

Использование методов оценки сопротивления раздиру при технологических исследованиях

Using of methods for assessing tear resistance in technological research

A.C. ВАСИЛЬЕВА, В.В. КОВРИГА

A.S. VASILIEVA, V.V. KOVRIGA

ООО «Группа ПОЛИМЕРТЕПЛО», Москва, Россия

POLYMERTEPLO Group, Moscow, Russia

kovriga@polyplastic.ru

Описаны три группы методов испытаний на раздир: 1. Раздир при растяжении с нанесением специального надреза. 2. Непрерывный раздир. 3. Непрерывный раздир с использованием раздирающего элемента. Показано, что методики определения сопротивления раздиру позволяют выявить характеристики материалов с учётом ориентационных процессов, происходящих в материалах при нагружении. Существующий комплекс методов позволяет оценить по величине сопротивления раздиру низкомолекулярные термопласты и эластомеры.

Ключевые слова: раздир, раздир на образцах с надрезом, непрерывный раздир на раздвоенных образцах, непрерывный раздир на раздвоенных образцах раздирающим элементом, ориентационное упрочнение, низкомолекулярные термопласты и эластомеры.

Three groups of tear test methods are described: 1. Tear in tension with application of a special notch. 2. Continuous trouser tear. 3. Continuous trouser tearing using tear element. It is shown that the methods of determining the tear resistance allow revealing the properties of materials taking into account the orientation processes occurring in the materials under loading. Current set of methods allows assessment of low modulus thermoplastics and elastomers by tear resistance.

Keywords: tear, tear on notched samples, continuous tear on split samples, continuous tear on halve samples of tear element, the orientation strengthening, low modulus thermoplastics and elastomers

DOI: 10.35164/0554-2901-2020-3-4-37-41

Среди методов механических испытаний полимерных материалов особое место занимают испытания на раздир. Испытания на раздир являются разновидностью прочностных испытаний и выявляют особенности механического поведения материала в условиях его разрушения с концентратором напряжения. Поэтому испытания на раздир первоначально выполнялись по схемам обычных прочностных испытаний с формированием на образце участка с высокой концентрацией напряжения и фактически соответствовали механическим испытаниям, которые проводятся на образцах с надрезом. Эти испытания составили первую группу так называемых «одномоментных» испытаний, в которых определялся показатель максимального усилия, достигаемого в момент разрушения образца с надрезом. Показатель сопротивления раздиру определяется отношением этого усилия к толщине образца в кг/см. Испытания на раздир наиболее удобно проводить на резинах, в условиях, когда материал эластичен, оценка механических свойств при раздире часто позволяет получить более чёткие данные по влиянию структуры и состава материала на прочностные свойства. По этим причинам история использования испытаний на раздир у шитых эластомеров насчитывает десятки лет [7, 9–14, 23, 25].

При определении показателя сопротивления раздиру важнейшей была его зависимость от величины нанесенного дефекта (рис. 1 и 2).

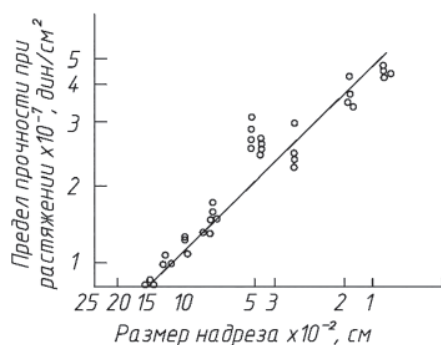


Рис. 1. Зависимость [46] предела прочности при растяжении от размеров надреза для наполненного вулканизированного силиконового эластомера.

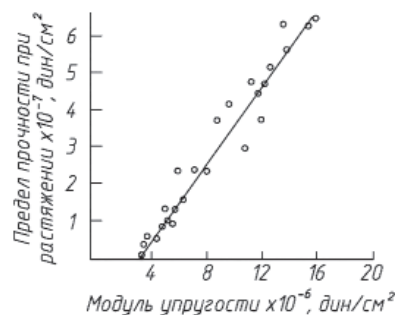


Рис. 2. Зависимость [46] предела прочности при растяжении от модуля Юнга для силиконовых эластомеров, содержащих сантоцел (пористая коллоидная кремнекислота).

