

УДК 621.646

**О. М. Касперович**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);**В. В. Яценко**, кандидат химических наук, доцент (БГТУ);**А. Г. Любимов**, аспирант (БГТУ)

### ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТЕРМОУСАЖИВАЕМЫХ МУФТ

В работе представлены результаты исследования термоусаживаемых муфт из полиэтилена, используемых для гидроизоляции стыков трубопроводов, от различных производителей, которые отличались маркой используемого материала, методом облучения и количеством полученных доз радиации. В работе определена оптимальная степень сшивки у предоставленных муфт и то, как она зависит от степени облучения и марки материала, из которого изготовлена муфта. Также рассмотрена зависимость усилия обжатия – одной из основных эксплуатационных характеристик муфт – от степени сшивки и степени раздува муфты, зависимость степени усадки от температуры. В результате были выбраны оптимальные в технико-эксплуатационном отношении образцы муфт и даны рекомендации по их использованию.

The paper presents the results of a study of heat shrinkable sleeves made of polyethylene, used for waterproofing joints of pipelines from different manufacturers, which were different brand of material used, method of exposure and the number of doses of radiation. In the optimum degree of crosslinking provided a coupling and how it depends on the degree of exposure and grade of the material of construction of the clutch. Just consider the dependence of compression force – a key performance clutches – the degree of crosslinking and the extent of blowing clutches, is considered the degree of shrinkage on the temperature. As a result, we chose the best in technical and operational for couplings samples and recommendations for their use.

**Введение.** В Республике Беларусь, а также в дальнем и ближнем зарубежье выпускается широкий ассортимент муфт на основе термопластичных полимеров для гидроизоляции стыков трубопроводов [1]. Однако в зависимости от свойств сшитого полиэтилена, применяемого при производстве муфт, получается существенный разброс эксплуатационных показателей изделий от разных производителей. Поэтому возникла необходимость определения технических требований к основным эксплуатационным характеристикам термоусаживаемых муфт (МТУ), проведения исследований влияния степени сшивки на потребительские свойства МТУ.

Производственный процесс изготовления МТУ заключается в изготовлении изделий методом экструзии, их сшивании (модификации), нагревании до температуры несколько выше точки плавления кристаллической фазы полимера и раздуве муфты. В конце производится быстрое охлаждение.

В процессе облучения качественно изменяется структура полимерного материала: происходит «поперечная сшивка молекул», и полимер перестает быть термопластиком. При достижении температуры плавления материал только размягчается, становится эластичным и резиноподобным, однако не теряет своей формы и сохраняет ее при последующем повышении температуры [2].

При эксплуатации муфты производят изоляцию стыка труб и повторно нагревают муф-

ту. Под воздействием пламени газовой горелки или высокотемпературного фена трубка начинает сжиматься, возвращаясь к своей первичной форме и размерам в нерастянутом состоянии. В процессе усадки муфты обеспечивается полное обжатие изоляционным материалом поверхности сварного стыка и отсутствие воздушных пустот в формируемом покрытии. В дальнейшем при эксплуатации трубопровода муфта защищает изоляционное покрытие стыка от механических повреждений.

Способ радиационного модифицирования полимеров не только позволяет обеспечить повышение максимально допустимой рабочей температуры, но и приводит к снижению деформации под действием нагрузки (ползучести), повышению химической стойкости, стойкости на удар, способности к восстановлению формы [3].

**Основная часть.** В ходе исследований мы пытались выяснить, какова оптимальная степень сшивки у предоставленных муфт и как она зависит от степени облучения и марки материала, из которого изготовлена муфта, а также как влияют вышеперечисленные характеристики на усилие обжатия муфтой поверхности соединяемых труб.

Для проведения исследования были предоставлены образцы, поставленные от различных производителей: Борисов, Искоком, Ярцево; из различных марок ПЭ: ПЭ63, ПЭ80, ПЭ100; различного диаметра: 100, 160, 125 мм, и с различной степенью облучения (табл. 1).

