

УДК 541.64.532.13.537.3

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗАРЯДЫ, ФОРМИРУЕМЫЕ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ ТЕЧЕНИИ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ<sup>1</sup>

© 2001 г. В. А. Жорин\*, Г. А. Лущейкин\*\*, И. В. Разумовская\*\*\*

\* Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук  
117977 Москва, ул. Косыгина, 4

\*\* Московская государственная академия приборостроения и информатики  
107846 Москва, ул. Стромынка, 20

\*\*\* Московский педагогический государственный университет им. В.И. Ленина  
119882 Москва, ул. М. Пироговская, 1

Поступила в редакцию 19.12.2000 г.  
Принята в печать 26.04.2001 г.

В результате пластического деформирования при давлении 2 ГПа и комнатной температуре в образцах ПЭНП, ПЭВП, ПП и ПЭТФ формируются электрические заряды. Глубина проникновения зарядов достигала 100 мкм. Механизм возникновения зарядов связывали с захватом структурными ловушками электронов, инжектированных из наковален в полимерные материалы в процессе обработки под высоким давлением. Исследованы температурные зависимости токов деполяризации и рассчитаны энергии активации релаксационных процессов.

На границе раздела металл–диэлектрик всегда возникает двойной электрический слой, который определяется процессом инжекции электронов из металла в диэлектрик. В обычных условиях глубина проникновения электронов невелика.

Интенсифицировать процесс инжекции электронов можно путем сжатия пары металл–диэлектрик. Так, было показано [1, 2], что при одноосном сжатии различных диэлектриков (полимеров и низкомолекулярных веществ) между металлическими наковалнями можно получить высокопроводящее состояние. В работах [3, 4] был предложен механизм перехода диэлектриков в высокопроводящее состояние под воздействием высокого давления.

Возникновение высокопроводящего состояния в диэлектриках свидетельствует о высокой концентрации носителей зарядов. При воздействии высокого давления в веществах любой химической природы понижается степень структурной упорядоченности, а в полимерах могут протекать деструкционные процессы. Дефекты структуры являются ловушками для носителей зарядов, а при формировании высокопроводящего состояния для сво-

бодного движения носителей заряда в диэлектрике необходимо заполнить имеющиеся ловушки.

О существовании такого эффекта свидетельствуют результаты исследований протекания деформационных токов в металлополимерных смесях при деформировании образцов под высоким давлением [5].

При прекращении действия высокого давления диэлектрик переходит в свое первоначальное состояние с низкой проводимостью. Однако естественно предположить, что часть носителей, захваченных структурными ловушками, останется в этих ловушках и после сброса давления.

При воздействии на твердые тела одного только высокого давления количество структурных дефектов обычно невелико, и прямое измерение в таких объектах числа захваченных носителей представляется сложной экспериментальной задачей.

Увеличить число структурных дефектов и расширить их энергетический спектр можно путем пластического деформирования твердых тел при воздействии высокого давления, создав высокодефектную структуру. По РСА происходит разрушение кристаллической структуры полимеров в процессе пластического деформирования под давлением [6]; результаты акустических исследо-

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 00-03-33099) и ОАО “Газпром”.

ваний [7] свидетельствуют о формировании в образцах ПЭ межфазных границ, а в работе [8] сообщалось об увеличении объема пор и удельной свободной поверхности в образцах ПЭ.

Формирование объемного заряда в тонких полимерных слоях, находящихся в плотном контакте с металлическими поверхностями и подвергаемым пластическому деформированию, подтверждается изменением свойств полимеров после обработки под высоким давлением.

Так, в работе [7] при исследовании акустических свойств в ПЭ были получены аномальные температурные зависимости скорости звука. Сильное влияние магнитного поля, приложенного к образцам в процессе обработки под давлением, позволило предположить существенное влияние электрических зарядов на процесс распространения ультразвука в полимерных образцах. Влияние магнитного поля относительно слабо по уровню своего энергетического воздействия. Его влияние в первую очередь и сильнее всего оказывается на поведении электрических зарядов. В этой связи правомерно утверждать, что если магнитное поле приводит к изменениям каких-либо свойств твердого тела, то происходит это через воздействие на электрические заряды, которые в таком случае должны присутствовать в исследуемых объектах.

