

УДК 539.3

## ПРЕРЫВИСТАЯ ТЕКУЧЕСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2011 г.

*Л.А. Мерзиевский, Е.О. Авсейко*

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

merzh@hydro.nsc.ru

*Поступила в редакцию 15.06.2011*

Получены диаграммы деформирования полиметилметакрилата (ПММА) и фторопласта (ПТФЭ) в широком диапазоне изменения скорости деформации. Установлено, что при необратимом деформировании ПММА и ПТФЭ прерывистая текучесть возникает, по крайней мере, на трех масштабных уровнях и имеет периодический характер. Выявлены области существования скачков разных масштабных уровней. Проведен статистический анализ скачков напряжения на диаграммах деформирования. Результаты позволяют проследить тенденции изменения характера прерывистой текучести в зависимости от скорости деформации. Полученные статистические данные позволяют сделать вывод о масштабной инвариантности скачкообразной деформации исследованных полимеров. Обсуждается связь особенностей прерывистой текучести с механизмами необратимого деформирования полимеров.

*Ключевые слова:* полиметилметакрилат, фторопласт, диаграммы деформирования, прерывистая текучесть, масштабная инвариантность.

### Введение

Неоднородность на микроскопическом уровне механизмов необратимых деформаций, определяющихся эволюцией структурных дефектов или особенностями строения среды, в определенных условиях приводит к «аномалиям» макроскопических механических свойств в форме различных проявлений неустойчивости и неоднородности необратимой деформации. Тогда на диаграммах деформирования появляется зуб текучести, наблюдается явление прерывистой текучести (эффект Портевена – Ле-Шателье), возникает обратная (отрицательная) скоростная и температурная чувствительность сопротивления деформированию и ряд других эффектов. Часть таких явлений удается однозначно связать с определенными микроструктурными изменениями, другие ввиду многофакторности связаны с целым комплексом микроструктурных процессов. В работе приводятся результаты исследования прерывистой текучести полимерных материалов, обсуждаются возможные механизмы наблюдаемых «аномалий». Ранее явление прерывистой текучести на микроуровне наблюдалось и анализировалось в [1, 2].

### Постановка экспериментов

Получены и проанализированы диаграммы деформирования полиметилметакрилата (ПММА) и политетрафторэтилена (ПТФЭ), полученные

при испытаниях на сжатие в широком интервале изменения скоростей нагружения (от  $1.5 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \text{ с}^{-1}$ ). Эксперименты проводились на установке для испытания материалов Zwick/Z100 модели TC-FR100TL.A4K с электромеханическим приводом, оборудованной системой автоматизированного управления, с выводом измеряемых параметров на персональный компьютер. Замер абсолютной продольной деформации при сжатии производился по перемещению траверсы (разрешение системы привода установки 0.02 мкм). Приложенная сила измерялась нагрузочным модулем TC-LC100kN.G02, точность измерения – 1 Н. Размеры испытывавшихся цилиндрических образцов выбирались с учетом критерия, обеспечивающего получение корректных диаграмм деформирования.

Экспериментальные кривые деформирования обрабатывались с учетом сжимаемости материалов опытных образцов и изменения площади их поперечного сечения в процессе сжатия.

### Обсуждение результатов

Анализ диаграмм деформирования обоих материалов показал, что они содержат участки прерывистой (скачкообразной) текучести, то есть наблюдаются макроскопические проявления неоднородности и неустойчивости необратимой деформации.

Особенностями диаграмм деформирования

обоих материалов при низких скоростях нагружения (для ПММА – 0.05–10 мм/мин, для ПТФЭ – 0.05–1 мм/мин) является наличие скачков, по крайней мере, трех масштабных уровней. Первый уровень – мелкомасштабные скачки, второй уровень – скачки промежуточного масштаба, третий уровень – крупномасштабные скачки. Скачкообразность в данном случае не является хаотичной, поскольку имеет место закономерное изменение периодичности скачков: каждые 2–3 скачка, идущие через один, имеют в среднем одинаковый, но не равный между собой период. По-видимому, наблюдаемые особенности диаграмм деформирования связаны с определенным структурным элементом полимера, активизация перемещения которого приводит к появлению скачков на диаграммах.