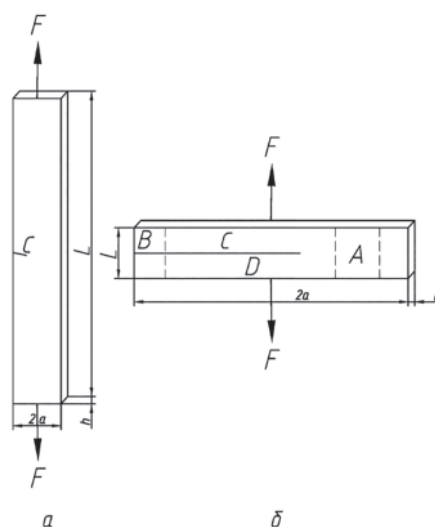


Рис. 3 (а, б). Образцы, применяемые для испытаний на раздир: а – с малым краевым надрезом; б – деформируемые при раздире «по типу чистого сдвига». А – область чистого сдвига; В – область недеформированного состояния; С, D – области сложного напряжённого состояния. Обозначения: F – сила, Н/мм; 2a – ширина, мм; L – длина, мм; c – длина надреза, мм; h – толщина образца, мм.

В России основные виды испытаний на раздир представлены в стандарте ГОСТ 262-93, который включает 3 метода [1–6]. Отметим, что эти 3 метода представлены и в стандарте ИСО 34-79. В соответствии с требованиями ГОСТ 262-93 образец с концент-

ратором напряжения закрепляют в зажимах разрывной машины и растягивают со скоростью 500 мм/мин. На рис. 3 представлены образцы для испытаний.

В образцах, деформируемых «по типу чистого сдвига» (рис. 3б), ширина $2a$ значительно больше длины L (расстояние между зажимами): $2a \gg c \gg L \gg h$. Когда происходит прирост длины надреза на Δc , объём резины $Lh\Delta c$ из области чистого сдвига А переносится в область недеформированного состояния В. Область D сложноподвиженного состояния «стационарна».

По ГОСТ 262-93 используются также образцы, показанные на рисунках 4–8.

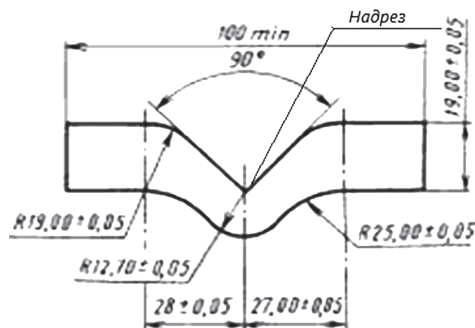


Рис. 4. Размеры углового образца для резин.

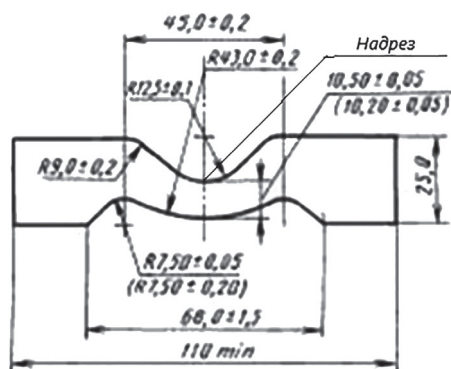


Рис. 5. Размеры серповидного образца для резин.

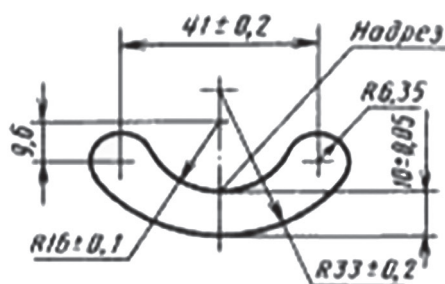


Рис. 6. Размеры дугообразного образца для резин.

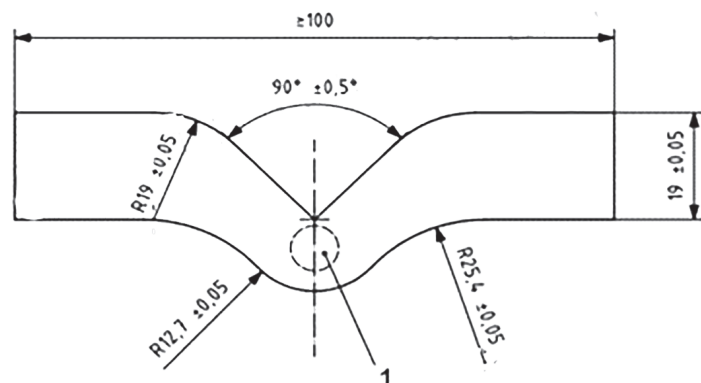


Рис. 7. Размеры углового образца по BS EN ISO 8067:2008.

