

УДК 678.742:53

**ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ВЫТЯЖКИ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ПЛЕНКИ  
НА ЕЕ СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ**

**C. A. Абасов, T. Ф. Аббасов, M. A. Багиров,  
T. И. Гусейнов**

Широкое применение ориентированных полимерных пленок требует всестороннего изучения электрофизических свойств, а также изменения этих свойств в зависимости от внешних факторов, которые воздействуют на них в процессе эксплуатации.

Известно, что ориентация полимерных пленок оказывает влияние на изменение их механических свойств [1—5]. Однако в литературе имеются весьма скучные сведения о влиянии степени вытяжки полимерных пленок на стойкость их при воздействии различных внешних факторов, в частности электрических разрядов. Поэтому исследование влияния степени вытяжки пленки на изменение их свойств при воздействии электрических разрядов представляет определенный интерес.

В данной работе рассматривается изменение механической и электрической прочности дополнительного вытянутых полиэтиленовых (ПЭ) пленок высокой плотности при их электрическом строении под воздействием разрядов.

**Методика эксперимента**

В работе использовали пленку толщиной  $55 \pm 5 \text{ мк}$ , которую подвергали односторонней вытяжке при комнатной температуре со скоростью  $11 \text{ мм/мин}$ . После того как при вытяжке длина образца достигала необходимой величины, температуру в печи поднимали до  $60^\circ$ , при достижении этой температуры печь выключали и производили охлаждение вытянутого образца ПЭ-пленки до комнатной температуры.

В последующем пленка оставалась в вытянутом состоянии в течение 15 час.

Невытянутые и вытянутые ПЭ-пленки подвергали воздействию электрических разрядов в ячейке несимметричного типа, которая была описана в работах [6—8]. Затем из этих пленок изготавливали образцы для испытания на электрическую и механическую прочности, а также для определения структурных изменений.

Для испытания на механическую прочность образцы изготавливали в виде двойной лопатки, длиной 22, шириной 2  $\text{мм}$ . Исследование на временную зависимость механической прочности этих образцов при комнатной температуре ( $22^\circ$ ) производили на разрывной машине для малогабаритных образцов, позволяющей поддерживать разрывающее механическое напряжение постоянным до разрыва образца [9, 10]. Пробивное напряжение  $U_{\text{пр}}$  определяли на установке, использованной в работе [11], а электрическую прочность  $E_{\text{пр}}$  вычисляли по формуле  $E_{\text{пр}} = U_{\text{пр}} / d$ , где  $d$  — толщина пленки. Толщину пленки определяли на приборе ИЗВ-2. Структурные изменения исследовали методом инфракрасной спектроскопии на приборе типа UR-20.

**Результаты эксперимента**

На рис. 1, а представлена временная зависимость механической прочности (зависимость  $\lg \tau$  от  $\sigma$ ) ПЭ-пленки, предварительно вытянутой восемь раз и подвергнутой воздействию электрических разрядов при усло-

вии  $U_{ct} = 9 \text{ кВ}$  и  $t_{ct} = 2; 5; 10$  и  $16$  час., где  $U_{ct}$  — электрическое напряжение, приложенное к ячейке,  $t_{ct}$  — время воздействия напряжения. Из опыта находили долговечность  $\tau$  материала, т. е. время, прошедшее от момента нагружения до его разрыва под действием постоянного механического напряжения  $\sigma$ . Не трудно видеть, что выполняется линейная зависимость между  $\lg \tau$  и  $\sigma$  при постоянной температуре, т. е. уравнение

$$\tau = A\sigma^{-\alpha},$$

где  $A$  и  $\alpha$  — постоянные, зависящие от свойств материала и температуры измерения [9, 10]. Из рис. 1, а видно, что все прямые в координатах  $\lg \tau$

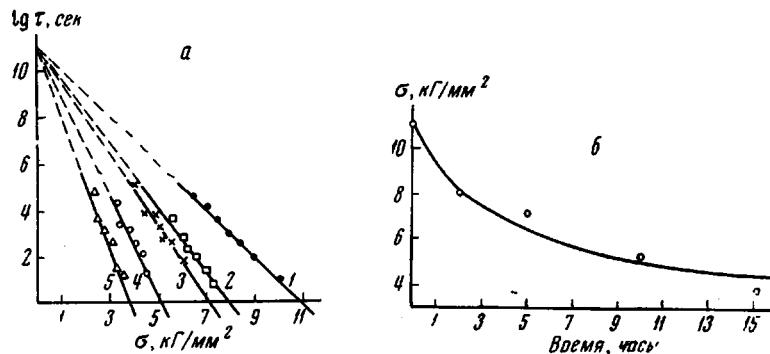


Рис. 1. Изменение временной зависимости механической прочности ПЭ-пленок от времени действия электрических разрядов в воздухе,  $\theta_{ct} = 20^\circ$  (а) и зависимость механической прочности (при  $\lg \tau = 0$ ) ПЭ-пленок от времени действия электрических разрядов в воздухе (б): 1 — исходная пленка, 2 — 2, 3 — 5, 4 — 10, 5 — 15 час.,  $U_{ct} = 9 \text{ кВ}$