В работах [8] было установлено, что в результате воздействия магнитного поля снижается энтальпия плавления ПЭВП после пластического деформирования под высоким давлением по сравнению с аналогичной обработкой, но проведенной в отсутствие магнитного поля. Удалось также зарегистрировать существенное различие в микротвердости образцов ПЭ, обработанных под давлением без магнитного поля и в присутствии магнитного поля [9].

Значительные различия свойств образцов, обработку которых под высоким давлением проводили в магнитном поле и без поля, свидетельствуют о высокой плотности объемного заряда, формируемого в полимерах в процессе пластического течения под давлением.

В этой связи представляло интерес провести прямые измерения зарядов в образцах, прошедших обработку под высоким давлением. Такого рода исследования включают в себя измерения поверхностной и объемной плотности зарядов, глубину проникновения электронов в полимерные слои, оценку времени жизни зарядов и энергии активации релаксационных процессов.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектами исследования служили ПЭНП, показатель текучести расплава 8 г/10 мин,  $T_{пл} = 105^{\circ}\text{C}$ ; реакторный порошок СВМПЭ с  $M_w = 1.8 \times 10^6$ , степень кристалличности 40–45%,  $T_{пл} = 138^{\circ}\text{C}$ , полученный на модифицированном катализаторе Циглер-Натта; изотактический ПП с  $M_w = 3.5 \times 10^5$ ,  $M_n = 77 \times 10^4$ , показатель текучести расплава 1.8 г/10 мин,  $T_{пл} = 161^{\circ}\text{C}$ ; ПЭТФ-пленка толщиной 100–120 мкм.

Обработку образцов проводили на наковальнях из стали ХВГ с диаметром рабочих поверхностей 20 мм под давлением 2 ГПа и комнатной температуре.

Для измерения электрического потенциала на поверхности образцов  $V_3$  использовали: вольтметр-электрометр TR-84 M ("Такеда Рикен", Япония) с предусилителем, в котором находится динамический конденсатор, преобразующий постоянное напряжение в переменное; входное сопротивление вольтметра-электрометра  $>10^{15}$  Ом, входная емкость вместе с соединительным кабелем 100 пФ; источник постоянного напряжения УИП-2; цифровой вольтметр В7-38; диаметр электродов составлял 25 мм.

При измерении токов термоактивированной деполяризации (ТСД) образцы помещали в термокамеру, температуру в которой повышали с постоянной скоростью 0.8–1.2 град/мин, а ток между электродами измеряли электрометрическим вольтметром ВК-2-16, работавшем в режиме пико-амперметра.

Ошибка при измерении потенциалов на поверхности  $V_3$  и плотности суммарных зарядов  $\sigma_{\text{шт}}$  (получали интегрированием тока ТСД) составляла  $\pm 10\%$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходные пленочные образцы всегда имели на поверхности заряды; в этом случае электрические потенциалы на поверхности пленок могли быть как разного, так и одинакового знака, мало различаясь по абсолютной величине. Известно, что при стандартной методике получения термоэлектронов обычно на поверхности образцов получают потенциалы противоположного знака. Так, исходные пленки ПЭТФ поляризовали при  $130^{\circ}\text{C}$  в поле 20 мВт в течение 15 мин, а затем охлаждали в электрическом поле до  $30^{\circ}\text{C}$ . В результате такой обработки происходило формирование электрета, при этом на одной стороне пленки потенциал составил  $-154$  В, а на другой  $+162$  В.

В табл. 1 приведены некоторые результаты измерений потенциалов на разной поверхности полимерных образцов, обработанных под высоким давлением. Сразу можно отметить, что исходное состояние образцов ПЭВП, ПЭНП и ПП (порошок или пленка) практически не оказывали никакого влияния на результаты измерений.

В ПЭНП в результате обработки под давлением всегда происходило формирование моноэлектретов разного знака – потенциалы на разной поверхности образцов были одного знака и существенно различались по абсолютной величине; среднее значение потенциала поверхности  $V_s$  составило 164 В. В ПЭВП также образовывались моноэлектреты одного знака; абсолютные значения потенциалов были малы по сравнению со значениями, полученными для ПЭНП, а среднее значение потенциала поверхности равно 7.6 В. В образцах ПП и ПЭТФ были зарегистрированы моноэлектреты с зарядами разного знака; среднее значение  $V_s$  для образцов ПП составило 110 В, а для образцов ПЭТФ – 22 В.