1 – место измерения толщины заготовки, вырезанной с помощью штампа.

В стационарном режиме при увеличении длины надреза c на Δc объём резины $2\Delta cha$ (рис. 10) «переносится» из недеформированной области В в область простого растяжения А, проходя стационарную область D сложноподвиженного состояния. При этом

работа затрачивается на раздир и на «перенос» резины в область А, эквивалентный простому растяжению:

$$2F \Delta c \lambda = Hh \Delta c + 2haW_{op} \Delta c$$

W_{op} – удельная работа простого растяжения.

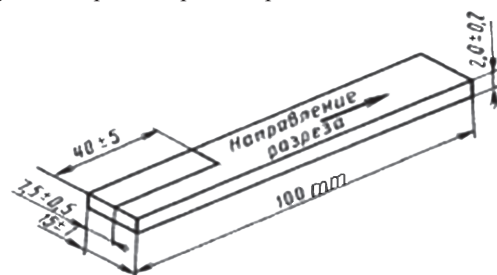


Рис. 8. Размеры раздвоенного образца.

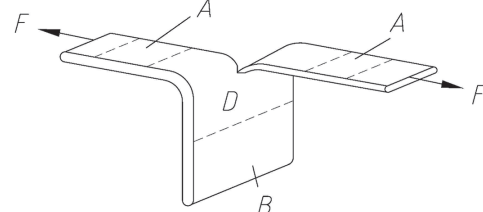


Рис. 9. Образцы, деформируемые при раздире «по типу простого растяжения»: F – сила; А – области простого растяжения; В – недеформированная область; D – область сложноподвиженного состояния.

В некоторых случаях при гладком раздире можно подобрать размеры образцов таким образом, что растяжение λ в «плечах» образцов будет близко к единице, т.е. $W_{op} \rightarrow 0$. В этом случае характеристическая энергия раздира вычисляется непосредственно по стационарному значению силы F (или ее усредненной величины) из выражения:

$$H = 2F/h$$

Аналогичные методики испытаний были предложены [33] и для тканей с резиновым и полимерным покрытием. На рис. 10 представлены образцы, изготовленные из прорезиненных тканей.

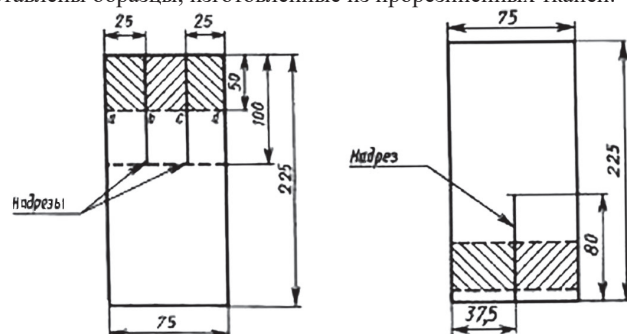


Рис. 10. Образцы для испытаний на сопротивление раздиру ГОСТ 30304-95 (ИСО 4674-77) Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием.

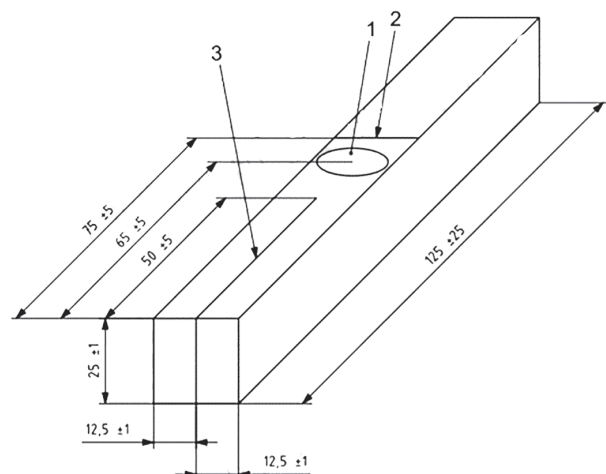


Рис. 11. Образец по BS EN ISO 8067:2008 (пена). 1 – площадка измерения толщины, 2 – граница, определяющая возможную длину раздира, 3 – надрез в образце, выполняется с учётом преобладающего направления вспенивания.