от  $\sigma$  пересекаются на оси ординат в одной и той же точке, значение которой соответствует величине параметра  $\lg A$ . Однако наклон этих прямых, т. е. коэффициент  $\alpha$  в зависимости от  $t_{ct}$ , увеличивается.

Если на основе данных, представленных на рис. 1, а, построить зависимость механической прочности  $\sigma$  при  $\lg \tau = 0$  от длительности старения  $t_{ct}$ , то, как видно из рис. 1, б, наблюдается уменьшение механической прочности дополнительно вытянутой ПЭ-пленки.

Аналогичные результаты были нами получены и при воздействии электрических разрядов на дополнительно вытянутые в восемь раз ПЭ-пленки при условии  $U_{ct} = 11 \text{ кВ}$  и  $t_{ct} = 2; 5; 10$  и  $15$  час.

На рис. 2 представлено изменение электрической пробивной прочности  $E_{pr}$  невытянутой и вытянутой ПЭ-пленки в зависимости от времени старения  $t_{ct}$ . В обоих случаях наблюдается монотонное уменьшение электрической прочности в зависимости от времени старения. Из рис. 2 видно, что электрическая прочность вытянутых ( $\lambda = 8$ ) пленок после электрического старения все время остается больше, чем невытянутых, за исключением исходных точек, соответствующих прочности пленок, неподвергнутых воздействию разрядов.

Известно, что физико-химические изменения, происходящие в полимерных пленках под воздействием внешних факторов (в данном случае электрических разрядов), всегда сопровождаются, а в некоторой степени и коррелируются с определенными структурными изменениями. Поэтому методом инфракрасной спектроскопии были рассмотрены структурные изменения, происходящие после воздействия электрических разрядов, как в вытянутых, так и в невытянутых пленках. В инфракрасных спектрах поглощения наблюдались максимумы поглощения, которые можно приписать кислородсодержащим группам. На рис. 3 представлены зависимости

оптической плотности  $\lg(I_\phi/I)$  полосы C=O-групп ( $1720 \text{ см}^{-1}$ ) от степени вытяжки  $\lambda$  при разных временах воздействия электрических разрядов.

Из этого рисунка видно, что с изменением степени вытяжки ПЭ-пленок наблюдается линейное уменьшение оптической плотности полосы C=O-групп при постоянном значении  $t_{ct}$ . Из рис. 3 также видно, что во всех случаях наблюдается увеличение интенсивности C=O-

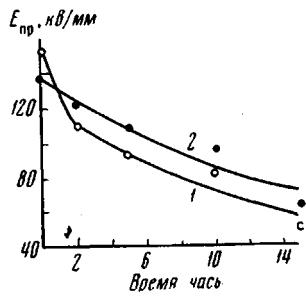


Рис. 2

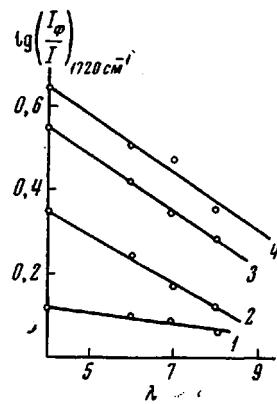


Рис. 3

Рис. 2. Зависимость электрической прочности невытянутой (1) и вытянутой (2) ПЭ-пленок от времени действия электрических разрядов в воздухе,  $\theta_{ct} = 20^\circ$

Рис. 3. Изменение оптической плотности полосы C=O-групп ( $1720 \text{ см}^{-1}$ ) от степени вытяжки ПЭ-пленок при разных временах действия разрядов в воздухе: 1 — 2, 2 — 5, 3 — 10, 4 — 15 час.

групп в зависимости от времени старения при постоянном значении степени вытяжки.

Из приведенных выше экспериментальных результатов видно, что дополнительно ориентированные полиэтиленовые пленки являются более стойкими к воздействию на них электрических разрядов, чем неориентированные. Электрическая прочность и стойкость к окислению у ориентированной ПЭ-пленки больше чем у неориентированной.

