

ствует увеличению адгезии между волокнами и связующим. Образующаяся при этом пленка положительно влияет на физико-механические и трибологические свойства. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Как видно из полученных результатов, наблюдаемое снижение деформации при использовании заявляемых модификаторов приводит к увеличению жесткости всей композиции в целом, при этом наблюдается улучшение адгезионной прочности к органопластику. Это обстоятельство и может служить определяющим фактором не только в улучшении тренияционных характеристик, но и в улучшении надежности и долговечности всей системы в целом.

Выводы

1. Разработаны рецептурные соотношения композиционных составов для модификации поверхности антифрикционных покрытий.
2. Показано, что наличие модифицирующего слоя на поверхности органопластика приводит к улучшению физико-механических и трибологических свойств композиционных составов.

Работа выполнена при финансовой поддержке внутреннего гранта Южного федерального университета №213.01-2014/005ВГ

Литература

1. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. СПб.: Изд-во "НОТ", 2013. - 822 с.
2. Дашибев И.З. и др. Антифрикционное изделие. А.С. СССР №1808051, МПК F16C 33/04, 1993
3. Фадеева В.М., Железина Г.Ф., Егорова Н.А. Препрят антифрикционного органопластика и изделие, выполненное из него Патент РФ №2404202, МПК C0815/24, 2010
4. Практикум по коллоидной химии и электронной микроскопии под ред. Проф. Воюцкого С.С. М.:Химия, 1974, 224 с.
5. Сухоленцев Э.А., Сухоленцева Т.В., Зайченко С.Б., Сухоленцев К.Э., Владимирская Н.Б. // Пласт.массы 2016 №1-2, с. 58-60

УДК 678

Анализ зоны пластического разрушения при двухосном растяжении полимерных труб из сшитого и термопластичного полиэтилена

В.Г. КОЛБАЯ, В.В. КОВРИГА, И.Н. ПЯТИН

ООО "Группа "ПОЛИПЛАСТИК"
kovriga@polyplastic.ru

Изучены параметры зоны пластического разрушения труб из термопластичного и сшитого полиэтилена при гидравлических испытаниях. Установлено существование зон первичной и вторичной вытяжки для сшитого полиэтилена.

Ключевые слова: полимерные трубы, зона пластического деформирования, разрушение, естественная кратность вытяжки, действительная кратность вытяжки.

Parameters of the plastic zone of fraction of pipes was studied for thermoplastic and cross-linked polyethylene in the hydraulic tests. The existence of areas of primary and secondary extension for cross-linked polyethylene was establish.

Keywords: plastic pipes, zone of plastic deformation, rupture, natural extension ratio, real extension ratio

Пластическое разрушение полимерных труб является важным элементом анализа общей картины разрушения полимерных трубопроводов и их сварных соединений.

Пластическое разрушение при испытании на прочность внутренним давлением характеризуется формированием зоны вытяжки. Анализ зоны вытяжки может быть полезен при оценке качества труб.

В связи с этим в ООО "Группа ПОЛИПЛАСТИК" был разработан стандарт организации 73011750-012-2014 "Пласт.массы. Метод определения параметров зоны пластического разрушения полимерных труб" [1]. Основная идея, заложенная в этом методе – сравнение параметров пластической деформации, развивающейся при одноосном растяжении, с параметрами пластического разрушения, наблюдающимися при двухосном нагружении, при разрушении труб внутренним давлением.

В [2, 3] были рассмотрены два механизма растяжения: одноосное на примере лопаток и двухосное на примере труб. В случае одноосного нагружения шейка представлена локальным уменьшением площади поперечного сечения лопатки и увеличением длины рабочей части. В случае двухосного растяжения шейка вырождается в зону пластического деформирования, которая также характеризуется уменьшением площади поперечного сечения зоны пластического деформирования (утоньшением толщины стенки трубы) с одновременным увеличением площади поверхности зоны деформирования.

В обоих случаях была определена естественная кратность вытяжки и дано определение этому параметру – это самоизвестно возникающее локальное удлинение материала, образующееся на стадии деформирования после достижения предела текучести, которое определяется исходной структурой материала.