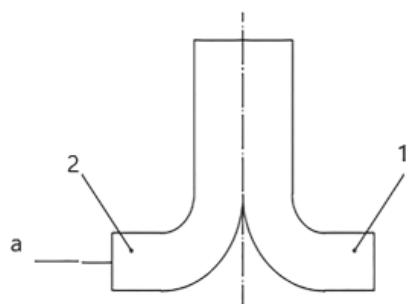


Рис. 12. Образец по BS EN ISO 8067:2008 (пена). 1 – место крепления образца в фиксированном зажиме; 2 – место крепления образца в подвижном зажиме; а – направление приложенной силы.

Кроме того, показатели сопротивления раздиру на раздвоенных образцах были предложены для испытаний ячеистых материалов.

Испытание по схеме простого растяжения на раздвоенном образце существенно отличается от других испытаний на раздир [19, 48].

Испытание по схеме простого растяжения на раздвоенном образце лежит в основе методик непрерывного раздира [28, 29].

На рис. 18 приведена кривая изменения усилия в процессе раздира. Определение показателей сопротивления раздиру производится по схеме анализа мультипликативных кривых ISO 6133:2015 [18].

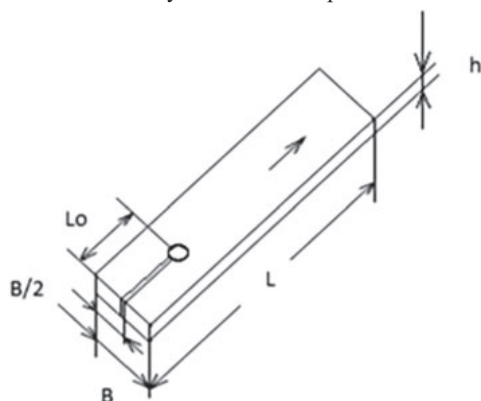


Рис. 13. Образец, изготовленный из плёночных или тонколистовых изделий.

Образец, представленный на рисунке 14, изготавливают из пластины или изделия, например, трубы. В этих образцах раздир проводят вдоль канавки, отфрезерованной в направлении большей оси, с тем чтобы толщина материала на дне канавки позволяла проводить раздир без разрушения раздирающей проволоки. После обработки остаточная толщина образца в направлении раздира должна быть не менее 0,5 мм.

Следует отметить, что разработанные методы являются естественным продолжением методических работ по оценке прорыва шва ниткой и прокалывания образца иглой с нитью, а также вырывания иглы, существовавших в технике испытаний резин.

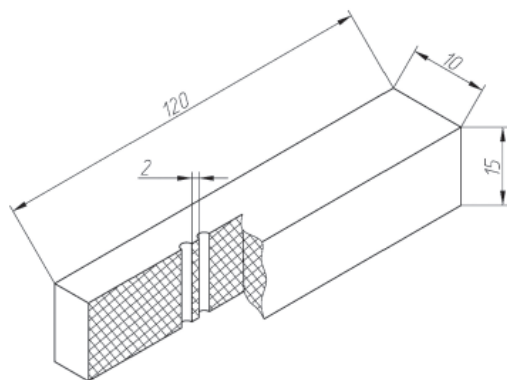


Рис. 14. Образец, изготовленный из пластины или изделия.

Вопрос о соотношении резания и раздира был рассмотрен В.В. Новиковым [26]. При этом он отметил, что при движении цилиндрического металлического элемента в материале возникает зона пластической деформации, которая движется перед металлической поверхностью и осуществляет разделение объёма материала по схеме крейзообразования.

Для выполнения раздира армирующим элементом разработаны два метода. Один из них приведён в СТО 73011750-009-2012 [9–10] (рис. 15), второй – метод оценки сопротивления раздиру в объёме изделия, базирующийся на идее двух отверстий – приведён в патенте №2698105 (рис. 16) [16].