#### Обсуждение экспериментальных результатов

Известно, что полиэтилен относится к числу спивающихся полимеров [12], поэтому можно было ожидать, что механическая прочность ПЭ будет расти после воздействия на него электрических разрядов. Однако, как это видно из рис. 1, а и б, при постоянном значении  $U_{ct}$  с изменением времени воздействия  $t_{ct}$  механическая прочность ПЭ-пленки наоборот уменьшается. Такое уменьшение механической прочности ПЭ-пленки, по-видимому, может быть вызвано двумя причинами: во-первых, повышением хрупкости пленки, возникающим за счет образования густых поперечных связей, во-вторых, с процессами деструкции, имеющими место при воздействии электрических разрядов. По-видимому, в данном случае уменьшение механической прочности ПЭ-пленки в основном связано с процессом деструкции, так как после воздействия на ПЭ-пленку электрических разрядов повышения хрупкости пленки не наблюдается. Правда, наблюдается некоторое уменьшение относительного удлинения при разрыве, но это можно связать не

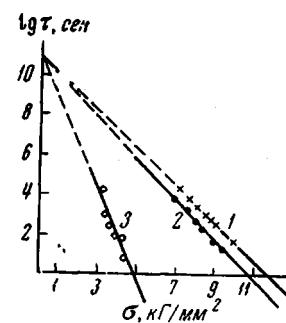


Рис. 4. Изменение временной зависимости механической прочности ПЭ-пленок, подвергнутых действию электрических разрядов в воздухе и азоте: 1 — 10 час. (среда — азот), 2 — исходная, 3 — 10 час. (воздух)

с повышением хрупкости, а с редкими образованиями поперечных связей и возникновением новых полярных групп, а также с частичными разветвлениями цепей, увеличивающими жесткость цепей. Следовательно, уменьшение механической прочности ПЭ-пленки под действием электрических разрядов связано с процессами деструкции. Важно отметить, что в присутствии кислорода процесс деструкции происходит быстрее. Это подтверждается тем, что когда воздействие электрических разрядов происходит в среде азота, наблюдается увеличение (хотя и не очень большое) механической прочности (рис. 4). Эти два противоположных эффекта дают нам основание предположить, что под действием электрических разрядов

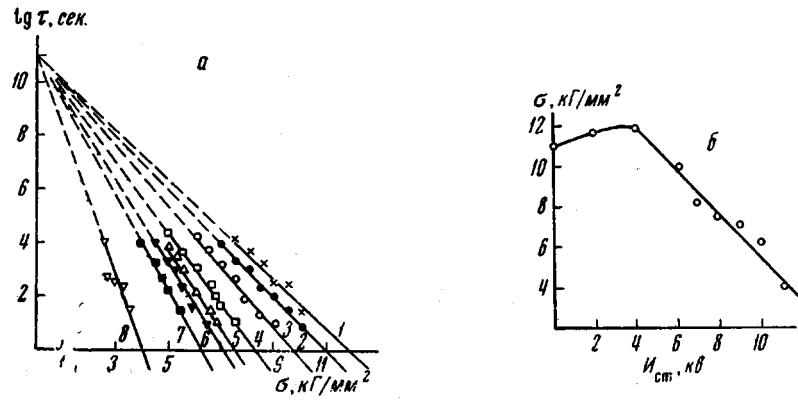


Рис. 5. Изменения временной зависимости механической прочности ПЭ-пленок от величины электрического напряжения (а) и зависимость механической прочности (при  $\lg \tau = 0$ ) ПЭ-пленок от величины электрического напряжения (б):

1 — 4 кв, 2 — исходная, 3 — 6, 4 — 7, 5 — 8, 6 — 9, 7 — 10, 8 — 11 кв,  
 $t_{cr} = 5$  час. — const

в ПЭ-пленке происходит два процесса — деструкции и спшивания полимерных цепей. В присутствии кислорода превалирующим процессом является деструкция, и поэтому механическая прочность уменьшается, а при отсутствии кислорода преобладает процесс спшивания и механическая прочность возрастает. Но всегда следует иметь в виду, что указанные эффекты зависят также и от других факторов, таких как  $U_{cr}$ ,  $t_{cr}$ , температуры старения  $\theta_{cr}$  и т. д., т. е. можно обнаружить увеличение механической прочности в присутствии кислорода лишь при определенном значении  $U_{cr}$ ,  $t_{cr}$  и  $\theta_{cr}$  [6—8]. Действительно, как это видно из рис. 5, а и б, с изменением величины электрического напряжения  $U_{cr}$  вначале (до  $U_{cr} = 4$  кв) наблюдается увеличение механической прочности, несмотря на то, что старение производилось в присутствии кислорода воздуха. Однако кислород при электрическом старении всегда играет весьма важную роль и это очень заметно отражается на основных характеристиках исследуемой пленки. Представленная на рис. 4 зависимость долговечности от механического напряжения ПЭ-пленок, подвергнувшихся воздействию электрических разрядов в средах азота и воздуха, является прямым доказательством изложенного выше предположения. Видно, что механическая прочность ПЭ-пленки, состарившейся в среде азота при условии  $U_{cr} = 9$  кв и  $t_{cr} = 10$  час., в два раза больше прочности ПЭ-пленки, состарившейся при тех же условиях в воздухе; она также больше, чем механическая прочность исходной пленки.

