

Двойное последовательное шейкообразование в сшитом полиэтилене

Double sequential necking in cross-linked polyethylene

А.Г. ДЕМЕНТЬЕВА¹, Т.А. КУЗНЕЦОВА², В.В. КОВРИГА³

A.G. DEMENTIEVA¹, T.A. KUZNETSOVA², V.V. KOVRIGA³

¹ ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК», Москва, Россия

² АО «Завод АНД ГАЗТРУБПЛАСТ», Москва, Россия

³ ООО «Группа ПОЛИМЕРТЕПЛО», Москва, Россия

¹ POLYPLASTIC Group, Moscow, Russia

² AND Gaztrubplast plant, Moscow, Russia

³ POLYMERTEPLO Group, Moscow, Russia

anna.dementeva@polyplastic.ru

Изучено явление двойного последовательного шейкообразования при гидравлических испытаниях сшитого полиэтилена. Показано, что естественная кратность вытяжки, формирующаяся в условиях двойного шейкообразования на первом и втором этапе, меняется в диапазоне от двух до семи.

Ключевые слова: двойное последовательное шейкообразование, естественная кратность вытяжки, полиэтилен

The phenomenon of double sequential neck formation during hydraulic tests of cross-linked polyethylene has been studied. It is shown that the extension ratio, formed under conditions of double neck formation at the first and second stages, varies in the range from 2 to 7.

Keywords: double sequential neck formation, natural extension ratio, polyethylene

DOI: 10.35164/0554-2901-2023-11-12-57-60

При анализе увеличения эластичности (рост значения относительного удлинения) стенок газовых труб при длительных сроках эксплуатации в качестве обоснования было предложено двойное последовательное шейкообразование [1]. Двойное последовательное шейкообразование обеспечивает высокий процент удлинения – 1100%, в то время как одиночное шейкообразование обеспечивает удлинение 500%.

Двойное последовательное шейкообразование наблюдалось ранее при испытаниях на растяжение нескольких видов термопластичных материалов, например, полиамида (ПА). Однако в литературе нет данных по двойному шейкообразованию полимерных трубных материалов. Первое упоминание о двойном последовательном шейкообразовании полимерных трубных материалов отмечено в работе В.Г. Колбая [2], в которой было показано существование такого шейкообразования в зоне разрушения при гидравлических испытаниях.

Для подтверждения существования двойного последовательного шейкообразования был проведен поиск дополнительных объектов исследования. В испытательной лаборатории ООО «Завод АНД Газтрубпласт» были отобраны четыре образца труб из сшитого полиэтилена, проявившие двойное шейкообразование в результате гидравлических испытаний (рис. 1). Исследуемые образцы труб отличались по диаметру и толщине стенки. На рис. 1 видно, что образцы имеют две зоны пластического разрушения, выраженные в виде двух тонких слоев. Зона вторичной вытяжки во всех случаях располагается вдоль линии разрушения материала, перешедшего в шейку. Основным показателем шейкообразования – «естественная кратность вытяжки» (ЕКВ) – определялся значениями относительной деформации по толщине образовавшейся «пленки» согласно методике, описанной в [3]. Значение ЕКВ выражено в относительных единицах, аналогично параметру «коэффициент вытяжки», определяемому по [4].