При сравнении механизмов [4] было установлено, что механизм двухосного растяжения проходит те же стадии, что и при одноосном растяжении:

1. Деформирование до достижения предела текучести, характеризующееся естественной кратностью вытяжки (локальным сужением),
2. Достижение предела текучести и распространение естественной кратности вытяжки (шейки) по образцу,
3. Продолжение распространения шейки до разрыва образца, характеризующееся действительной кратностью вытяжки.



Рис. 1. ПЭ80.



Рис. 2. ПЭ100.



Рис. 3. ПЭ100-RC/ПЭ100-RC.

В качестве объектов исследования были избраны образцы из однослоинных труб из полиэтилена типа ПЭ80 и ПЭ100, и

образец из двухслойной трубы ПЭ100-RC/ПЭ100-RC, характеристики которых представлены в таблице 1. Поэтому представляло интерес исследовать по методу, описанному в СТО 73011750-012-2014 "Пластмассы. Метод определения параметров зоны пластического разрушения полимерных труб", образцы из другого материала, например, из сшитого полиэтилена (PEX), сопоставить значения их естественной кратности вытяжки.

Картинки пластического разрушения для несшитых полиэтиленов представлены на рисунках 1–3, для сшитых полиэтиленов – на серии картинок рисунка 4.

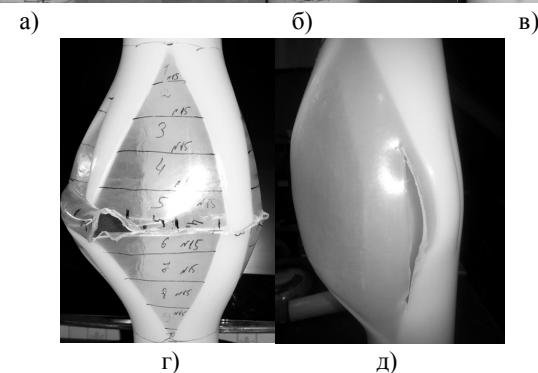
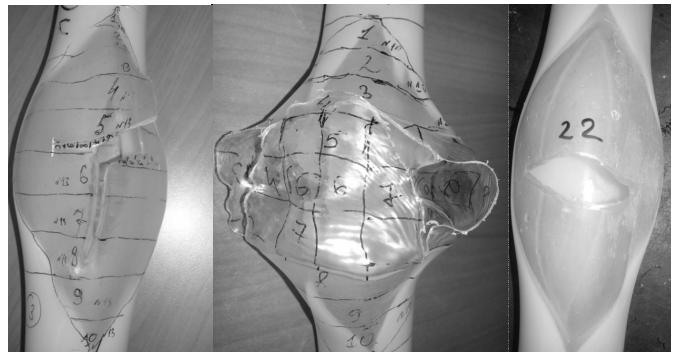


Рис. 4. РЕХ.

При анализе зон пластического разрушения несшитых и сшитых полиэтиленов, замечено, что для сшитых полиэтиленов характерно формирование сразу нескольких зон пластического деформирования, рисунок 4. При этом можно выделить основную зону пластического деформирования, которая сформировалась первой, и вторичную, которая сформировалась поверх основной зоны, а) – г) рисунок 4.

Вторичная зона пластического деформирования может располагаться как поперёк основной зоны деформирования, рисунок 4 а), б), г), так и вдоль неё, рисунок 4 в). В случае образца, представленного на рисунке 4 д), вторичная зона не успела развиться.

Схематично типы формирования зон пластического деформирования можно представить так, как показано на рисунке 5.

Расположение трещины по отношению к зоне пластического деформирования схематически представлено на рисунке 6.

Таблица 1. Характеристики зон пластического деформирования образцов труб из полиэтилена.