Подобные эффекты увеличения прочности при воздействии электрических разрядов были обнаружены также для ПС- и ПЭТФ-пленок в предыдущих наших работах [8, 13].

Очевидно, причиной увеличения механической прочности при старении в среде азота является то, что в этом случае преимущественным процессом является спшивание.

Можно предположить, что в нашем случае замедление уменьшения электрической прочности дополнительно подвергнутой вытяжке ( $\lambda=8$ ) ПЭ-пленки в основном связано с увеличением степени кристалличности [14]. Уменьшение количества C=O-групп с увеличением вытяжки, по-видимому, можно связать с затруднениями диффузии атомов кислорода в ПЭ-пленке с вытяжкой.

### Выводы

1. Рассмотрено влияние электрических зарядов на механическую и электрическую прочности, а также на структуру полиэтиленовой (ПЭ) пленки, подвергнутой предварительной вытяжке.

2. Установлено, что с изменением времени воздействия  $t_{cr}$  электрических разрядов при постоянном значении электрического напряжения  $U_{cr}$  механическая прочность предварительно вытянутой и состарившейся в воздухе ПЭ-пленки монотонно уменьшается. Однако при относительно низких значениях  $U_{cr}$  и при старении в среде азота механическая прочность увеличивается.

3. Показано, что с увеличением степени вытяжки стойкость ПЭ-пленки к электрическим разрядам увеличивается, о чем свидетельствует замедление процесса уменьшения электрической прочности при старении вытянутой ПЭ-пленки.

Институт физики  
АН АзербССР

Поступила в редакцию  
17 IX 1969

### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Лайус, Е. В. Кувшинский, Высокомолек. соед., 3, 215, 1961.
2. С. Н. Журков, С. А. Абасов, Высокомолек. соед., 3, 450, 1961; Физика твердого тела, 4, 2184, 1962.
3. Б. Я. Левин, А. В. Савицкий, В. П. Демичева, Химич. волокна, 1963, № 1, 29.
4. С. Н. Журков, И. И. Новак, Б. Я. Левин, А. В. Савицкий, В. И. Веттергрень, Высокомолек. соед., 7, 1203, 1965.
5. Б. Я. Левин, А. В. Савицкий, В. П. Демичева, Механика полимеров, 1967, 591.
6. С. А. Абасов, Т. И. Гусейнов, Механика полимеров, 1965, № 6, 78.
7. М. А. Багиров, С. А. Абасов, Т. И. Гусейнов, Докл. АН АзербССР, 22, 16, 1966.
8. Т. И. Гусейнов, С. А. Абасов, М. А. Багиров, Механика полимеров, 1968, 59.
9. С. Н. Журков, Э. Е. Томашевский, Ж. техн. физики, 25, 66, 1955.
10. С. Н. Журков, С. А. Абасов, Высокомолек. соед., 3, 441, 1961.
11. М. А. Багиров, В. П. Малин, Ю. Н. Газарян, Е. В. Волченков, Пласт. массы, 1970, № 2, 44.
12. А. Чарлзби, Ядерные излучения и полимеры, Изд-во иностр. лит., 1962.
13. М. А. Багиров, С. А. Абасов, Т. И. Гусейнов, Т. Ф. Аббасов, Изв. АН АзербССР, 1968, № 6, 103.
14. В. А. Каргин, Т. И. Соголова, Ж. физ. химии, 27, 1213, 1325, 1953.

### EFFECT OF DRAWING RATIO OF POLYETHYLENE FILM ON ITS RESISTANCE TOWARDS ELECTRICAL DISCHARGE

S. A. Abasov, T. F. Abbasov, M. A. Bagirov,  
T. I. Guseinov

### Summary

Effects of electrical discharges on mechanical and electrical strength and structure of priorly drawn polyethylene (PE) film have been studied. The resistance of film to the discharges increases with the drawing ratio that is inferred from the data on the electrical and mechanical strength and carbonyl band in the IR-spectrum.