УДК 541.64:539.2:534.1

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ В ОБЛАСТИ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ НА ПРОЦЕСС РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ В ПОЛИМЕРАХ

Г. Л. Слонимский, А. А. Аскадский, Ф. Н. Нурмухаметов, В. Ф. Алексеев

Разработана установка для исследования влияния вибрации в области звуковых частот на релаксацию механического напряжения. Показано, что ускорение релаксационного процесса при действии вибрации зависит как от химического строения полимера, так и от его надмолекулярной структуры.

В технике полимерные материалы часто эксплуатируются в условиях одновременного воздействия статических и динамических нагрузок. В связи с этим в ряде случаев необходимо проводить исследования релаксационных свойств полимерных

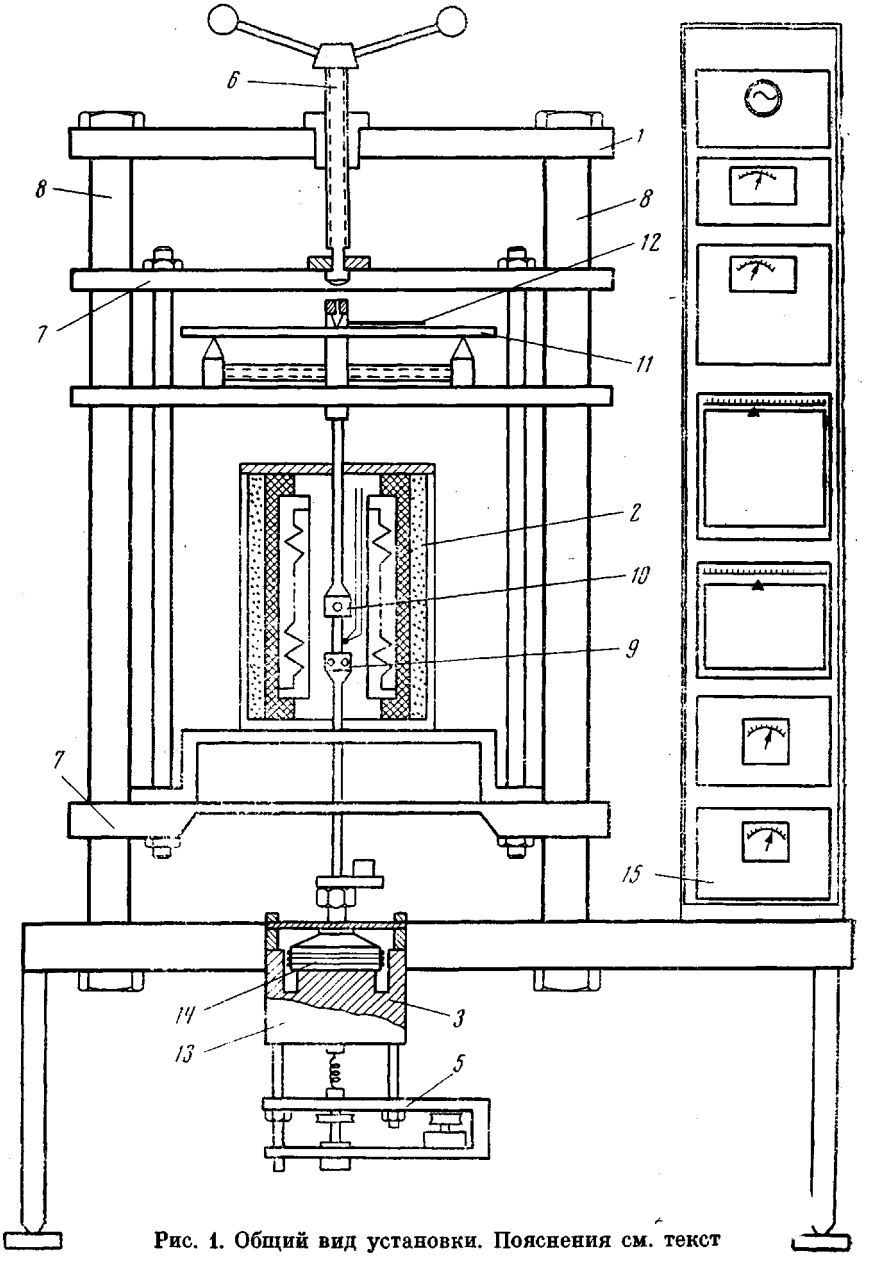

Рис. 1. Общий вид установки. Пояснения см. текст

материалов в тех же условиях. Выяснение влияния вибраций на релаксационные свойства полимеров представляет также большой научный интерес, так как это позволяет полнее выявить механизм релаксационного процесса [1–4]. Нами разработана установка, которая позволяет изучать релаксацию напряжения в полимерах при статической средней деформации в условиях вибрации. Такое сочетание усложняет конструктивное исполнение установки, в которой, помимо создания вибрации, необходимо предусмотреть устройство, поддерживающее созданную в полимере статическую деформацию строго постоянной.

Установка, общий вид которой приведен на рис. 1, состоит из следующих узлов: релаксометра, задающего звукового генератора с усилителем мощности, измерительного узла с блоком автоматической записи механического напряжения. Принцип работы установки основан на методе вынужденных нерезонансных колебаний.