При образовании обычных электретов (разные знаки зарядов на противоположных поверхностях) всегда наблюдаются более высокие значения потенциалов  $V_s$  в отличие от моноэлектретов.

Еще одной отличительной чертой электретов, полученных при деформировании полимерных образцов под давлением, является то, что максимальные абсолютные значения потенциалов соответствуют отрицательным зарядам. В случае образования моноэлектретов с положительными потенциалами  $V_s$  чаще всего мала.

Как видно из результатов, приведенных в табл. 1, разность между  $V_s$  с разных сторон, измеренных на одном и том же образце, во всех исходных полимерах близка к нулю, а после обработки под давлением существенно возрастает. Особенно заметно этот эффект проявляется в случае ПЭНП и ПЭТФ.

Формируемые в процессе обработки под давлением заряды являются метастабильными, и величина зарядов во всех образцах уменьшается во времени. Особенно сильно динамика снижения величины заряда проявляется в первые минуты после завершения обработки под давлением (рис. 1). Наиболее интенсивно процесс разрядки протекает в ПЭНП и ПП (практически с одинаковой динамикой) и более медленно в ПЭВП и ПЭТФ.

При длительном хранении образцов при комнатной температуре время уменьшения зарядов в 2 раза (период полураспада) варьируется в диапазоне 10–30 сут. При этом время снижения отрицательных зарядов больше, чем положительных –

Таблица 1. Электрические потенциалы и время полуразряда для различных образцов после обработки под давлением

Полимер	Электрический потенциал	Время полуразряда, сутки
ПЭНП	-34/+34*	–
	-143/-175*	–
	-38/-406	20
	-199/-315	–
	-200/-380	15
	-19/+159	–
	+204/+225	–
	+80/+80*	–
ПЭВП	+1.3/+12	11
	+5/+2.2	–
	+2.4/+2.4	–
	+5/+14	20
ПП	0/-32*	–
	-35/-181	12
	-39/-107	30
	-143/+22	–
	-150/+53	–
	+5/+14	–
	-630/-600*	–
ПЭТФ	-125/-126	16
	-16/+51	–
	-41/+17	–
	+5/+14	–
	-188/+280	11

\* Исходные образцы.

16–30 сут для отрицательных зарядов и 10–12 сут для положительных (табл. 1).

В рамках проводимых исследований большой интерес представляют абсолютные значения зарядов, формируемые в полимерах при пластичес-

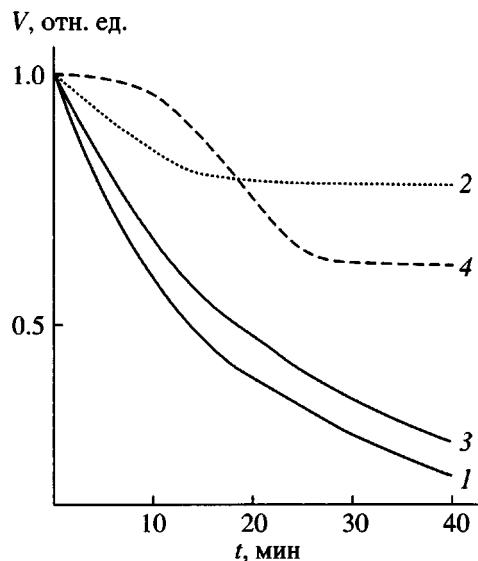


Рис. 1. Изменение потенциала поверхности  $V$  полимерных образцов от времени  $t$ : 1 – ПЭНП, 2 – ПП, 3 – ПЭТФ, 4 – ПЭВП.

ком деформировании под давлением. Для оценки величины зарядов проводили термическую деполяризацию образцов, измеряя при этом величину тока.

Интегрируя ток  $i$  деполяризации, определяли заряд образца:

$$\sigma_{\text{инт}} = \int_0^t idt \quad \text{или} \quad \sigma_{\text{инт}} = \frac{1}{b} \int_0^t idT,$$

где  $t$  – время,  $T$  – температура,  $b$  – скорость повышения температуры, град/с.

На основе результатов измерения рассчитывали также эффективную поверхностную плотность зарядов по значениям потенциала поверхности

$$\sigma_{\text{эф}} = \epsilon_0 \epsilon V / h$$

Здесь  $h$  – толщина образца, диэлектрическая постоянная  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{12}$  Ф/м,  $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость.