Параметр	ПЭ80	ПЭ100	ПЭ100-RC/ ПЭ100-RC
Марка	PE4PP25B	2HT11-9	Hostalen CRP100 Resist чёрный/ Hostalen CRP100 Resist синий
Максимальное давление, Р, МПа	5	4	4
Давление разрушения, Р, МПа	3	2	7
Максимальную остаточную деформацию вне зоны пластической деформации, $\varepsilon_{ост.н}$, %	125	129	136
Максимальную ширину пластической деформации, $L_{широк.}$ мм	142	115	203
Предел текучести, σ_m , МПа	23	22	29

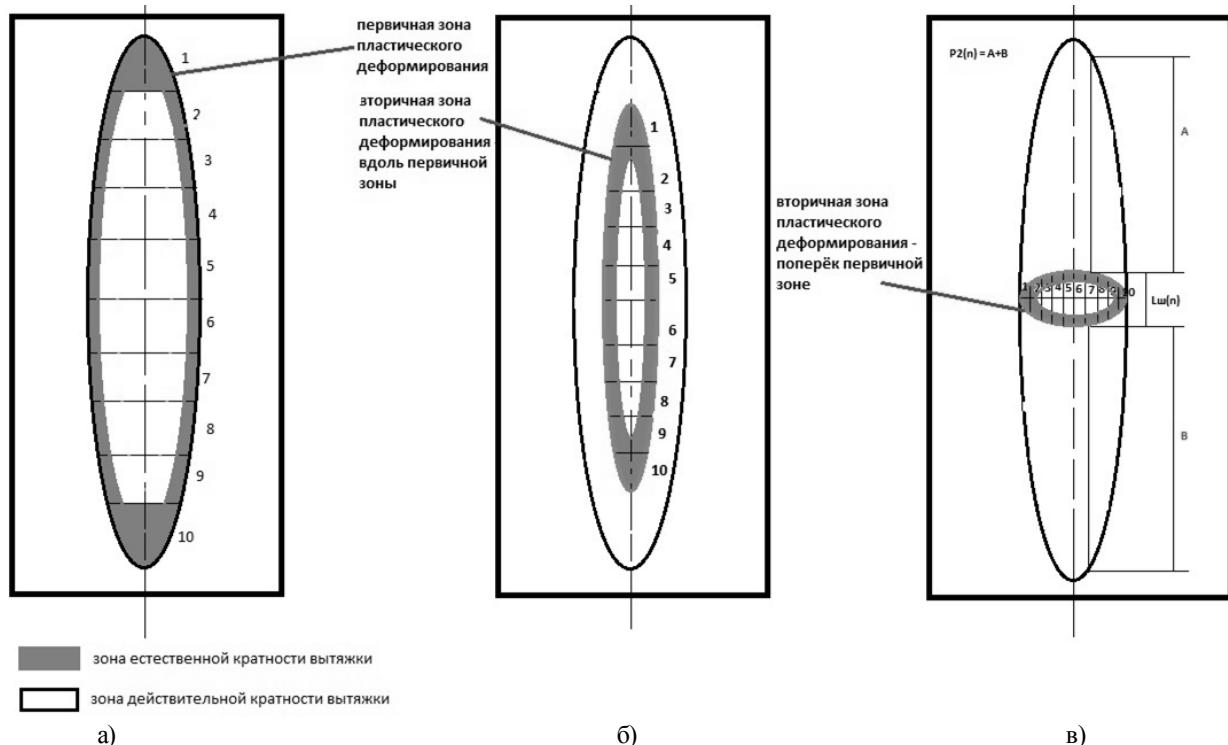


Рис. 5. Схемы формирования зон пластического деформирования и расположение зон естественной и действительной кратностей вытяжки: а) основная зона пластического деформирования, б) односторонние основная и вторичная зоны пластического деформирования, в) взаимно перпендикулярные основная и вторичная зоны пластического деформирования.