Релаксометр предназначен для создания заданного режима статического и динамического деформирования образца в процессе эксперимента. Релаксометр состоит из динамометра *1*, термостата *2*, звукового электродинамического вибратора *3*, мембрана которого жестко связана с нижним зажимом релаксометра *4*, и устройства для автоматического поддержания постоянной статической деформации в процессе релаксации механического напряжения *5*.

Динамометр имеет нагружающее устройство, предназначенное для создания статической деформации образца и для крепления вибратора с термостатом. Оно состоит из винта *6* и двух поперечных балок *7*, жестко связанных между собой двумя направляющими *8*. При вращении винта балки, двигаясь по этим направляющим, перемещают нижний зажим *9* образца, создавая при этом необходимую статическую деформацию. Верхний зажим образца *10* при этом остается неподвижным, так как он соединен с жесткой балкой *11* с наклеенным на нее тензометрическим полумостом *12*. Балка находится на двух опорах, перемещением которых можно задавать различный пролет. В результате прибор позволяет с большой точностью измерять релаксирующее напряжение в образце независимо от величины этого напряжения. Пределы измерений от 10 *Г* до 10 *кГ*.

Термостат предназначен для поддержания заданной постоянной температуры в течение всего опыта в пределах —160—600°.

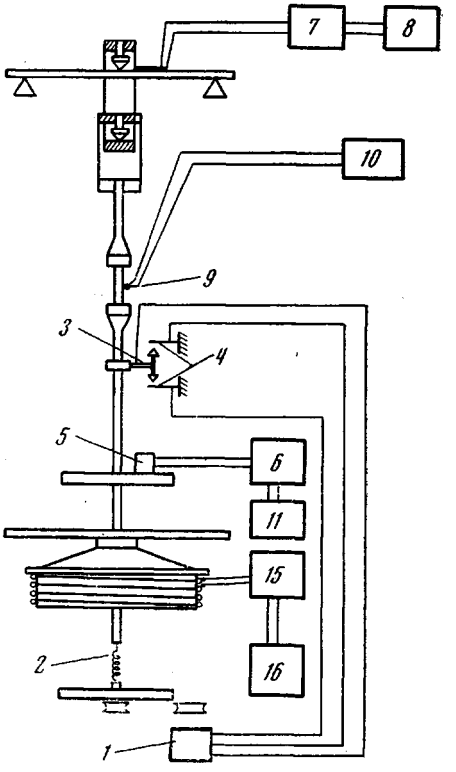

Рис. 2. Блок-схема установки. Пояснения см. текст

Звуковой вибратор служит для возбуждения механических колебаний на звуковых частотах. Амплитуда колебаний лежит в пределах 0–1,5 *мкм* с точностью $\pm 5 \cdot 10^{-3}$ *мм*. Вибратор состоит из постоянного магнита *13* и мембраны со звуковой катушкой *14*, обмотка которой питается от усилителя мощности *15* (рис. 2). Задающим электрические колебания является генератор звуковой частоты *16*.