Глубину расположения центроида заряда оценивали по формуле [10, 11]

$$\delta = h \sigma_{\text{инт}} / (\sigma_{\text{инт}} + \sigma_{\text{эф}})$$

Аналогичные оценки были проведены и для исходных полимеров; в этом случае исходные пленки поляризовали при высоких температурах, т.е. получали термоэлектреты.

На рис. 2 приведены температурные зависимости токов ТСД для исходных полимеров и образ-

цов, прошедших обработку под давлением. Абсолютные значения токов ТСД в термоэлектретах (в исходных образцах) были в  $10^3$  раз больше, чем в образцах, обработанных под давлением. Поэтому температурные зависимости приведены в относительных единицах.

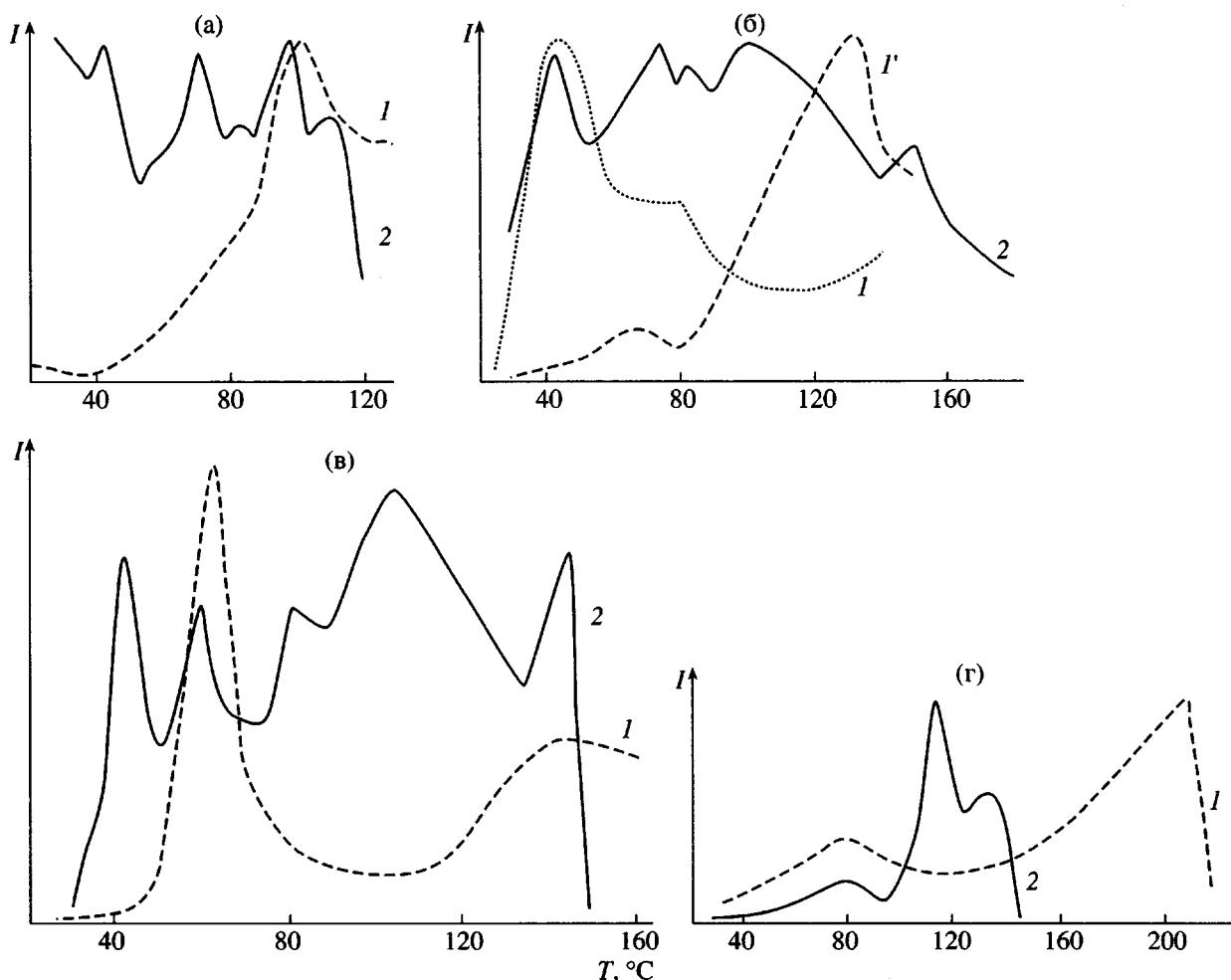
На температурных зависимостях ТСД для исходных полимеров можно выделить две области, в которых токи деполяризации максимальны. В образцах ПЭНП основной максимум наблюдался вблизи  $T_{\text{пл}}$ , а низкотемпературный максимум проявлялся в виде плеча в диапазоне 60–80°C. Токи ТСД можно наблюдать еще до повышения температуры; по-видимому, они связаны с движением электронов, захваченных на мелких ловушках вблизи поверхности образцов. Проведенные оценки показали, что вблизи  $T_{\text{пл}}$  высвобождается более 70% захваченных электронов.