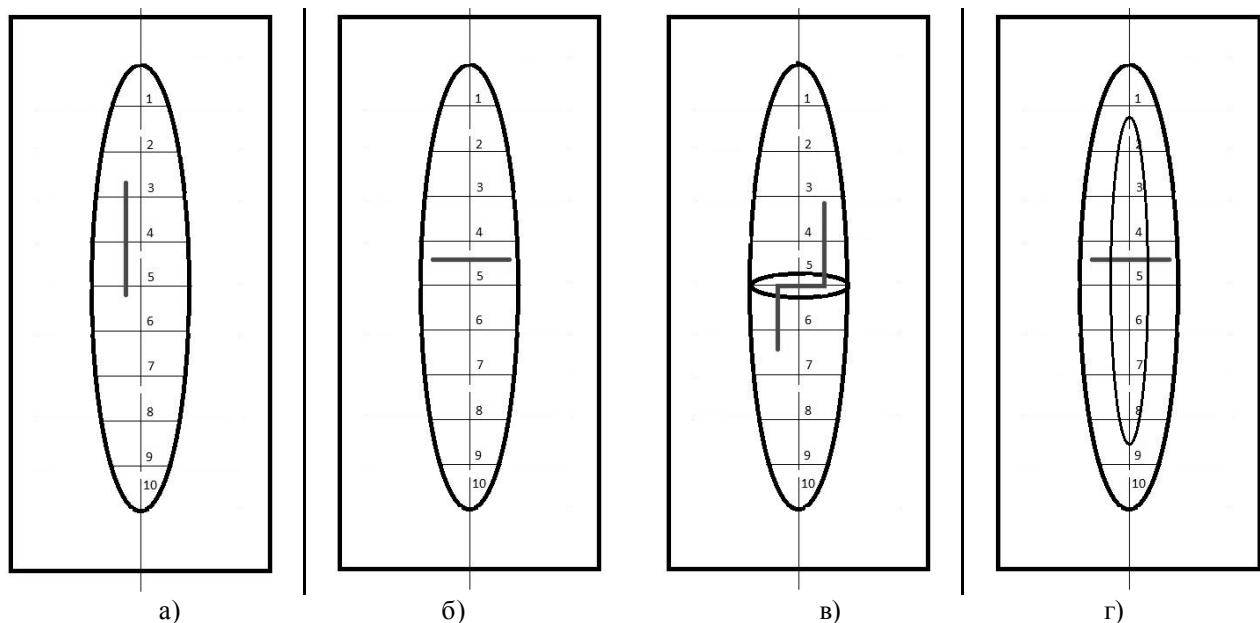


Рис. 6. Схемы разрушения образцов труб: а) вертикальное расположение трещины в основной зоне пластического деформирования, б) горизонтальное расположение трещины в основной зоне пластического деформирования, в) расположение трещины одновременно в основной и во вторичной зонах пластического деформирования при их перпендикулярном расположении по отношению друг к другу, г) горизонтальное расположение трещины одновременно в основной и во вторичной зонах пластического деформирования при их соосном расположении по отношению друг к другу.

Как правило, для несшитых полиэтиленов характерно расположение трещины по типу а) и б), для сшитых – по типу в) и г)

Особенный интерес представляют случаи в) и г). В случае в) формируются зоны во взаимно перпендикулярных направлениях, когда основная зона пластического деформирования перпендикулярна вторичной зоне. При этом разрыв происходит сначала во вторичной зоне и распространяется на первичную зону.

В случае г) напряжение во вторичной зоне накладывается на напряжение в основной зоне деформирования, что приводит к разрыву поперёк оси деформирования, и трещина располагается горизонтально.

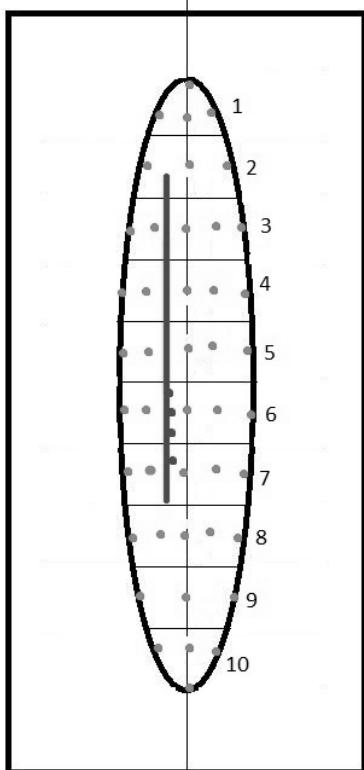
В соответствии со стандартом организации определены параметры зоны пластического разрушения, естественная и действительная кратность вытяжки. Естественная кратность вытяжки определялась в переходных – крайних зонах, где происходит изменение толщины стенки (согласно схемам

рисунка 5). Действительная кратность вытяжки определялась в зоне, где исходная толщина стенки образца уже перешла в зону пластического деформирования и достигла своего минимального значения. Результаты приведены в таблице 2.