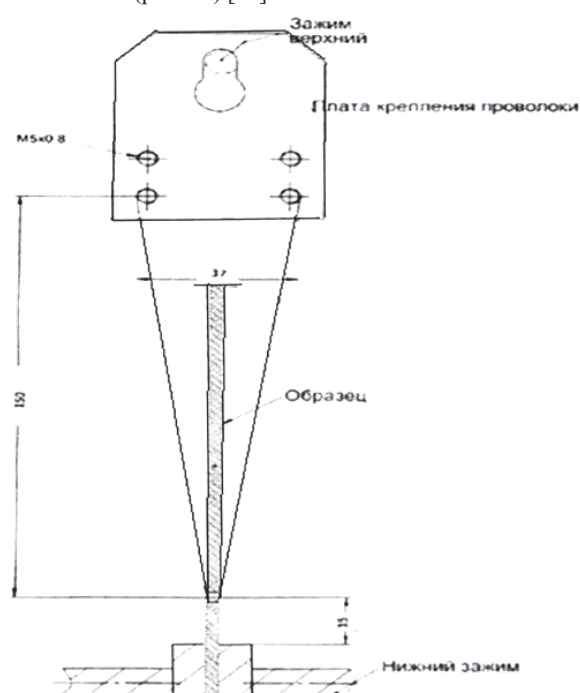


Рис. 15. Схема определения сопротивления раздиру согласно СТО 73011750-009-2012. Метод определения сопротивления раздиру армирующим элементом при различных температурах на раздвоенных образцах.

Указанные методы стандартизованы в документах [9–10] и применены для оценки температурных областей использования тепловой трубы.

Установлено, что наряду с основными материалами, которые характеризовались постоянной скоростью снижения прочности с увеличением температуры, материалы типа PE-RT показывали наличие зоны ориентационного упрочнения с различными темпами изменения сопротивления раздиру от температур.

Для анализа температурной зависимости и определения темпов падения прочности применена методика нормирования кривой нагрузка-время и кривой нагрузка-температура по величине усилия раздира при температуре 80°C.

Для ПЭ марки 1878, используемого для сшивания, зона ориентационного упрочнения отсутствует – как для материала, спрессованного без сшивания, так и для сшитого полиэтилена. Температурная зависимость сопротивления раздиру отличается наличием двух темпов падения прочности для линейного полиэтилена и одного темпа падения для сшитого.

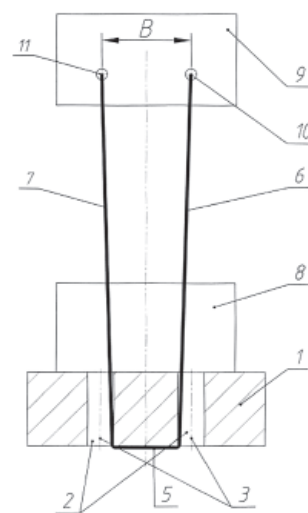


Рис. 16. Схема определения сопротивления раздиру на изделиях из полиэтилена.

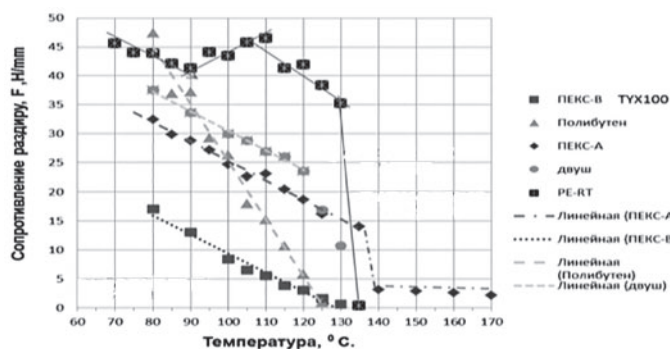


Рис. 17. Зависимость сопротивления раздиру от температуры.



Рис. 18. Кривая раздира при постоянной температуре.

При этих испытаниях выявляется структурная чувствительность метода раздира:

- гладкий, обычно происходящий без отклонения от первоначального направления раздира и без существенных колебаний нагрузки;
- толчкообразный;
- узловатый, при котором неоднократно изменяется направление разрушения и происходят наиболее резкие колебания нагрузок.

Структурная чувствительность метода оценки раздира на раздвоенном образце для создания термочувствительного метода. Температурную зависимость сопротивления раздиру можно снимать либо непрерывно, фиксируя значения сопротивления раздиру, либо ступенчато.

Пример кривой с непрерывным изменением температуры с её фактическим измерением приведен на рис. 19.



Рис. 19. Кривая раздира в условиях постоянно повышающихся температур. Цифры на кривой – температура (°C) в момент измерения усилия раздира.

На рис. 20 изображены термочувствительные кривые, которые показывают, как меняется прочность материалов в различных тем-

Таблица 1. Основные методы испытаний на раздир.