В образцах ПЭВП температурные зависимости токов ТСД, согласно работе [12], существенно зависят от размера кристаллитов – в образцах с мелкими кристаллитами основной пик тока возникает при 40–50°C, а в образцах с большими кристаллитами – в диапазоне 130–140°C, т.е. вблизи  $T_{\text{пл}}$ .

В ПП основной максимум токов ТСД регистрировали в интервале 60–70°C, а второй, менее выраженный, – вблизи  $T_{\text{пл}}$ .

Наиболее интенсивный пик токов ТСД в поляризованных образцах ПЭТФ фиксировали при температурах вблизи  $T_{\text{пл}}$ , а второй, более слабый, проявлялся в температурном диапазоне вблизи  $T_c$ .

После обработки под высоким давлением температурные зависимости токов ТСД для ПЭНП, ПЭВП и ПП практически совпадали по общему уровню тока, положению максимумов на температурной шкале и числу максимумов, их интенсивности. В данном случае ловушки для электронов можно разделить на три уровня. Во-первых, это низкотемпературные ловушки в области 40–50°C, связанные с размораживанием подвижности элементов структуры на поверхности кристаллитов ( $\alpha_c$ -релаксация). Во-вторых, высокотемпературные ловушки, связанные с  $\rho$ -релаксацией – глубокие ловушки, из которых электроны в сущности и не выходят, а токи деполяризации с максимумами при ~105°C возникают как результат компенсирующего тока ионов проводимости, которые смещаются в поле объемного заряда. Ловушки третьего типа проявляются в температурном диапазоне 60–90°C; по-видимому, они связаны с формированием в полимерах в процессе деформирования под давлением различного рода структур-



**Рис. 2.** Температурные зависимости тока ТСД для ПЭНП (а), ПЭВП (б), ПП (в) и ПЭТФ (г): 1 – исходный образец, 2 – образец после обработки под давлением (б: 1, 1' – исходный образец с малыми и большими кристаллитами соответственно).

ных дефектов, имеющих широкую дисперсию по энергиям.

Сравнение температурных зависимостей токов ТСД для исходных полимеров, поляризованных при высоких температурах и обработанных под высоким давлением, свидетельствует о том, что в исходных образцах высвобождение захваченных электронов происходит в довольно узких температурных диапазонах, а в образцах после деформирования под давлением процесс высвобождения электронов протекает более равномерно во всем температурном диапазоне.

В образцах ПЭТФ, прошедших обработку под высоким давлением, высвобождение электронов начинается уже при комнатной температуре и завершается при 140°C, т.е. задолго до плавления полимера. На температурной зависимости тока ТСД четко обнаруживается пик тока в области  $T_c$

и четкий бимодальный пик с максимумами при 115 и 135°C.

В табл. 2 приведены значения  $\sigma_{\text{эф}}$  и  $\sigma_{\text{инт}}$  для некоторых исходных полимеров и образцов, обработанных под давлением, полученные на основе температурных зависимостей токов ТСД. По значениям  $\sigma_{\text{эф}}$  можно рассчитать напряженность электрического поля вблизи поверхности, которое возникает от объемного заряда при потенциале поверхности 400 В, по формуле [11]

$$E = \sigma_{\text{эф}} / \epsilon_0 h (L + h),$$

где  $L$  – толщина образца,  $h$  – глубина инжекции. Проведенный расчет в случае образцов ПЭВП дает значение 400 В/см.