Таблица 1

## Ассортимент представленных муфт

Номер муфты	Марка ПЭ	Производитель	Количество доз облучения	Диаметр до/после раздува, мм	Толщина стенки, средняя, мм
1	ПЭ80	Ярцево	1	110/122,17	2,56
2	ПЭ80	Ярцево	2	110/120,83	2,6
3	ПЭ80	Ярцево	1	160/176,53	2,93
4	ПЭ80	Ярцево	2	160/176,33	3,03
5	ПЭ63	Борисов	2	110/123,32	3,26
6	ПЭ63	Изоком	1	160/177,47	3,1
7	ПЭ63	Изоком	2	160/175,12	3
8	ПЭ63	Изоком	4	160/175,31	3,06
9	ПЭ80	Ярцево	2	110/124,60	2,46
10	ПЭ63	Борисов	2	160/173,95	2,63
11	ПЭ100	Прибалтика	0	125/138,99	2,83
12	ПЭ80	Ярцево	4	160/175,48	3,3
13	ПЭ80	Ярцево	4	110/124,53	2,5
14	ПЭ80	Ярцево	2	160/175,63	3,06
15	ПЭ63	Изоком	2	160/176,40	3

Облучение образцов проводилось на  $\gamma$ -установке «УГУ-420». Доза облучения для единожды облученных муфт составляла 9 МРад; для дважды облученных – 18 МРад, для четырежды облученных – 36 МРад соответственно. Также был предоставлен образец муфты производства БЗПИ (г. Борисов), облученный ускоренными электронами, доза – 9 эВ (образец № 10, табл. 1). Для сравнения с предоставленными образцами муфт был поставлен образец из Прибалтики, изготовленный из ПЭ100 и не подвергавшийся облучению (образец № 11, табл. 1).

Одной из основной эксплуатационных характеристик термоусаживаемых муфт является усилие обжатия.

На наш взгляд, на усилие обжатия будет влиять как материал, из которого изготовлена

муфта, так и такие характеристики, как степень сшивки и степень раздува муфты, поскольку увеличение степени сшивки должно приводить к возрастанию усилия обжатия за счет формирования более плотной пространственной решетки из сшитых макромолекул полимера, а увеличение степени раздува приведет к ориентации макромолекулярных цепей, а следовательно, к увеличению прочности изделия и усадки при эксплуатации при повышенных температурах [4, 5].

Степень сшивки полиэтилена мы определяли по содержанию гель-фракции при экстракции в ксилоле. Степень раздува – по изменению диаметра муфты после раздува относительно первоначального размера трубы при ее экструзии.

Таблица 2

## Зависимость усилия обжатия от степени сшивки и степени раздува

Марка ПЭ	Количество доз облучения	Диаметр, мм	Усилие обжатия, МПа	Степень сшивки, %	Степень раздува, %
ПЭ80	1	110	0,106425	27,20	111,06
ПЭ80	2	110	0,125157	21,78	109,84
ПЭ80	1	160	0,087722	11,45	110,33
ПЭ80	2	160	0,078556	30,28	110,21
ПЭ63	2	110	0,109209	23,40	112,11
ПЭ63	1	160	0,080767	24,05	110,92
ПЭ63	2	160	0,079444	18,29	109,45
ПЭ63	4	160	0,063339	98,2	109,57
ПЭ80	2	110	0,127291	49,6	113,27
ПЭ63	2	160	0,0558	39,3	108,72
ПЭ100	0	125	0,098358	–	111,19
ПЭ80	4	160	0,092075	55,71	109,67
ПЭ80	4	110	0,1101	91,5	113,21
ПЭ80	2	160	0,078358	50,34	109,77
ПЭ63	2	160	0,06808	69,5	110,25

Усилие обжатия определяли на разрывной машине модели Tensometr 2020 AlphaTechnologiesDyniscoCompany, позволяющей проводить испытания при температуре термоусадки муфт. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

При облучении в полимерах происходят два конкурирующих процесса: деструкция и сшивание. Поэтому физико-механические свойства образца будут зависеть от преобладания того или иного процесса и могут как улучшаться за счет сшивания, так и ухудшаться за счет деструкции.