Примеры распределения толщин стенок в соответствии со схемами разрушения образцов (рисунок 6 а) – г) для образцов из спитого материала представлены на рисунке 7 а) – г). Значком О отмечены точки измерений для основной зоны, значком Х – для вторичной зоны.

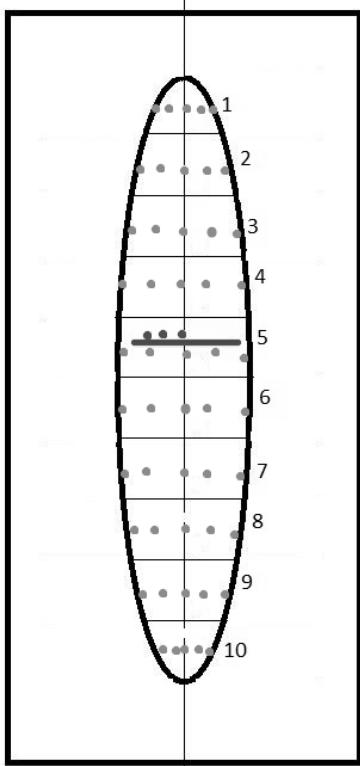
Табл. 2. Действительные и естественные кратности вытяжки.

Тип ПЭ	Естественная кратность вытяжки		Действительная кратность вытяжки по толщине стенки	
	Основная зона	Второстепенная зона	Основная зона	Второстепенная зона
ПЭ80	4	-	6	-
ПЭ100	5	-	6	-
ПЭ100-RC	3	-	6	-
PEХ	1-2	1	3	1



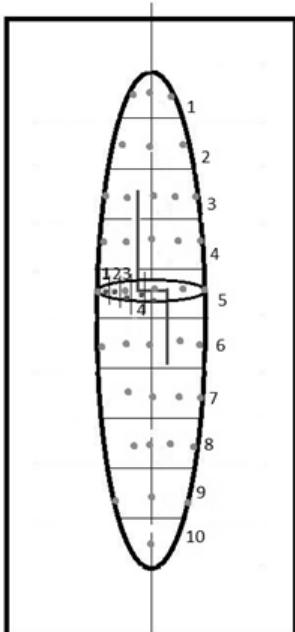
распределение толщин в зонах пластического деформирования, мм						
№	основная				№	вторичная
	1	2	3	4		
1	4,4	4,0	5,2			1
2	4,3	3,5	4,3			2
3	3,9	3,8	3,3	3,6	4,4	3
4	3,5	3,3	3,4	3,2	4,3	4
5	3,9	3,2	3,1	3,1	4,2	5
6	4,1	3,1	2,9	3,1	4,1	6
7	4,1	3,3	3,4	3,3	4,2	7
8	4,6	3,5	3,4	3,6	5,0	8
9	4,7	3,6	4,7			9
10	4,7	4,1	4,8			10
			5,1			

Рис. 7 а). Распределение толщин стенок в основной зоне пластического деформирования при вертикальном разрушении без явного образования вторичной зоны пластического деформирования.



