

- [7] *Unruh H.-G. J. Phys. C*, 1983, vol. 16, N 17, p. 3245—3255.
 [8] *Iizumi M., Gesi K. Sol. St. Commun.*, 1977, vol. 22, N 1, p. 37—39.
 [9] *Струков Б. А., Арутюнова В. М., Уесу И. ФТТ*, 1982, т. 24, № 10, с. 3061—3067.
 [10] *Лебедев Н. И., Леванюк А. П., Сигов А. С. ЖЭТФ*, 1987, т. 92, № 1, с. 248—257.

Московский государственный
 университет им. М. В. Ломоносова
 Москва

Поступило в Редакцию
 2 декабря 1987 г.

УДК 539.37

Физика твердого тела, том 30, в. 7, 1988

Solid State Physics, vol. 30, № 7, 1988

О СКАЧКООБРАЗНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТВЕРДЫХ ПОЛИМЕРОВ

Н. Н. Песчанская, П. Н. Якушев

Известное для металлов и кристаллов явление ступенчатой или скачкообразной деформации [1-3] можно рассматривать как процесс с крайне неоднородной скоростью. Подобный эффект в виде периодических колебаний напряжения наблюдали и на кристаллизующихся полимерах при больших степенях вытяжки [4].

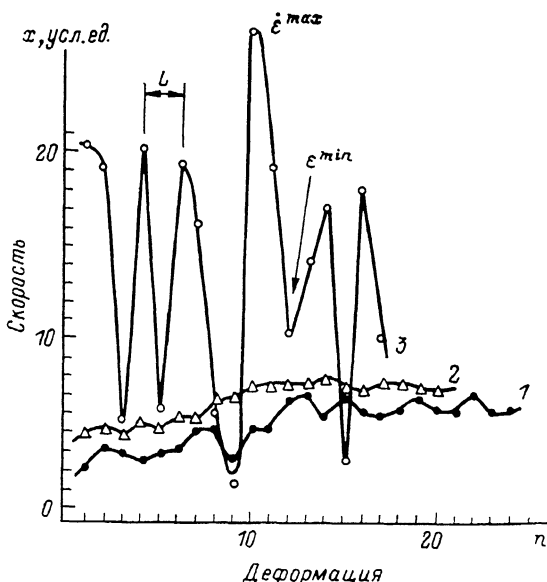


Рис. 1. Зависимость характеристики x скорости ползучести ($\dot{\epsilon} = 3.3 \cdot 10^{-5} / x$) от приращения деформации на разных стадиях ползучести для ПВХ.

Деформация ϵ , %: ~ 2 (1), ~ 30 (2), $\sim 3.5 \times 10^3$ (3). n — последовательность измерений через 0.005 %.

Применение в данной работе более совершенной методики измерения скорости ползучести на малых базах деформации позволило наблюдать периодические мелкомасштабные приращения деформации и на аморфных полимерах, структура которых не имеет дальнего порядка.

Образцы в виде цилиндров диаметром 3 и высотой 6 мм испытывали при одноосном сжатии под действием постоянного осевого напряжения σ . Исследовали поливинилбутираль (ПВБ), полиметилметакрилат (ПММА), поликарбонат (ПК), поливинилхлорид (ПВХ), сополимеры стирола с метакриловой кислотой (ПС+5, 16, 33, 50 % МАК) и аморфно-кристаллический

полиэтилен высокого давления (ПЭВД). Интерферометрический способ записи деформации ϵ во времени [5] прежде всего дает возможность более тонкого анализа скорости процесса. Приращение деформации на $3 \cdot 10^{-4}$ мм (0.005 %) отражается на интерферограмме в виде одного биения. По расстоянию x между двумя соседними максимумами амплитуд биения, т. е. на базе деформации 0.3 мкм, определяли скорость ползучести $\dot{\epsilon}$ последовательно в каждой данной «точке» с точностью $\sim 1\%$. Далее строили зависимость $\dot{\epsilon} - \epsilon$, откладывая точки через каждые 0.005 % деформации, и анализировали отклонения от среднего значения $\dot{\epsilon}$ (рис. 1). Для характеристики колебаний около среднего уровня скорости введено две величины: приращение деформации L , соответствующее периоду колебаний скорости на кривой $\dot{\epsilon} - \epsilon$, и отношение \bar{h} максимума $\dot{\epsilon}^{\max}$ и минимума $\dot{\epsilon}^{\min}$

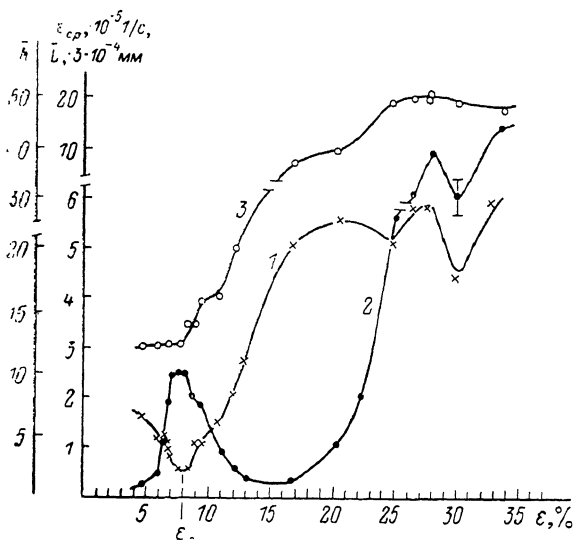


Рис. 2. Зависимость средней скорости ползучести $\dot{\epsilon}_{\text{ср}}$ (1), параметра неоднородности скорости в периоде \bar{h} (2), длины периода деформации \bar{L} (3) от общей деформации ползучести при 20 °С для ПС+16 % МАК. $\sigma = 87$ МПа.