Мы выяснили, что облучение муфты четыре раза не дает увеличения усилия обжатия муфты, что является главным требованием к МТУ, а только увеличивает степень сшивки полимера, в то время как производственный процесс усложняется, поскольку образец необходимо пропускать через камеру облучения многократно. В то же время увеличение степени сшивки не дает возможности для последующего «качественного» раздува муфты. Так как степень сшивки образца, облученного дважды, также значительна, следует отдать предпочтение муфте, усилие обжатия которой больше, а значит, облучать муфту четырежды в этом случае нецелесообразно (рис. 1).

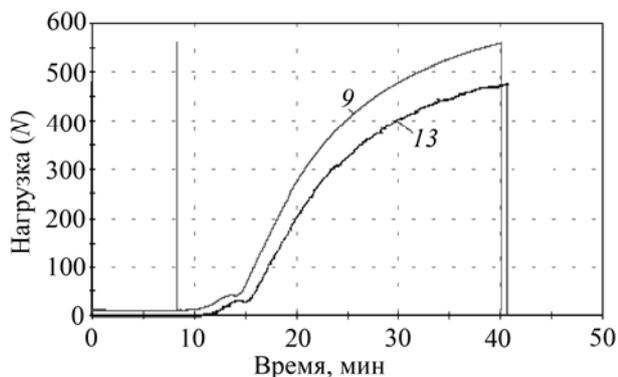


Рис. 1. Зависимость усилия обжатия от количества доз облучения:  
9 – ПЭ80, две дозы облучения;  
13 – ПЭ80, четыре дозы облучения

Следующей нашей задачей было сравнение образцов из различных марок полиэтилена с целью определения влияния на усилие сжатия марки полиэтилена, из которого изготовлена муфта (рис. 2).

Мы взяли муфты, имеющие одинаковый диаметр 110 мм, одинаковую дозу облучения (двойная доза в 18 МРад) и практически одинаковую степень раздува (~11,0%). Самым большим усилием обжатия обладал образец из ПЭ80. Это можно объяснить способом его получения, а следовательно, и свойствами.

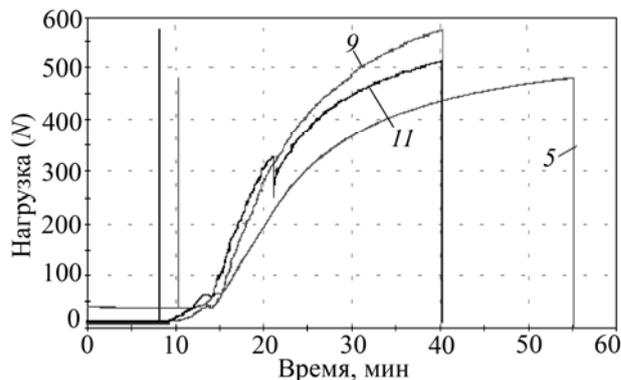


Рис. 2. Зависимость усилия обжатия от марки полиэтилена:

5 – ПЭ63, диаметр 110 мм, две дозы облучения;  
9 – ПЭ80, диаметр 110 мм, две дозы облучения;  
11 – ПЭ100, диаметр 125 мм, не имеющий облучения

Поскольку при транспортировке и в процессе хранения в летнее время в МТУ могут начинаться процессы усадки, а из литературных источников известно, что радиационно-сшитые образцы обладают большей термостойкостью, то представляло интерес проследить, с какой температуры начинается заметная усадка муфт и какова степень усадки муфт при различных температурах.

Был принят температурный диапазон усадки 40–150°C. Результаты представлены в табл. 3.

Мы определили, что при температурах до 100–110°C степень усадки от дозы облучения не зависит (рис. 3). При различных дозах облучения муфты усаживаются на одинаковый диаметр. При дальнейшем прогреве муфт из ПЭ одной марки, но с разными дозами облучения наибольшую степень усадки показали образцы, облученные дважды и четырежды.