Назначение	Тип разрушения	Номер рисунка	Используемый стандарт
Определение прочности резин при раздире	1. Однократный раздир 2. Непрерывное разрушение	3–7	ГОСТ 262-93
Определение прочности пластмасс при раздире	1. Однократный раздир 2. Непрерывное разрушение	15, 16	СТО 73011750-009-2012 Патент 2698105
Определение прочности пленок при раздире	1. Однократный раздир 2. Непрерывное разрушение	8, 9	ГОСТ 26128-84
Определение прочности прорезиненных тканей при раздире	Непрерывный раздир	10	ГОСТ 30304-95; ISO 4674-77; ISO 13937-4:2000 Determination of tear force of tongue – shaped test specimens (double tear test)
Определение прочности ячеистых материалов при раздире	Непрерывный раздир	11, 12	BS EN ISO 8067:2008
Определение прочности волокон при раздире	Непрерывный раздир		ASTM D 624-54 1. Испытание волокна на раздир при одиночном нагружении 2. Испытание волокна на раздир по схеме крыльев

пературных диапазонах. На рис. 21 показано влияние структуры ПЭТФ плёнки на прочность при раздире в различных диапазонах температур.

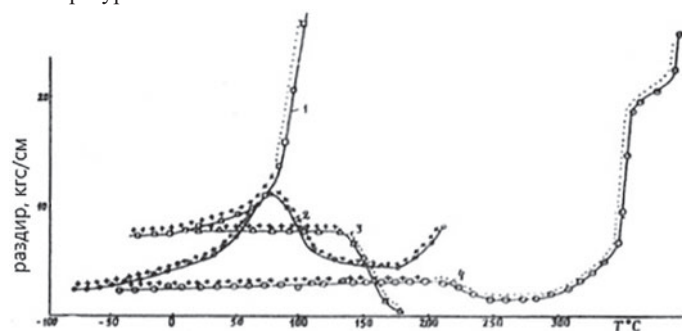


Рис. 20. Термочувствительные кривые: 1 – для ПВХ плёнки, 2 – для двухосноориентированной ПЭТФ плёнки, 3 – для ПК плёнки, 4 – для ПИ плёнки. Над температурными зависимостями показаны области, соответствующие различным видам раздира.

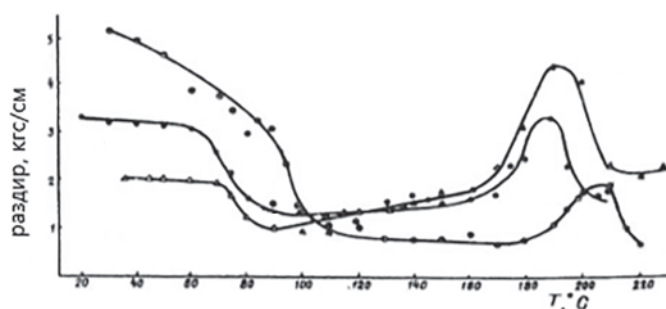


Рис. 21. Зависимость энергии раздира от температуры (термочувствительные кривые) для второй группы режимов вытяжки ПЭТФ плёнки. Температура вытяжки 80°C, удлинение при вытяжке: 300%, 500%, 600%.

Третья группа методов испытания на раздир была разработана для материалов, которые не обладают эластичностью, обеспечивающей испытания согласно ГОСТ 262-93. Использование раздирающего элемента, который ведёт раздир по направлению движения, соответствует обычно используемым параметрам, при которых считается, что элементы круглой формы, вызывающие раздир, не вызывают высоких сдвиговых напряжений, наблюдающихся при резании. В этом случае кромка образца остаётся высокодеформированной. В литературе проанализированы ситуации, связанные с движением тупых предметов в полимерном материале [26]. Характер разрушения, в том случае, когда он определяется раздиром или резанием, существенно различается по виду поверхностей разрушения. Обычно понятия резание и раздир полностью разделяются и на бытовом уровне, поскольку разрушение при раздире всегда характеризуется рваными кромками, в то время как разрушение при резании кромки, по которым разделяется образец, как правило, ровные.

Вопрос о соотношении резания и раздира был рассмотрен В.В. Новиковым [26]. При этом он отметил, что при движении

цилиндрического металлического элемента в материале возникает зона пластической деформации, которая движется перед металлической поверхностью и осуществляет разделение объёма материала по схеме крейзообразования.