скорости в периоде тех же колебаний. Среднее \bar{L} из 5 колебаний считали средней длиной деформационного периода, а величину

$$\bar{h} = \frac{\sum_{k=1}^n \dot{\epsilon}_k^{\max} / \dot{\epsilon}_k^{\min}}{n}$$

неоднородностью скорости ($n=5$), характеризующей размах колебаний на данном отрезке деформации, т. е. степень крутизны скачка в традиционных координатах «деформация—время». Оказалось, что характеристики колебаний скорости (скачков деформации) по мере развития ползучести изменяются закономерно. Из рис. 2 видно, что изломы на кривых $\bar{h} - \epsilon$, $\bar{L} - \epsilon$ соответствуют особым точкам на кривой ползучести. Для всех материалов наблюдается максимум \bar{h} в точке ϵ_b , соответствующей пределу вынужденной эластичности данного полимера, а длина периода \bar{L} (высота скачка) вблизи ϵ_b примерно постоянна. Разрушение исходной структуры и формирование новой при $\epsilon > \epsilon_b$ соответствует снижению \bar{h} с увеличением скорости $\dot{\epsilon}$, а затем, при замедлении процесса и в случае образования локализованного сдвига (утолщение на образце), повышению \bar{h} и проявлению четкой и стабильной периодичности. Периодическая ползучесть при $\epsilon > \epsilon_b$ соответствует появлению на образце тонких ($\sim 10 \div 50$ мкм шириной) выпуклых поперечных полос, т. е. локализованной или скачкообразной деформации более крупного масштаба. Предполагается, что на-

блюдаемая скачкообразность микронного уровня отражает общий характер деформационных процессов и является следствием скачкообразного движения и на более глубоких уровнях, обусловленного, например, регулярной неоднородностью потенциала межмолекулярных взаимодействий, преодолеваемых в сдвиговых актах. Предположение подтверждается корреляцией между характеристикой неоднородности скорости \hbar и показателем неоднородности взаимодействий в среде полимера E_R^{\max}/E_R^{\min} , где E_R^{\max} и E_R^{\min} — максимальная и минимальная энергии когезии между атомными группами в цепи данного полимера. Масштаб периодичности на любом уровне зависит, вероятно, от размеров упорядоченных областей в аморфных структурах [6]. Данные работы соответствуют представлениям о масштабных уровнях деформации [7].

Таким образом, экспериментально показано, что скачкообразность деформации аморфных полимеров в стеклообразном состоянии закономерно проявляется на разных стадиях ползучести и является характерным ее признаком. Предполагается, что периодичность деформации существует на разных уровнях, определяемых морфологией, включая элементарный. Корреляции, упоминаемые в статье, не противоречат предположению о связи мелкомасштабной периодичности с регулярной неоднородностью межмолекулярных взаимодействий.

Формальные модели, объясняющие эффект скачков [2, 3], частично могут быть применены и в данном случае.

Из вышеизложенного следует, что скачкообразность — еще одна общность в кинетике деформации тел разных классов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Andrade E. N. Proc. R. Soc., 1910, vol. 84A, p. 1.
- [2] Ananthakrishna G., Sahoo D. Phys. D: Appl. Phys., 1981, № 14, p. 2081—90.
- [3] Малыгин Г. А. ФТТ, 1987, т. 29, № 6, с. 1633—39.
- [4] Кечекьян А. С., Андрианова Г. П., Каргин В. А. Высокомолек. соед. А, 1970, т. 12, № 11, с. 2424—2434.
- [5] Песчанская Н. Н., Степанов В. А. ФТТ, 1978, т. 20, № 7, с. 2005—2011.
- [6] Лебедев В. П. Успехи химии, 1978, т. 47, № 1, с. 127—151.
- [7] Владимиров В. И. В сб.: Вопросы теории дефектов в кристаллах. Л.: Наука, 1987. 176 с.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
25 декабря 1987 г.

УДК 535.194 : 548.4

Физика твердого тела, том 30, в. 7, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 7, 1988

ПСЕВДОЭФФЕКТ ЯНА—ТЕЛЛЕРА В КОМПЛЕКСАХ ТИПА XY₄

Л. А. Шульман

Для электронно-вырожденных или квазивырожденных состояний системы (комплекса) возможен либо эффект Яна—Теллера, либо псевдоэффект Яна—Теллера (ПЯТ) соответственно [1, 2]. В [3] показано, что ПЯТ может быть существенным и в том случае, когда энергетический зазор между уровнями различной четности значителен. В [4, 5] указано о заметной тригональной статической дисторсии в замещающих примесных центрах азота в алмазе (простейшая модель NC₄). Согласно теоретическим данным [6, 7], уровень симметричного невырожденного состояния A₁ в запрещенной зоне находится ниже уровня трижды вырожденного со-