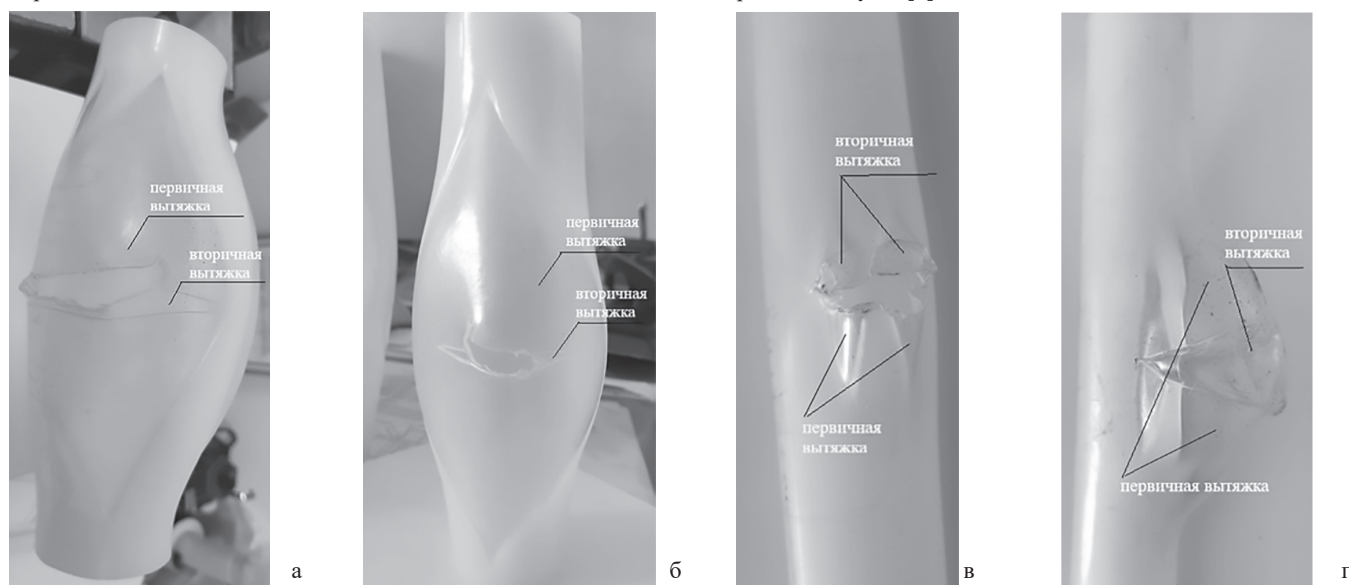


Рис. 1. Образцы исследуемых труб из сшитого полиэтилена с двойным последовательным шейкообразованием. а – образец большой 1 (№ОБ₁); б – образец большой 2 (№ОБ₂); в – образец малый 1 (№ОМ₁); г – образец малый 2 (№ОМ₂).

Таблица 1. Результаты измерений и значения ЕКВ₁ и ЕКВ₂ на образце №ОБ₁.

Первичная вытяжка					Вторичная вытяжка					
Толщина стенки образца изначаль- ная, мм	Толщина стенки образца в зоне первичной вытяжки, мм	Порядковый номер точки измерения	ЕКВ ₁ **	ЕКВ ₁ среднее	Толщина образца в зоне вторичной вытяжки, мм	Порядковый номер точки измерения	ЕКВ ₂			ЕКВ ₂ среднее
							При толщине вытяжки второй зоны 0,69 мм	При толщине вытяжки второй зоны 0,55 мм	При толщине вытяжки второй зоны 0,6 мм	
5,44 5,11 5,275*	2,09	1.1	2,52	2,8	0,69	5.1	3,03	3,80	3,48	3,43
	1,90	2.1	2,78				2,75	3,45	3,17	
	1,85	2.2	2,85				2,68	3,36	3,08	
	1,95	2.3	2,71				2,83	3,55	3,25	
	2,04	3.1	2,59				2,96	3,71	3,40	
	1,85	3.2	2,85				2,68	3,36	3,08	
	1,95	3.3	2,71				2,83	3,55	3,25	
	1,90	4.1	2,78				2,75	3,45	3,17	
	1,92	4.2	2,75				2,78	3,49	3,20	
	2,13	4.3	2,48				3,09	3,870	3,55	
	2,23	4.4	2,37				3,23	4,05	3,72	
							2,87*	3,6*	3,3*	
	* среднее значение									
**по средней толщине стенки образца изначальной										

Таблица 2. Результаты измерений и значения ЕКВ₁ и ЕКВ₂ на образце №ОБ₂.

