

УДК 539.3

## ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПОЛИУРЕТАНОВОГО МАТЕРИАЛА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТЕРМОСИЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ

© 2011 г.

*А.Ю. Ларичкин*

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

larichking@gmail.com

*Поступила в редакцию 15.06.2011*

Исследованы закономерности деформирования квазиполимерного двухкомпонентного полиуретанового материала дуотан QA65 в диапазоне температур 20–100 °С, при одноосном нагружении. Построены кривые деформирования материала для упругих потенциалов Генки, Муни–Ривлина, Бартенева–Хазановича. Получена зависимость констант этих упругих потенциалов от температуры в определенном диапазоне. По результатам экспериментов на релаксацию дуотана проведен анализ функций релаксации, в предположении линейной вязкоупругости, для различных начальных деформаций. Методом конечных элементов проведено численное моделирование деформирования сайлентблока вследствие перемещения втулки. Расчет проведен с использованием упругого потенциала Муни–Ривлина.

*Ключевые слова:* эксперимент, одноосная деформация, температура, конечно-элементный анализ, упругий потенциал.

### Исследуемый материал

Объектом исследования является резиноподобный материал дуотан QA65, получаемый в результате смешивания двух жидких компонентов (основы и отвердителя). В процессе смешивания происходит начальная полимеризация с выделением теплоты. Полученная таким образом субстанция какое-то время находится в жидком состоянии, что позволяет заливать ее в необходимые формы для дальнейшей полимеризации при постоянной температуре 80 °С и образования упругих деталей из дуотана. Материал устойчив к абразивному износу и воздействию агрессивных сред (нефтепродукты, кислоты, щелочи), мало подвержен старению и высыханию, что позволяет использовать его для изготовления демпфирующих деталей подвески автомобиля, различных уплотнителей, покрытий для металлических поверхностей и т.п.

### Экспериментальные исследования

Проведены серии экспериментов на растяжение и сжатие образцов из дуотана при различных температурах и скоростях деформирования. Цилиндрические образцы высотой 40 мм и диаметром 30 мм подвергались сжатию от 20% до 75% относительной деформации при скоростях деформирования  $v_1 = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  и  $v_2 = 0.6 \text{ с}^{-1}$  в темпе-

ратурном диапазоне (28–100) °С.

Цилиндрические образцы длиной 120 мм и диаметром 8 мм растягивались от 100% до 400% относительной деформации при скоростях деформирования  $v_1 = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  и  $v_2 = 0.03 \text{ с}^{-1}$  в том же температурном диапазоне. При сжатии свойства материала значительно зависят от степени деформирования, например при достижении 75% деформации изменения становятся необратимыми. При растяжении предельная обратимая деформация равна 200%.

Наблюдался процесс частичного восстановления материала нагревом: при непродолжительной выдержке материала при температуре, близкой к 100 °С, происходит полное восстановление формы образца даже после весьма значительных остаточных деформаций. Однако после такого восстановления способность материала сопротивляться деформированию заметно уменьшается. Если же после температурного восстановления формы выдержать некоторое время без нагрузок, происходит медленное восстановление его упругих свойств.

Повышение температуры приводит к уменьшению значения модуля сдвига материала. Зависимость между модулем сдвига и температурой линейна. Кривые деформирования определялись путем пересчета экспериментальных данных в зависимость между истинными напряжениями и логарифмическими деформациями.

### Упругие потенциалы и анализ функции релаксации

Для расчета изделий из дуотана были рассмотрены упругие потенциалы Генки, Муни–Ривлина, Бартенева–Хазановича, константы которых определялись из кривых деформирования методом наименьших квадратов. Удовлетворительное совпадение теоретического расчета по упругим потенциалам с экспериментом наблюдается только на участке от 0% до 60% логарифмической деформации. Поскольку при эксплуатации материал обычно испытывает деформации в пределах данного диапазона, точность расчетов с использованием этих потенциалов можно считать достаточной. Проведен анализ функции релаксации в рамках линейной модели вязкоупругости.

