-shrinkable sleeve, polyethylene, degree of crosslinking, orientation drawing, force of compression, pressure of compression.

Введение. В Республике Беларусь, а также в странах дальнего и ближнего зарубежья выпускается широкий ассортимент муфт на основе термопластичных полимеров, которые применяются для гидроизоляции стыков трубопроводов. В большинстве случаев указанные изделия изготавливаются из полиэтилена, который после процесса формования дополнительно подвергается сшивке. Сшивка полиэтилена на практике может осуществляться различными способами – под действием химических реагентов, коронного разряда, радиационного излучения и т. д. [1, 2]. Кроме того, при изготовлении термоусаживаемых муфт различные производители могут использовать также различные марки полиэтилена. Именно по этой причине показатели эксплуатационных свойств указанных изделий, изготовленных разными производителями, могут в значительной степени различаться.

Подобный вид продукции является относительно новым, а поэтому к настоящему времени в промышленности пока еще не было выработано обоснованных требований к муфтам. В связи с этим в статье предпринята попытка изложения основных технических требований к важнейшим эксплуатационным характеристикам термоусаживаемых муфт; проанализировано влияние степени сшивки полимерного материала на потребительские свойства полученных из него муфт.

Основная часть. В настоящей работе описываются результаты исследования муфт, полученных из полиэтилена и подвергнутых дополнительному радиационному сшиванию и ориентационной вытяжке. На стадии изготовления в исследованных образцах муфт при формовании образуется пространственная сетка из сшитых макромолекул полимера, что должно

обеспечивать повышенную прочность муфт при растяжении, а также более высокую термостойкость, химическую стойкость, стойкость к пониженным температурам, стойкость к растрескиванию подобной продукции. Так, в частности, в работе приведены результаты исследования степени усадки муфт в зависимости от температуры в свободном состоянии, усилия сжатия муфт, твердости по Шору их поверхности и степени сшивки полимерного материала (путем экстракции полиэтилена в *para*-ксилоле).

При проведении работы были исследованы технологические и эксплуатационные свойства образцов муфт, изготовленных на ООО «Сармат-Термо-Инжиниринг» из труб-оболочек, полученных из различных марок полимера и характеризующихся различным диаметром (табл. 1). Облучение части образцов муфт проводилось с помощью гамма-установки модели УГУ-420 (одноразовая доза облучения муфт составляла 9 Мрад; двухразовая доза – 18 Мрад, четырехразовая доза – 27 Мрад) (образцы № 1–4, 6–9, 12–15). Вторая часть образцов муфт, исследованных в работе, облучалась с помощью ускоренных электронов (доза облучения – 9 эВ) (образцы № 5, 10). В качестве аналога в работе рассмотрен также образец муфты, изготовленный без облучения (образец № 11).

Степень сшивки полиэтилена в муфтах определялась в работе по содержанию в материале гель-фракции за счет экстрагирования образцов полимера в *para*-ксилоле. Результаты испытаний образцов муфт на степень сшивки полимера представлены в табл. 2.

Исходя из данных, приведенных в табл. 2, можно сделать вывод о том, что наибольшей степенью сшивки обладают образцы муфт № 13 (91,5%) и № 8 (98,2%), при изготовлении кото-

рых полимерный материал подвергался четырехкратному облучению. Чуть меньшая степень сшивки полимера наблюдается в муфтах, при изготовлении которых полимер облучался 1 или 2 раза.

Вышеперечисленные образцы муфт характеризуются довольно высокой долговечностью. За счет осуществления сшивания полимеров в этом случае повышается максимально допустимая рабочая температура эксплуатации изделий и снижаются деформационные характеристики изделий.

Кроме того, сшитые муфты характеризуются также повышенной химической стойкостью, стойкостью к действию ударных нагрузок, способностью к восстановлению формы. При изготовлении муфт за счет реализации стадии сшивания на практике удается сохранить форму изделий как до, так и после термической усадки.

Как правило, за счет увеличения доз облучения на практике можно увеличить степень сшивки полимера, однако проанализировав данные, представленные в табл. 2, можно заметить, что не всегда увеличение дозы облучения приводит к значительному увеличению степени сшивки материала, а поэтому зачастую увеличение кратности облучения образцов является нецелесообразным.

Следует также отметить, что для одного и того же полимера способ сшивки оказывает существенное влияние на способность получаемой муфты к усадке. Это объясняется тем, что при облучении изделий ускоренными электронами сшивке подвергаются только поверхностные слои материала муфты, в то время как при проведении сшивки под действием γ -излучения сшивке подвергается весь объем муфты.