Первичная вытяжка					Вторичная вытяжка					
Толщина стенки образца изначальная, мм	Толщина стенки образца в зоне первичной вытяжки, мм	Порядковый номер точки измерения	ЕКВ ₁ **	ЕКВ ₁ среднее	Толщина образца в зоне вторичной вытяжки, мм	Порядковый номер точки измерения	ЕКВ ₂			ЕКВ ₂ среднее
							При толщине вытяжки второй зоны 0,85 мм	При толщине вытяжки второй зоны 0,88 мм	При толщине вытяжки второй зоны 0,90 мм	
4,28 4,31 4,23 4,24 4,27*	1,9	1.1	2,25	2,5	0,85 0,88 0,90	5.1 5.2 5.3	2,24	2,16	2,11	2,08
	1,82	1.2	2,35				2,14	2,07	2,02	
	1,87	1.3	2,28				2,20	2,13	2,08	
	1,97	1.4	2,17				2,32	2,24	2,19	
	2,2	2.1	1,94				2,59	2,50	2,44	
	1,6	2.2	2,67				1,82	1,82	1,78	
	1,5	2.3	2,85				1,88	1,70	1,67	
	1,5	2.4	2,85				1,76	1,70	1,67	
	1,8	3.1	2,37				1,76	2,05	1,67	
	1,9	3.2	2,25				2,12	2,16	2,00	
	1,4	3.3	3,05				2,24	2,16	2,11	
	1,8	4.1	2,37				2,24	1,59	1,56	
	1,7	4.2	2,51				1,65	2,05	2,00	
	1,8	4.3	2,37				2,12	1,93	2,00	
							2,00	2,05	1,89	
							2,12	2,00	2,00	
							2,08*	2,01*	1,97*	
	* среднее значение									
**по средней толщине стенки образца изначальной										

Необходимо отличать двойное последовательное шейкообразование от образования двух одновременно распространяющихся шеек на образце при испытании на растяжение по ГОСТ 11262 [5]. Пример такого образца с двумя шейками представлен на рис. 2.

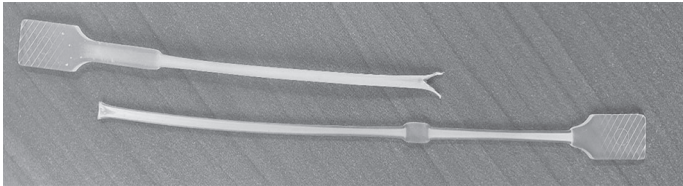


Рис. 2. Образец полимерной трубы с двумя одновременно распространяющимися шейками.

Для анализа зоны разрушения были проведены измерения толщин зон первичного и вторичного шейкообразования отобранных образцов, а также расчеты значений естественной кратности вытяжки для каждой из зон – ЕКВ₁ и ЕКВ₂. Схематические изображения разворота поверхности труб в плоскости с расположением точек измерения представлены на рис. 3–6. Результаты измерений толщин стенок всех четырех образцов в зонах первич-

ной и вторичной вытяжки, а также рассчитанные значения ЕКВ₁ и ЕКВ₂ представлены в таблицах 1–4 соответственно.

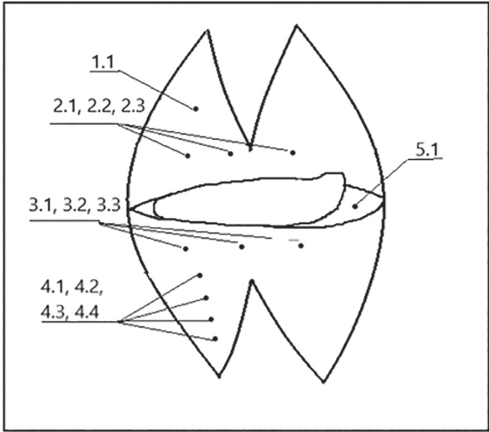


Рис. 3. Схематическое изображение зоны первичной и вторичной вытяжки образца № ОБ₁.

Таблица 3. Результаты измерений и значения ЕКВ₁ и ЕКВ₂ на образце №ОМ₁.

Первичная вытяжка					Вторичная вытяжка					
Толщина стенки образца изначальная, мм	Толщина стенки образца в зоне первичной вытяжки, мм	Порядковый номер точки измерения	ЕКВ ₁ **	ЕКВ ₁ среднее	Толщина образца в зоне вторичной вытяжки, мм	Порядковый номер точки измерения	ЕКВ ₂			ЕКВ ₂ среднее
							При толщине вытяжки второй зоны 0,15 мм	При толщине вытяжки второй зоны 0,17 мм	При толщине вытяжки второй зоны 0,14 мм	
2,20 2,21 2,22 2,21*	0,55	1,1	4,02	3,79	0,15	5.1 5.2 5.3 5.4	3,67	3,24	3,93	3,87
	0,50	1,2	4,42				3,33	2,94	3,57	
	0,50	1,3	4,42				3,33	2,94	3,57	
	0,57	2,1	3,89				3,80	3,35	4,07	
	0,66	2,2	3,35				4,40	3,88	4,71	
	0,83	2,3	2,66				5,53	4,88	5,93	
	0,57	3,1	3,89				3,80	3,35	4,07	
	0,53	3,2	4,17				3,53	3,12	3,79	
	0,63	3,3	3,51				4,20	3,71	4,50	
	0,55	4,1	4,01				3,67	3,24	3,93	
	0,67	4,2	3,29				4,47	3,94	4,79	
	0,57	4,3	3,89				3,80	3,35	4,07	
							3,96*	3,50*	4,24*	
	* среднее значение									
**по средней толщине стенки образца изначальной										

Таблица 4. Результаты измерений и значения ЕКВ₁ и ЕКВ₂ на образце №ОМ₂.