На рис. 1 представлены зависимости функции релаксации  $\phi$  от времени  $t$  для начальной относительной деформации в 20% и 40%, при скоростях деформирования  $3 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ ,  $6 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ ,  $12 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ . Анализ показал, что функция релаксации практически не зависит от начальной скорости деформирования, но существенно зависит от степени начальной деформации, что указывает на нелинейность вязкоупругого поведения материала.

На основе анализа результатов механических испытаний проведен численный эксперимент по

деформированию дуотанового сайлентблока (демпфирующего узла рычага подвески автомобиля) с помощью конечно-элементного пакета MARK. Моделировалось нагружение блока путем вдавливания втулки вдоль оси симметрии. Строилась модель этого узла. Металлические части узла рассматривались, как абсолютно жесткие тела. Их влияние на полимерный блок моделировалось жестким закреплением внешней границы блока, а также запретом на внутренней границе всех перемещений, кроме осевого. Осевое перемещение задавалось в качестве граничного условия. Материал моделировался с помощью упругого потенциала Муни–Ривлина. Данные численного решения хорошо согласуются с реальным экспериментом.

*Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» государственный контракт 14.740.11.0355, интеграционного проекта СО РАН, УрО РАН, ДВО РАН №119.*

#### Список литературы

1. Виноградов Г.В., Малкин А.А. Реология полимеров. М.: Химия, 1977. 440 с.
2. Бартенев Г.М., Зеленов Ю.В. Физика и механика полимеров. М.: Высш. школа, 1983. 391 с.
3. Огибалов П.М., Ломакин В.А., Кишкин Б.П. Механика полимеров. М.: МГУ, 1975. 528 с.

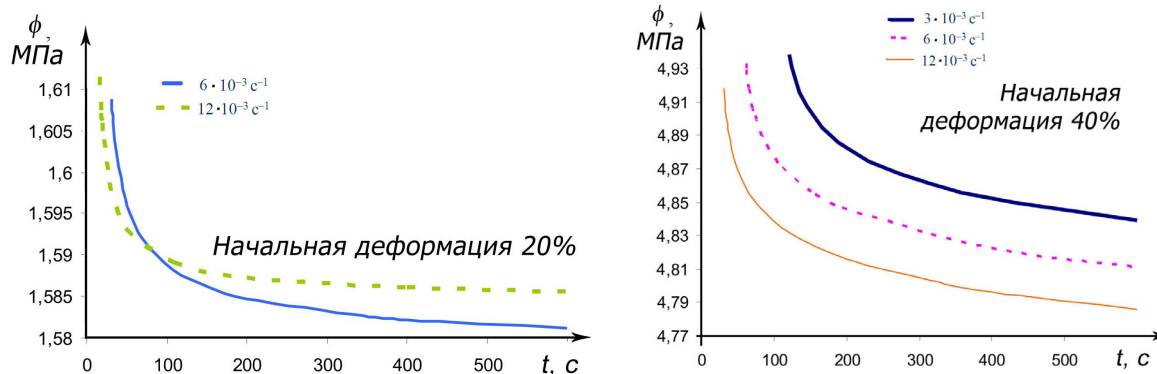


Рис. 1

### DEFORMATION OF A POLYURETHANE MATERIAL UNDER VARIOUS TYPES OF TEMPERATURE-FORCE LOADING

A. Yu. Larichkin

The deformation regularities of duothan QA965 (two-component polyurethane material) in the temperature range of 20–100 °C under uniaxial loading are investigated. Deformation curves of the material for Henky's, Mooney-Rivlin's, Bartenev-Khazanovich's elastic potentials are constructed. The dependence of the elastic constants of these potentials on the temperature within a certain range was obtained. Relaxation functions were analyzed according to the results of experiments of the duothan's relaxation for different initial strain into assumption of linear viscoelasticity. Numerical simulation of silent-block deformation by moving the sleeve, was held by finite element method. The calculation was performed using the elastic potential Mooney–Rivlin.

*Keywords:* experiment, uniaxial strain, temperature, finite element analysis, elastic potential.