Таблица 1

Характеристики образцов муфт, использованных при испытаниях

Номер образца муфты	Марка полиэтилена (ПЭ)	Количество доз облучения	Диаметр до раздува, мм	Средняя толщина стенки, мм
1	ПЭ 80 марки Лукотен F 3802 В	1	110	2,56
2	ПЭ 80 марки Лукотен F 3802 В	2	110	2,60
3	ПЭ 80 марки Лукотен F 3802 В	1	160	2,93
4	ПЭ 80 марки Лукотен F 3802 В	2	160	3,03
5	ПЭ 63	1	110	3,26
6	ПЭ 63 марки 273-83	1	160	3,10
7	ПЭ 63 марки 273-83	2	160	3,00
8	ПЭ 63 марки 273-83	4	160	3,06
9	ПЭ 80 марки Лукотен F 3802 В	2	110	2,46
10	ПЭ 63	2	160	2,63
11	ПЭ 100	0	125	2,83
12	ПЭ 80 марки Лукотен F 3802 В	4	160	3,30
13	ПЭ 80 марки Лукотен F 3802 В	4	110	2,50
14	ПЭ 80 марки Лукотен F 3802 В	2	160	3,06
15	ПЭ 63 марки 273-83	2	160	3,00

Таблица 2

Характеристики термоусаживаемых муфт

Номер образца муфты	Степень сшивки муфт, %	Степень раздува муфт, %	Усилие обжатия трубы, Н	Давление обжатия трубы, МПа
1	27,20	111,06	468,27	0,106425
2	21,78	109,84	550,69	0,125157
3	11,45	110,33	561,42	0,087722
4	30,28	110,21	502,76	0,078556
5	23,40	112,11	480,52	0,109209
6	24,05	110,92	516,91	0,080767
7	18,29	109,45	508,44	0,079444
8	98,20	109,57	405,37	0,063339
9	49,60	113,27	560,08	0,127291
10	39,30	108,72	357,12	0,055800
11	–	111,19	491,79	0,098358
12	55,71	109,67	589,28	0,092075
13	91,50	113,21	484,44	0,110100
14	50,34	109,77	501,49	0,078358
15	69,50	110,25	435,71	0,068080

Важной характеристикой подобной продукции является также степень раздува муфт, рассчитанная по отношению к ее первоначальному диаметру (табл. 2). Величина степени раздува определяет степень последующей усадки муфты при термическом воздействии на нее (термоусаживание). В работе величина указанного параметра была определена для всех исследованных образцов за счет измерения их диаметра до и после проведения процедуры ориентационной вытяжки.

Проанализировав данные, представленные в табл. 2, можно заметить, что высокая степень раздува характерна, в том числе и для образца № 5 (112,11%), который был облучен при помощи ускоренных электронов. Это можно объяснить тем, что при подобном воздействии сшитая сетка образуется только в поверхностных слоях полимерного материала. Также высокая степень раздува характерна для образцов № 1, 9, 11 и 13.

Значения усилия и давления обжатия трубы в работе определялись на универсальной испытательной машине – тензомере Instron 2020 по уникальным методикам, разработанным и запатентованным авторами статьи [3–5], согласно схеме, представленной на рисунке.

Проанализировав данные, представленные в табл. 2, можно прийти к выводу о том, что образцы, характеризующиеся высокой степенью раздува (образцы № 5, 9 и 13), обеспечивают также и большое усилие обжатия труб-оболочек. Поскольку при получении всех этих труб изделия облучались различным количеством раз, то можно сделать вывод о том, что вклад ориентационных напряжений, возникающих в изделии при раздуве, оказывает более значительное влия-

ние на величину усилия обжатия, чем процессы сшивания материала при облучении.

Заключение. Экспериментально установлено, что оптимальная степень сшивки муфт составляет примерно 50%, поскольку образцы муфт, характеризующиеся подобной степенью сшивки, обладают повышенными прочностными характеристиками, и при их использовании на практике удастся получать более прочные стыковые соединения труб [5]. Муфты, характеризующиеся меньшим значением степени сшивки, не обеспечивают надежного соединения труб. Более высокое значение степени сшивки муфт также нецелесообразно, поскольку дальнейшее увеличение этого показателя не приводит к существенному увеличению усилия обжатия труб.