Первичная вытяжка					Вторичная вытяжка									
Толщина стенки образца изначальная, мм	Толщина стенки образца в зоне первичной вытяжки, мм	Порядковый номер точки измерения	ЕКВ ₁ **	ЕКВ ₁ среднее	Толщина образца в зоне вторичной вытяжки, мм	Порядковый номер точки измерения	ЕКВ ₂		ЕКВ ₂ среднее					
							При толщине вытяжки второй зоны 0,10 мм	При толщине вытяжки второй зоны 0,14 мм						
2,40 2,42 2,30 2,43 2,39*	0,71	1.1	3,37	3,57	0,11	5.1	7,10	5,07	6,88					
	0,62	1.2	3,85				6,20	4,43						
	0,77	1.3	3,10				7,70	5,50						
	0,68	1.4	3,51				6,80	4,86						
	0,63	2.1	3,79				6,30	4,50						
	0,63	2.2	3,79				6,30	4,50						
	0,70	2.3	3,41				7,00	5,00						
	0,65	2.4	3,68				6,50	4,64						
	0,90	3.1	2,66				9,00	6,43						
	0,69	3.2	3,46				6,90	4,93						
	0,77	3.3	3,10				7,70	5,50						
	0,65	4.1	3,68				6,50	4,64						
	0,63	4.2	3,79				6,30	4,50						
	0,60	4.3	3,98				6,00	4,29						
							6,88*	4,91*						
	* среднее значение													
	**по средней толщине стенки образца изначальной													

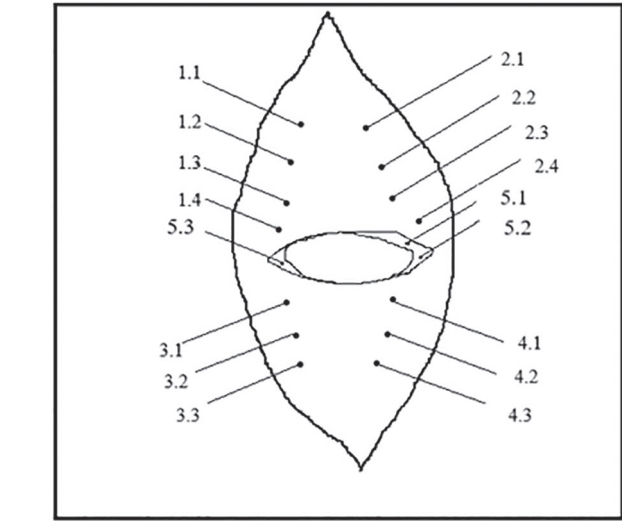


Рис. 4. Схематическое изображение зоны первичной и вторичной вытяжки образца № ОБ₂.

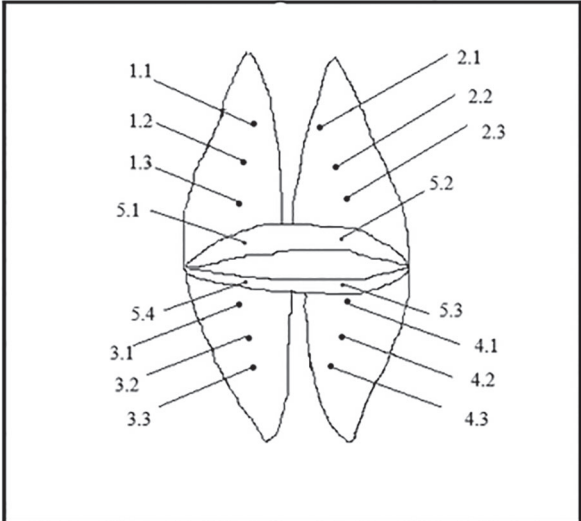


Рис. 5. Схематическое изображение зоны первичной и вторичной вытяжки образца № ОМ₁.