Диаграммы деформирования ПТФЭ ведут себя скачкообразно практически во всем диапазоне деформаций. Периоды скачков третьего уровня на диаграммах группируются около определенного значения. Таким образом, можно сказать, что скачки третьего уровня представляют собой достаточно регулярные колебания.

Из обобщенных в таблице данных следует, что после детального анализа диаграмм деформирования ПММА, полученных при разных скоростях нагружения, можно выделить по два диапазона деформаций, в пределах которых наблюдается прерывистая текучесть.

тервалы, подсчитывалось количество значений, приходящееся на каждый интервал, и строились гистограммы распределения. Полученные функции распределения с хорошей точностью могут быть аппроксимированы степенной функцией, что свидетельствует о масштабной инвариантности процесса деформации. Это означает, что система микроструктурных механизмов деформирования полимеров обнаруживает признаки самоорганизованной критичности [5].

## Выводы

Изучена прерывистая текучесть деформируемых полимеров на макроскопическом уровне. Установлено, что при необратимом деформировании ПММА и ПТФЭ при низких скоростях деформации прерывистая текучесть возникает, по крайней мере, на трех масштабных уровнях. Статистический анализ скачков деформирующего напряжения показал, что явление скачкообразной деформации полимеров обнаруживает признаки самоорганизованной критичности.

В проведении экспериментов принимал участие Е.В. Карпов, которому авторы выражают свою искреннюю благодарность.

*Работа поддержана Интеграционным проектом СО РАН №115.*

Таблица

**Диапазоны деформаций скачков второго и третьего масштабных уровней на диаграммах деформирования ПММА**

№ образца	Скорость деформации, с <sup>-1</sup>	Диапазон деформаций скачков второго уровня, %		Диапазон деформаций скачков третьего уровня, %	
		первый	второй	первый	второй
3	0.00015	9–12	18–25	9–12	17–25
4	0.00015	10–12	16–24	10–12	16–25
5	0.00018	9–12	17–23	9–12	17–26
8	0.04241	10–11	22–36	9–13	22–36

Установленные таким образом границы областей достаточно условны, так как полученных данных недостаточно для их четкого определения. Статистический анализ скачков деформирующего напряжения проводился по методике, аналогичной предложенной в [3, 4].

В ходе статистического анализа измерялись величины и периоды скачков деформирующего напряжения разных масштабных уровней, значения величин скачков нормировались на величину их периодов. Далее весь диапазон значений нормированной величины скачков разбивался на ин-

## Список литературы

1. Песчанская Н.Н., Якушев П.Н. // ФТТ. 1988. Т. 30. Вып. 7. С. 2196–2198.
2. Песчанская Н.Н. и др. // ФТТ. 2002. Т. 44. Вып. 9. С. 1609–1613.
3. Лебедкин М.А., Дунин-Барковский Л.Р. // ЖЭТФ. 1998. Т. 113. Вып. 5. С. 1816–1829.
4. Лебедев В.П., Крыловский В.С., Лебедев С.В., Савич С.В. // ФТТ. 2007. Т. 49. Вып. 11. С. 1994–2000.
5. Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 59. P. 381–384.

**JERKY FLOW OF POLYMERIC MATERIALS***L.A. Merzhievsky, E.O. Avseiko*

The stress-strain curves of polimetilmetakrilat (PMMA) and polytetrafluoroethylene (PTFE) in a wide range of change of strain-rates are obtained. It is found, that at irreversible deformation PMMA and PTFE jerky flow arises, at least, at three scale levels and has a periodic character. The region of existence of jumps of different scale levels is revealed. The statistical analysis of jumps of pressure on stress-strain curves is carried out. The results make it possible to track the tendencies of change of the character of jerky flow as a function of strain-rates. The obtained statistical data allows one to make a conclusion on scale invariance of jerky flow of the investigated polymers. The connection of peculiarity of jerky flow with mechanisms of irreversible deformation is discussed.

*Keywords:* polimetilmetakrilat, polytetrafluoroethylene, stress-strain curves, jerky flow, scale invariancy.