Были разработаны методики определения температурных границ использования полимерных труб. Для этого была разработана схема расчёта температурных коэффициентов падения прочности при повышении температуры. На основе разработанных методик были выделены зоны с различным темпом падения прочности (сопротивления раздиру) и было установлено, что есть четыре зоны падения прочности [27]. На некоторых материалах установлены зоны ориентационного упрочнения, вызывающего повышение прочности в области температур 105–125°C.

Таким образом, с помощью испытаний методом определения прочности на раздир удастся установить:

- существенное различие марок полиэтилена по темпу падения прочности;
- наличие зоны ориентационного упрочнения, что характерно не только для материалов типа PE-RT, но и других видов полиэтилена;
- подавление процессов ориентационного упрочнения при раздире при сшивании.

Таким образом, методы определения сопротивления раздиру в настоящее время разработаны для полимерных материалов и изделий. Сводные данные представлены в таблице 1.

Данные таблицы 1 ярко иллюстрируют широкие возможности применения показателей сопротивления раздиру при отработке технологических процессов.

Литература

1. ГОСТ 262-93 (ИСО 34-79) Резина. Определение сопротивления раздиру (раздвоенные, угловые, серповидные образцы).
2. ГОСТ 23016-78 Резина. Метод определения сопротивления раздиру на образцах-полосках.
3. ГОСТ 30304-95 (ИСО 4674-77) Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием. Определение сопротивления раздиру.
4. ГОСТ 26128-84 Пленки полимерные. Методы определения сопротивления раздиру.
5. ГОСТ 57023-2016 (ИСО 4674-1:2003) Кожа искусственная мягкая. Методы определения сопротивления раздиру при постоянной скорости растяжения.
6. ГОСТ 7926-75 Резина для низа обуви. Методы испытаний.
7. Зуев Ю.С. Разрушение эластомеров в условиях, характерных для эксплуатации. М.: Химия, 1980, с.81, 86, 175, 193
8. Бартенев Г.М. Прочность и разрушение высокоэластических материалов. М.: Химия, 1964, с.238.
9. СТО 73011750-009-2012 Пластмассы. Метод определения сопротивления раздиру армирующим элементом при различных температурах на раздвоенных образцах.
10. Пат №2698105 РФ, МПК G01N 33/44, G01N 3/24 Способ определения сопротивления раздиру раздирающим элементом изделия из полимера. Патентообладатель(и): Общество с ограниченной ответственностью «Группа ПОЛИМЕРТЕПЛО» (ООО «Группа ПОЛИМЕРТЕПЛО») (RU) заявл. 12.04.2019, опубл. 22.08.2019 Бюл. №24.
11. Лукомская А.И., Евстратов В.Ф. Основы прогнозирования механического поведения каучуков и резин. М.: Химия, 1975, с. 210, 240, 220, 211, 237, 212, 215.
12. Энциклопедия полимеров под ред. акад. В.А. Кабанова. Том 3., М.: Сов. Энци., 1972, с. 231.
13. Каргин В.А. Энциклопедия полимеров под ред. акад. В.А. Кабанова. М.: Сов. Энци., 1972. Том 3, с.321–322.
14. Краус Д.Н. Усиление эластомеров с. 40, 39, 52, 53. пер. с англ. М.: Химия. 1968
15. Коврига В.В., Пендик С.С., Пятин И.Н. и др. Исследование температурных зависимостей прочностных полиолефинов, используемых для изготовления рабочих труб теплоснабжения. // Пластические массы, 2013, №5, с. 58–60.
16. Коврига В.В., Васильева А.С., Орешенкова Т.Ф., Маликов А.И. Способ определения сопротивления раздиру раздирающим элементом изделия из полимера. Патент РФ №2698105. Дата начала действия 04.12.2019.
17. ISO 22391-1:2007 – изд.1 Е ТС 138/SC 2 Системы пластмассовых трубопроводов для горячего и холодного водоснабжения. Полиэтилен повышенной термостойкости (PE RT). Часть 1. Общие требования.