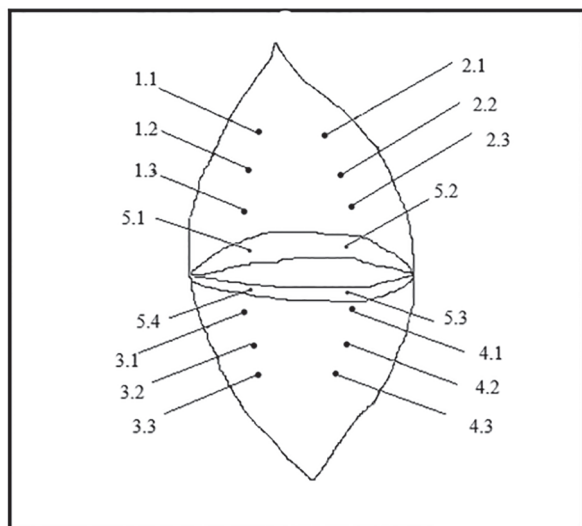


Рис. 6. Схематическое изображение зоны первичной и вторичной вытяжки образца № ОМ₂.

По результатам расчетов естественной кратности вытяжки для каждого образца было рассчитано среднее значение EKB_1 и EKB_2 с величиной стандартного отклонения (таблица 5).

Таблица 5. Средние значения EKB_1 и EKB_2 со значением стандартного отклонения.

№ Образца	EKB_1	EKB_2
ОБ ₁	$2,8 \pm 0,16$	$3,43 \pm 0,21$
ОБ ₂	$2,5 \pm 0,30$	$2,08 \pm 0,25$
ОМ ₁	$3,79 \pm 0,50$	$3,87 \pm 0,62$
ОМ ₂	$3,57 \pm 0,36$	$6,88 \pm 0,80$

Учитывая, что величина ЕКВ реализуется при вытяжке, вызывающей последовательное уменьшение толщины пленки в зоне шейкообразования, можно рекомендовать использование максимальных значений ЕКВ.

В связи с тем, что после вытяжки материал труб существенно изменял прозрачность, была определена кристалличность полиэтилена в различных областях вытяжки. В таблице 6 представлены результаты определения кристалличности методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), вычисленные согласно [6].

Таблица 6. Значение кристалличности образцов труб.

№ Образца	Степень кристалличности в различных областях образцов, %					
	Тело трубы		Зона первичной вытяжки		Зона вторичной вытяжки	
	1-й нагрев	2-й нагрев	1-й нагрев	2-й нагрев	1-й нагрев	2-й нагрев
ОБ ₁	51,73	49,86	51,74	51,16	50,09	50,15
ОБ ₂	50,05	50,39	42,78	44,33	50,18	50,74
ОМ ₁	50,15	51,99	32,35	34,23	37,26	43,17
ОМ ₂	51,78	52,19	48,47	51,65	51,23	52,57

Как видно из таблицы 6, на образцах ОБ₂ и ОМ₁ происходит потеря кристалличности при переходе к зоне первичной вытяжки на 15% и 35% соответственно. При этом в образце ОМ₁ при переходе от зоны первичной вытяжки к зоне вторичной вытяжки кристалличность несколько увеличивается – на 8%. Таким образом, можно сказать, что в процессе двойного последовательного шейкообразования степень кристалличности материала образцов труб в целом сохраняется.

Авторы статьи выражают благодарность начальнику отдела исследования структуры и свойств полимерных материалов, Иванову А.Н. за помощь в определении кристалличности.

Литература

- Дементьева А.Г., Кузнецов А.В., Веселова Е.В., Потапов Е.Э., Коврига В.В. Исследование роста эластичности в газовых полиэтиленовых трубах при длительном старении. – Пластические массы, 2022, №11–12, с. 51–52.
- Пластическое разрушение полиэтиленовых труб с различными сроками эксплуатации. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук В.Г. Колбая. Москва, 2017.
- Стандарт ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК» СТО 73011750-012-2014 Пластмассы. Метод определения параметров зоны пластического разрушения полимерных труб.
- ГОСТ ISO 18488-2023 Полиэтилен для трубопроводных систем. Определение модуля деформационного упрочнения.
- ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012) Пластмассы. Метод испытания на растяжение
- ГОСТ Р 56757-2015 (ИСО 11357-7:2002) Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Часть 7. Определение кинетики кристаллизации