Важной характеристикой зарядов, сформированных в полимерных образцах как при поляризации в электрическом поле, так и при пластическом

**Таблица 2.** Эффективная поверхностная плотность зарядов, интегральная плотность зарядов и глубина расположения центроида зарядов для различных полимерных образцов

Полимер	Толщина образца $h$ , мкм	$\sigma_{\text{эфф}}$	$\sigma_{\text{инт}}$	Расположение центроида $\delta$ , мкм
		мк Кл/м <sup>2</sup>		
Исходные образцы				
ПЭНП	230	2.244	464	1.2
ПЭТФ	170	27	2450	2
После обработки под давлением				
ПЭНП	140	11.93	3.63	30
ПЭВП	140	0.584	7.8	97
ПП	150	2.85	6.8	64
ПЭТФ	170	0.494	0.28	70

**Таблица 3.** Температура максимумов токов деполяризации для различных полимеров, энергия активации  $W$  выхода зарядов из структурных ловушек, число носителей зарядов в единице объема  $n$

Полимер	$T_{\text{макс}}, ^\circ\text{C}$	$W, \text{эВ}$	$n \times 10^{19}, \text{м}^{-3}$
ПП	42(48)	1.35(1.2)	0.034(0.75)
	60(68)	0.72(2.3)	0.0648
	(93)	(1.4)	
	105(111)	0.48(1.9)	0.213
ПЭВП	43(53)	1.1(1.7)	0.0359
	75(70)	1.26(1.3)	0.055
	102(98)	0.75(1.2)	0.055(3–16)
ПЭНП	40(48)	0.84(1.2)	0.262
	73(68)	1.36(2.3)	0.191
	100(93)	1.93(1.4)	0.172
	118(111)	5.35(1.9)	0.0813
ПЭТФ	80(83)	1.44(0.8)	0.0317(8.4)
	113(118)	1.36(2.2)	0.09(6)

Примечание. В скобках указаны значения, полученные для полимеров, обработанных в коронном разряде.

деформировании под давлением, является глубина их проникновения в полимерные слои, которая оценивается по глубине залегания центроида заряда. При обычной электризации и при получении термоэлектретов центроид зарядов находится на глубине 1–2 мкм от поверхности. Для зарядов, которые сформированы в полимерах при деформировании под давлением, центроид располагался на глубине, составляющей 1/3–1/2 от толщины полимерных пленок (табл. 2), т.е. фактически, заряд распределялся более-менее равномерно по объему.

Интересно отметить, что при облучении ПЭВП пучком электронов с энергией 10 кэВ глубина захвата составляет ~1.5 мкм, а при энергии электронов 100 кэВ электроны проникают уже на глубину ~100 мкм [11]. Таким образом, образцы полимеров, обработанные под давлением, как бы подвергались облучению электронным пучком с энергией 100 кэВ.

Некоторые характеристики зарядов, формируемые при пластическом деформировании полимеров под высоким давлением, и полученные при обработке полимеров в коронном разряде, приведены в табл. 3. Как видно, температуры максимумов токов деполяризации для образцов, обработанных под давлением, в большинстве случаев лежат ниже, чем в образцах, обработанных в коронном разряде. Энергии активации процессов высвобождения зарядов для образцов ПЭВП на 30–40% ниже, чем в полимерах, обработанных в коронном разряде; в ПП энергия активации уменьшается в 3–4 раза; в ПЭНП энергия активации релаксационных процессов в температурном диапазоне 40–100°C может быть как ниже на 30–40%, так и выше, а вот высокотемпературный процесс при 11–120°C протекает с энергией активации, в 3 раза большей, чем в полимере, обработанном в коронном разряде. В образцах ПЭТФ обращает на себя внимание двукратное увеличение энергии активации процесса, протекающего в области  $T_c$  полимера.

Полученные экспериментальные результаты позволяют сделать некоторые заключения о природе ловушек, в которые попадают электроны, инжектированные из металла наковален в полимерные образцы при пластическом деформировании под высоким давлением.

Значительная часть электронов высвобождается при размораживании молекулярной подвижности на границах аморфной и кристаллической фазы ( $\alpha_c$ -релаксация). Доля таких электронов существенно различна для разных полимеров: так, в ПЭНП их доля может составлять 70%, в ПЭВП – 30%, в ПП – 12%, а в ПЭТФ в случае раз-

мораживания сегментальной подвижности высвобождается 20% захваченных электронов.

В обычных термоэлектретах доля электронов высвобождающихся в процессе  $\alpha_c$ -релаксации варьируется от 20 до 35%.