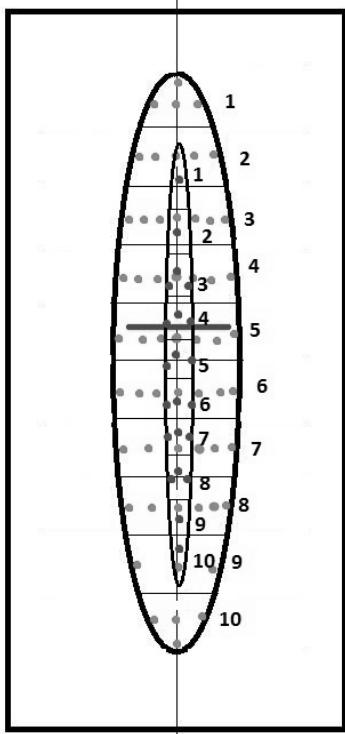
распределение толщин в зонах пластического деформирования, мм							
№	основная					№	вторичная
	1	2	3	4	5		
1	4,3	4,0	3,3	3,5	3,8		1
2	3,7	4,4	3,5	3,1	3,3		2
3	3,9	2,7	2,7	3,4	3,8		3
4	3,7	2,8	2,5	2,7	3,2		4
5	3,4	2,6	2,5	2,6	3,5		5
6	3,6	2,5	2,5	2,6	3,6		6
7	3,6	2,7	2,7	2,7	3,5		7
8	3,5	2,8	2,7	2,8	3,4		8
9	3,7	3,0	2,9	2,8	3,4		9
10	4,2	3,4	3,3	3,2	4,0		10

Рис. 7 б). Распределение толщин стенок в основной зоне пластического деформирования при горизонтальном разрушении без явного образования вторичной зоны пластического деформирования.



распределение толщин в зонах пластического деформирования, мм						
№	основная				№	вторичная
	1	2,2	2,2	2,4		
1						1,6
2		2,0	1,9	1,9		0,7
3	1,8	1,8	1,9	1,8	1,8	0,6
4	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	0,4
5	1,7	1,7	1,6	1,5	1,7	0,5
6	1,7	1,6	1,6	1,6	1,5	
7		1,8	1,7	1,7	1,5	
8		1,9	1,8	1,8	2,0	
9		1,9	2,1	2,2		
10			2,2			10

Рис. 7 в). Распределение толщин стенок в основной и вторичной зонах пластического деформирования. Расположение трещин одновременно в основной и во вторичной зонах пластического деформирования при их перпендикулярном расположении по отношению друг к другу.



распределение толщин в зонах пластического деформирования, мм						
№	основная				№	вторичная
	2,6					
1		2,2	1,9	2,1		1,9
2	2,2	1,9	1,7	2,1	2,3	1,7
3	2,1	1,9	1,7	1,7	1,6	1,8
4	1,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7
5	1,8	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5
6	1,8	1,6	1,7	1,6	1,5	1,6
7	1,9	1,7	1,6	1,6	1,6	1,7
8	2,1	1,7	1,7	1,7	2,2	1,7
9	2,4	1,8	2,1	1,6	1,8	2,2
10			2,3	2,0		2,1
			2,7			

Рис. 7 г). Распределение толщин стенок в основной и вторичной зонах пластического деформирования при горизонтальном расположении трещины.

Выходы:

- Исследована зона пластического разрушения труб из термопластичного и сшитого полиэтилена. Выявлено наличие первичной и вторичной зон пластического разрушения
- Установлено, что для сшитого полиэтилена разрушение при гидравлических испытаниях происходит, как правило, в зоне вторичной вытяжки.
- Отмечено, что размерная стабильность во вторичных зонах, является свидетельством их формирования через естественную кратность вытяжки.

Литература

- В.А. Метелкин, В.Г. Колбая, В.В. Коврига СТО 73011750-012-2014 "Пластмассы. Метод определения параметров комплексной и накопительной диагностики полиэтиленовых труб с использованием образцов, выделяемых при установке седловых отводов"/ Группа ПОЛИПЛАСТИК
- В.Г. Колбая, В.В. Коврига "Естественная кратность вытяжки базовая характеристика зоны пластического разрушения"/ Пластичные массы, №7-8, 2016. С.61-63
- В.Г. Колбая, В.В. Коврига "Пластическое разрушение в полиэтиленовых трубах с различным рабочим ресурсом" // Полимерные материалы и технологии. Т.2 (2016), №4. С.51-56
- В.Г. Колбая, А.Н. Сеньковский, Е.А. Тришина, В.В. Коврига "Об аналогии в виде кривой давления при гидравлическом нагружении полиэтиленовых труб и кривой растяжения"// Пластичные массы, №1-2, 2015. С.31-34