В работе установлено также, что максимальное усилие обжатия обеспечивается в случае использования муфт, изготовленных из ПЭ 80 марки Лукотен F 3802 В, дважды дополнительно облученных (0,1273 МПа). Причиной может быть то, что подобные муфты по сравнению с другими исследованными образцами характеризуются более высокой степенью вытяжки и ориентации, что позволяет достигать более высоких значений усадки указанных термоусаживаемых муфт при эксплуатации.

За счет проведения радиационного сшивания на практике удастся добиться улучшения физико-механических показателей полимерных материалов. Так, при увеличении дозы облучения увеличивается степень сшивки материала – повышается плотность пространственной решетки, которая увеличивает прочностные и эксплуатационные характеристики материала. Важную роль при этом играет также и способ облучения материалов.

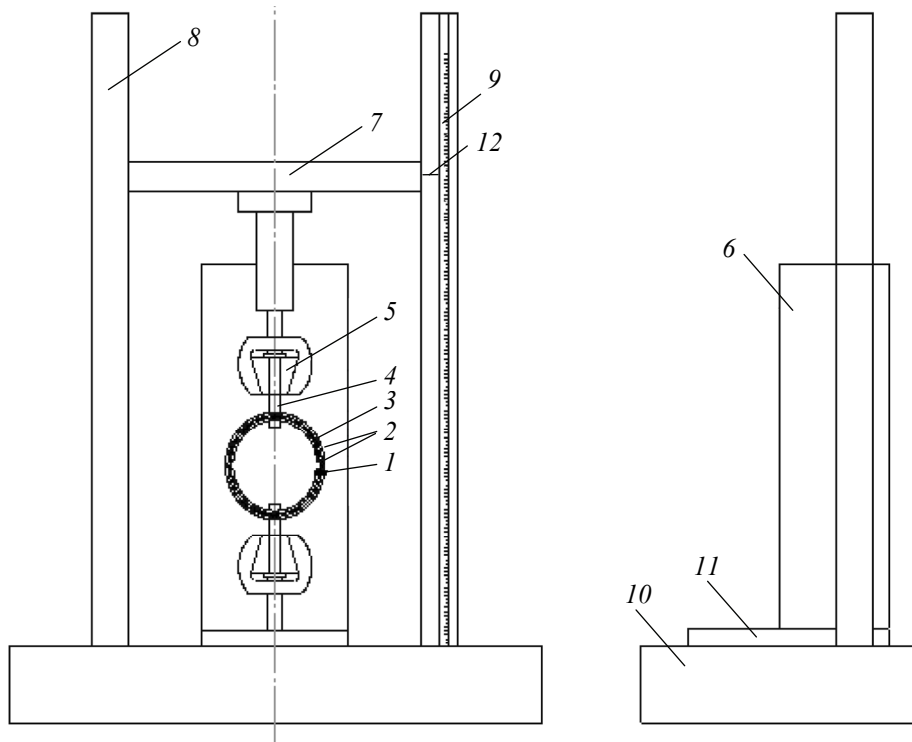


Схема установки для определения усилия и давления обжатия термоусаживаемой муфтой труб-оболочек:

- 1 – испытуемый образец; 2 – полукольца; 3 – резиновая прокладка; 4 – крепление полуколец;
5 – захваты; 6 – термошкаф; 7 – верхняя поперечина; 8 – направляющая колонна;
9 – измерительная шкала; 10 – станина установки; 11 – рейки для перемещения термошкафа; 12 – указательная стрелка

По всей видимости, при облучении образцов ускоренными электронами сшивке подвергаются лишь поверхностные слои материала, а поэтому сшитые таким образом муфты характеризуются невысокими показателями степени сшивки. В работе установлено также, что сшивку муфт целесообразно проводить γ -облучением, а не ускоренными электронами.

Таким образом, на основании проведенных исследований было выявлено, что в промышленности целесообразно использовать термоусаживаемые муфты, изготовленные из ПЭ 80 марки Лукотен F 3802 В, облученные дозой 18 Мрад (образец № 9), поскольку такие муфты обладают лучшим набором эксплуатационных характеристик и имеют хорошие физико-механические показатели.