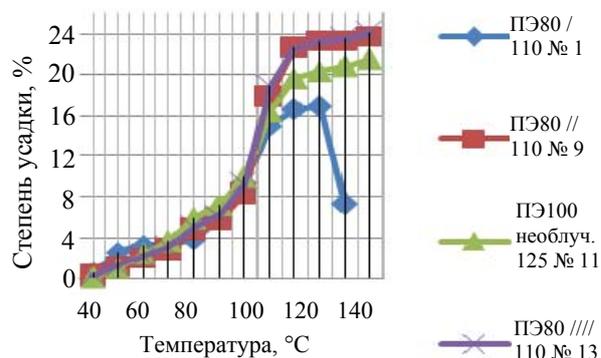


Рис. 3. Сравнение степени усадки при различных температурах в зависимости от дозы облучения:  
1 – ПЭ80, одна доза облучения;  
9 – ПЭ80, две дозы облучения;  
11 – ПЭ100, не облученный;  
13 – ПЭ80, четыре дозы облучения

Определение зависимости степени усадки МТУ от температуры

Образец	Диаметр, мм	Температура, °С											
		40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
ПЭ80, 1 Ярцево	110	0,52	2,68	3,37	3,37	3,90	5,97	9,41	14,99	16,56	16,91	7,27	–
ПЭ80, 2 Ярцево	110	0,52	1,33	3,40	4,11	5,56	7,35	10,96	14,48	15,70	15,88	10,16	–
ПЭ80, 1 Ярцево	160	0,36	0,54	0,63	1,18	1,65	2,78	8,83	11,91	12,02	13,28	16,01	14,41
ПЭ80, 2 Ярцево	160	0,18	0,18	0,45	0,91	1,28	2,31	8,31	11,92	11,92	13,41	15,91	14,60
ПЭ63, 2 Борисов	110	0,25	0,51	1,17	1,44	1,97	2,92	4,59	9,01	14,48	16,21	15,51	–
ПЭ63, 1 Изоком	160	0,09	0,17	0,45	0,72	0,90	1,64	5,99	8,36	8,46	11,28	14,83	13,52
ПЭ63, 2 Изоком	160	0	0	0,36	1,01	1,57	2,90	8,58	10,66	10,88	12,24	13,40	12,39
ПЭ63, 4 Изоком	160	0,54	2,61	2,89	2,89	5,16	9,01	9,11	11,32	13,74	14,80	17,51	17,75
ПЭ80, 2 Ярцево	110	0,25	1,29	2,09	2,89	4,82	5,81	8,30	17,93	22,55	23,32	23,32	23,71
ПЭ63, 2 Борисов	160	0,73	1,11	2,82	4,09	6,32	9,85	9,85	11,31	12,34	14,45	16,65	16,16
ПЭ100, 0 Прибалтика	125	0,11	1,04	2,46	3,68	5,94	7,24	9,95	16,40	19,59	20,25	20,74	21,42
ПЭ80, 4 Ярцево	160	0,36	0,82	2,22	2,99	4,85	9,97	10,19	13,72	15,90	18,23	20,04	19,78
ПЭ80, 4 Ярцево	110	0,25	1,29	2,22	3,16	5,10	6,23	9,21	18,84	22,56	23,34	23,53	24,1
ПЭ80, 2 Ярцево	160	0,54	1,01	2,04	3,18	5,35	10,1	10,63	13,82	15,49	17,71	32,09	18,85
ПЭ63, 2 Изоком	160	0,45	0,81	1,83	2,59	4,33	7,88	8,20	11,24	13,99	15,41	17,87	18,12

Хотя в процентном соотношении результаты, показанные образцом, изготовленным из ПЭ100, не намного ниже.