18. Бергштейн Л.А. Лабораторный практикум по технологии резины. Учебное пособие для техникумов, Л. Химия, 1978, с.128, 197.
19. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методы измерения механических свойств полимеров. М.: Химия, 1978, с.235, 236.
20. Переработка полимеров. Сборник статей под редакцией Р.В. Торнера. М.: Химия, 1964, с.274, 275.
21. Роузен Б. Разрушение твердых полимеров. М.: Химия, 1971, с. 289, 368.
22. Израелит Г.Ш. Механические испытания резины и каучука. Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1949, с.156.
23. Бартенев Г.М., Зуев Ю.С. Прочность и разрушение высокоэластических материалов. М.-Л.: Химия, 1964, с. 227.
24. Коврига В.В., Пятин И.Н., Самойлов С.В., Пендик С.С., Сергеев В.И. Исследование температурных зависимостей сопротивления раздиру армирующим элементом матриц из сшитого полиэтилена // Пластические массы, №9, 2011, с. 44–46.
25. Полимерные плёночные материалы под ред. д.х.н. В.Е. Гуля М.: Химия, 1976, с.185.
26. Новиков В.В. Расчёт сопротивления раздиру пластмасс армирующим элементом в виде тонкой проволоки // Пластические массы, №1–2, 2016, с. 28–29.
27. Васильев А.С., Дроздов Д.А., Федосова С.Н., Зайчикова И.В., Коврига В.В. Исследование зоны высокотемпературного упрочнения в полиэтиленах фирмы Borealis // Пластические массы, 2020, №1–2, с.12–14.
28. Вулканизация эластомеров. Перевод с английского. М.: Химия, 1967, с. 82.
29. Резниковский М.М., Лукомская А.И., Калинова Л.Т., Панин Г.Ф. Каучук и резина, №11, 26 (1965).
30. A.G.Veith Rubb.Chem.Technol., 38, 700 (1965).
31. Обрядчикова К.Н. Изучение закономерностей непрерывного раздира полимерных плёнок при кристаллизации, ориентации и напoлнении. Диссертация на соискание уч.степ. канд.техн.наук. М.: НИХФИ им. Н.Я. Карпова, 1973.
32. Мур Д. Трение и смазка эластомеров США 1972, Пер. с англ. Г.И. Бродского. М.: Химия, 1977, с. 229.
33. Белозёров Н.В. Технология резины. М. Химия 1964, с. 409.
34. Кошелев Ф.Ф., Климов П.С. Общая технология резины. М. Госхимиздат, 1958.
35. Кошелев Ф.Ф., Корнев А.Е., Буканов А.М. Общая технология резины. М.: Химия, 1978, 528 с.
36. Рейтлингер С.А. Проницаемость полимерных материалов М. Химия, 1974, 272 с.
37. Технология резиновых изделий / Ю.О. Аверко-Антонович, Р.Я. Омельченко, Н.А. Охотина, Ю.Р. Эрбич. Л.: Химия, 1991. 352 с.
38. A.G. Thomas, J. Polymer Sci.,18, 177 (1955).
39. H.W. Greensmith, J. Polymer Sci., 21, 175 (1956).
40. A.G. Thomas, J. Appl. Polymer Sci., 3, 168 (1960).
41. H.W. Greensmith, J. Appl. Polymer Sci., 3, 173, 181 (1960).
42. Бартенев Г.М. Изв. АН СССР, ОТН, №9, 53 (1955).
43. Бартенев Г.М., Разумовская И.В., ДАН СССР, 133, 341 (1960).
44. A. Griffith, Phil. Trans.Roy.Soc., A221, 163 (1921).
45. Френкель Я.И. ЖТФ, 22, 1857 (1952).
46. Bueche A.M., Berry J.P., Fracture, Cambridge, Mass. Techno press., New York, 1959, p. 265.
47. Бартенев Г.М., Вишницкая Л.А. Изв. АН СССР, ОТН, Механика и машиностроение, №4 175 (1961).
48. Лукомская А.И. В сб. «Физико-механические испытания каучука и резины», Госхимиздат, 1960, стр. 121.
49. Busse W.F. Ind. Eng. Chem., 26, 1194 (1934); Rubb. Chem. Technol., 8, 121 (1935).
50. Greensmith H.W., Mullins I., Thomas A.G. Trans Soc. Rheology, 4,179 (1960).
51. Патрикеев Г.А., Гусаров Б.Г., Коноплёв В.Н., Высокомол. соед. 2, 1438 (1960).
52. Rivin D, Rubb. Chem. Techn. 36, 729, 1963.
53. Rivlin R.S., Thomas A.G. J. Polymer Sci., 10. 291 (1953).
54. Greensmith H.W. The Rheology of Elastomers Editor by P. Mason A.N. Wookey, London, 1958, p. 113.