Литература

1. Длительная долговечность труб из сшитого полиэтилена в системе горячего водоснабжения с хлорированной водой // *Plast. Rubber and Compos.* 1999. Т. 28, № 6. С. 309–314.
2. Радиационно-модифицированные термоусаживаемые трубки [Электронный ресурс] // *Рус-Кабель*: сайт. Москва 1999–2015. URL: <http://www.RusCable.Ru/2009.01.11.pdf> (дата обращения: 25.04.2010).
3. Способ определения давления усадки термоусаживаемой цилиндрической оболочки из полимерного материала, обладающего эффектом памяти формы и устройство для его осуществления: пат. 17268 Респ. Беларусь, МПК7 G 01 L 1/06, G 01 N 3/02. № а 20101331; заявл. 15.09.10; опубл. 27.03.13. Афіцыйны бюл. № 1. 6 с.
4. Способ определения давления усадки термоусаживаемой цилиндрической оболочки из полимерного материала, обладающего эффектом памяти формы и устройство для его осуществления: пат. 17269 Респ. Беларусь, МПК7 G 01 L 1/06, G 01 N 3/02. № а 20101332; заявл. 15.09.10; опубл. 27.03.13. Афіцыйны бюл. № 1. 6 с.
5. Способ определения давления усадки термоусаживаемой цилиндрической оболочки из полимерного материала, обладающего эффектом памяти формы и устройство для его осуществления: пат. 17270 Респ. Беларусь, МПК7 G 01 L 1/06, G 01 N 3/02. № а 20101333; заявл. 15.09.10; опубл. 27.03.13. Афіцыйны бюл. № 1. 6 с.

References

1. Long-term durability of pipes from cross-linked polyethylene in the hot-water pipelines with chlorinated water. *Plast. Rubber and Compos.*, 1999, vol. 28, no. 6, pp. 309–314 (in Russian).
2. *Radiatsionno-modifitsirovannyye termousazhivaemye trubki* [Radiation-modified heat-shrinkable pipes]. Available at: <http://www.RusCable.Ru/2009.01.11.pdf> (accessed 25.04.2010).
3. Dashkevich V. R., Kasperovich O. M., Levchuk G. K., Loban N. S., Malaschenko V. A., Revyako M. M. *Sposob opredeleniya davleniya usadki termousazhivaemoy tsilindricheskoy obolochki iz polimernogo materiala, obladayushchego efektom pamyati formy i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [The way of determination of pressure of compression of heat-shrinkable cylindrical shell from polymeric material possessing the shape memory effect and device for its implementation]. Patent RB, no. 17268, 2013.
4. Dashkevich V. R., Kasperovich O. M., Levchuk G. K., Loban N. S., Malaschenko V. A., Revyako M. M. *Sposob opredeleniya davleniya usadki termousazhivaemoy tsilindricheskoy obolochki iz polimernogo materiala, obladayushchego efektom pamyati formy i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [The way of determination of pressure of compression of heat-shrinkable cylindrical shell from polymeric material possessing the shape memory effect and device for its implementation]. Patent RB, no. 17269, 2013.
5. Dashkevich V. R., Kasperovich O. M., Levchuk G. K., Loban N. S., Malaschenko V. A., Revyako M. M. *Sposob opredeleniya davleniya usadki termousazhivaemoy tsilindricheskoy obolochki iz polimernogo materiala, obladayushchego efektom pamyati formy i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [The way of determination of pressure of compression of heat-shrinkable cylindrical shell from polymeric material possessing the shape memory effect and device for its implementation]. Patent RB, no. 17270, 2013.

Информация об авторах

Ревяко Михаил Михайлович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: revjako@mail.ru

Касперович Ольга Михайловна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tnsippm@belstu.by

Хрол Евгений Зенонович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: khrolez@belstu.by

Петрушения Александр Федорович – кандидат технических наук, ассистент кафедры технологии нефтехимического синтеза и переработки полимерных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: petraf@belstu.by

Information about the authors

Revyako Mikhail Mikhaylovich – D. Sc. Engineering, professor, professor, Department of Technology of Petrochemical Synthesis and Polymer Materials Processing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: revjako@mail.ru

Kasperovich Olga Mikhaylovna – Ph. D. Engineering, associate professor, associate professor, Department of Technology of Petrochemical Synthesis and Polymer Materials Processing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tnsippm@belstu.by

Khrol Evgeniy Zenonovich – Ph. D. Engineering, senior lecturer, Department of Technology of Petrochemical Synthesis and Polymer Materials Processing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: khrolez@belstu.by

Petrushenia Aleksandr Fedorovich – Ph. D. Engineering, assistant, Department of Technology of Petrochemical Synthesis and Polymer Materials Processing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: petraf@belstu.by

Поступила 17.02.2015