**Заключение.** Таким образом, проведя большое количество сравнительных экспериментов, мы можем заключить, что оптимальная степень сшивки муфт составляет около 50%. Такими показателями обладают муфты, изготовленные из ПЭ80 (Ярцево) диаметром 110 и 160 мм, подвергнутые двукратному облучению. Четырехкратное облучение проводить, на наш взгляд, нецелесообразно, поскольку при этом увеличивается пространственная сшивка полиэтилена, повышается плотность пространственной решетки, которая, однако, не приводит к значительному повышению усилия сжатия рассматриваемых муфт, в то время как увеличение степени

сшивки не дает возможности для последующего «качественного» раздува муфты.

Также при четырехкратном облучении может происходить процесс деструкции макромолекул полиэтилена, что приведет к снижению физико-прочностных характеристик термоусаживаемых муфт, усложняется производственный процесс, поскольку образец необходимо пропускать через камеру облучения многократно.

Максимальным усилием сжатия также обладает муфта термоусаживаемая из ПЭ80, облученного дважды (0,1273 МПа). Причиной может быть более высокая степень вытяжки и ориентации данных муфт при их получении по сравнению с муфтами других производителей, что позволяет достичь более высоких значений усадки данной муфты при эксплуатации.

В целом, радиационное сшивание приводит к улучшению физико-механических показателей полимера. Так, при увеличении дозы облучения возрастает степень сшивки материала – повышается плотность пространственной решетки.

Выбор марки материала оказывает ключевое влияние на свойства получаемых муфт. При применении в качестве матричного полимера муфт ПЭ80 наблюдается увеличение таких показателей, как степень усадки, усилие сжатия, которые являются важными при применении муфт по целевому назначению (герметизации стыков трубопроводов). При этом ПЭ80 выдерживает большее давление, имеет более узкое молекулярно массовое распределение по сравнению с ПЭ63, что обеспечивает его более высокие физико-механические показатели. В частности, ПЭ80 обладает более высокой минимальной длительной прочностью (ПЭ80 MRS = 8,0–9,9 МПа; ПЭ63 MRS = 6,3–7,99 МПа), повышенной стойкостью к незначительным механическим повреждениям и появлению трещин на поверхностях, обладает повышенной стойкостью к ультрафиолетовому облучению, атмосферным и химическим воздействиям.

Достаточно высокими показателями эксплуатационных свойств обладают муфты из необлученного ПЭ100, но не имея пространственной сетчатой структуры, данный материал вряд ли сможет обеспечить стабильно-высокие эксплуатационные свойства.

Таким образом, на основании проведенных исследований предлагается для промышленного использования муфта термоусаживаемая, изготовленная из ПЭ80, с дозой облучения 18 МРад,

которая обладает лучшими эксплуатационными параметрами и имеет хорошие физико-механические показатели.

### Литература

1. Горчак, Т. Н. Силановая сшивка полиэтилена – новые разработки / Т. Н. Горчак // Полимерные трубы 2008: материалы второй Международ. науч. конф., Москва, 2008 г. / компания «Креон» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kwd-glob-alpipe.com/2006.3.01.pdf>. – Дата доступа: 23.02.2010.
2. Длительная долговечность труб из сшитого полиэтилена в системе горячего водоснабжения с хлорированной водой // Plast. Rabberand Compos. – 1999. – Т. 28, № 6. – С. 309–314.
3. Характеристика мирового рынка РЕХ труб. О новых инновационных марках и технических решениях в производстве полимерных труб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.polymeri.ru/2008.10.02.pdf>. – Дата доступа: 19.04.2010.
4. Полиэтилен низкого давления: научно-технические основы промышленного синтеза / З. В. Архипова [и др.]; под общ. ред. А. В. Полякова. – СПб.: Химия, 1980. – 240 с.
5. Уайт, Дж. Л. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины / Дж. Л. Уайт, Д. Д. Чой; под ред. Е. С. Цобкалло. – СПб.: Профессия, 2006. – 256 с.
6. Радиационно-модифицированные термоусаживаемые трубки [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.RusCable.Ru/2009.01.11.pdf>. – Дата доступа: 25.04.2010.

*Поступила 25.02.2011*