Можно предположить, что часть электронов, которые высвобождаются в области 100–120°C, находится в кристаллической фазе. Полный их выход возможен только из расплавного состояния полимера, что происходит при гораздо более высоких температурах порядка 170–220°C. Наблюдаемые при 100–120°C максимумы токов деполяризации следует отнести к  $\rho$ -максимумам; в этом случае релаксация зарядов происходит вследствие их компенсации токами проводимости.

Оценка величины  $\rho_v$ , проведенная по формуле Максвелла

$$\tau = \epsilon_0 \epsilon \rho_v,$$

дает следующие значения для исследованных полимеров:  $5.8 \times 10^{13}$  Ом м для ПП при 105°C,  $1.637 \times 10^{13}$  Ом м для ПЭНП при 100°C,  $3.59 \times 10^{13}$  Ом м для ПЭВП при 102°C и  $2.085 \times 10^{13}$  для ПЭТФ при 113°C.

Таким образом, проведенные измерения показали, что при пластическом деформировании под давлением в различных полимерах возникают электрические заряды, которые могут находиться на расстоянии до 100 мкм от поверхности полимерной пленки, т.е. фактически заряд распределяется равномерно по объему. Температура, при которой протекают релаксационные процессы, и энергии активации этих процессов ниже, чем в полимерах, объемные заряды в которых были

сформированы по обычным методикам – поляризацией при высоких температурах или обработкой в коронном разряде.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ениколопян Н.С., Берлин Ю.А., Бешенко С.И., Жорин В.А. // Докл. АН СССР. 1981. Т. 258. № 6. С. 1400.
2. Берлин Ю.А., Бешенко С.И., Жорин В.А., Галашина Н.М., Ениколопян Н.С. // Докл. АН СССР. 1982. Т. 264. № 6. С. 1402.
3. Берлин Ю.А., Бешенко С.И., Жорин В.А., Овчинников В.А., Ениколопян Н.С. // Докл. АН СССР. 1982. Т. 260. № 6. С. 1386.
4. Берлин Ю.А., Бешенко С.И., Жорин В.А., Ениколопян Н.С. // Докл. АН СССР. 1982. Т. 262. № 4. С. 911.
5. Берлин Ю.А., Бешенко С.И., Жорин В.А., Ениколопян Н.С. // Докл. АН СССР. 1986. Т. 267. № 5. С. 1154.
6. Купцов С.А., Ерина Н.А., Жорин В.А., Антипов Е.М., Прут Э.В. // Высокомолек. соед. А. 1995. Т. 37. № 10. С. 1692.
7. Жорин В.А., Волкова А.В. // Высокомолек. соед. А. 1988. Т. 30. № 9. С. 1868.
8. Жорин В.А., Свистунов В.С., Зеленецкий А.Н., Решетников И.С., Озерин А.Н. // Высокомолек. соед. А. 1999. Т. 41. № 4. С. 687.
9. Жорин В.А., Мухина Л.Л., Разумовская И.В. // Высокомолек. соед. Б. 1998. Т. 40. № 7. С. 1213.
10. Perlman M.M. // J. Electrochem. Soc. 1972. V. 119. № 7. P. 892.
11. Луцейкин Г.А. // Полимерные электреты. М.: Химия, 1984.
12. Criswell R.A., Perlman M.M., Kabajama M. // Dielectric Properties of Polymers / Ed. by Karasz F.E. New York: Plenum Press, 1972. P. 295.

## Electric Charges Induced During Plastic Flow under High Pressure

V. A. Zhorin\*, G. A. Lushcheikin\*\*, and I. V. Razumovskaya\*\*\*

\*Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences,  
ul. Kosygina 4, Moscow, 117977 Russia

\*\*Moscow Institute of Instrumentation Engineering,  
ul. Stromynka 20, Moscow, 107846 Russia

\*\*\*Moscow State Pedagogical University,  
ul. Malaya Pirogovskaya 1, Moscow, 119882 Russia

**Abstract**—Plastic deformation under a pressure of 2 GPa at room temperature was found to induce electric charges in LDPE, HDPE, PP, and PET samples. The charge penetration depth reached 100 μm. The mechanism of charge generation was associated with electron trapping in structural traps during the high-pressure treatment. Temperature dependences of depolarization currents were measured and the activation energies of relaxation processes were calculated.