Устройство, автоматически поддерживающее заданную статическую деформацию постоянной, состоит из электромотора *1*, пружины *2* и системы контактов *3*, *4*, непосредственно связанных с мембраной вибратора. Во время задания статической деформации и в процессе релаксации напряжения гибкая мембрана прогибается и отклоняется от «нулевого положения». Синхронно срабатывает контакт *3*, который перемещается вместе с мембраной вибратора и включает электромотор, возвращающий мембрану в исходное положение при помощи пружины. После возвращения мембраны в исходное положение, электромотор автоматически выключается вследствие размыкания электрических контактов. Благодаря гибкой связи мембраны с мотором, препятствий для этих перемещений практически не возникает. Положение мембраны поддерживается с точностью до ±0,025 *мм*.

Величина амплитуды вибрации регулируется изменением мощности, подводимой к обмотке звуковой катушки мембраны. Для этого в установке предусмотрена плавная регулировка входного напряжения усилителя мощности. Для измерения параметров вибрации и релаксирующего напряжения на данной установке, блок-схема которой приведена на рис. 2, используются следующие приспособления. Амплитуда

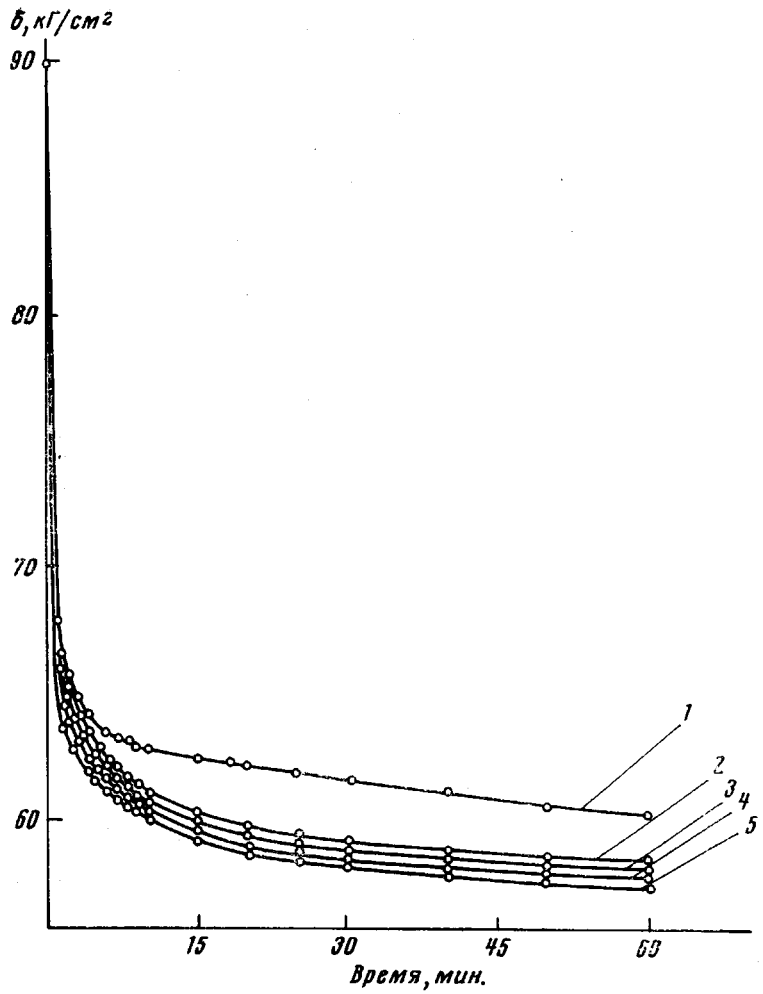

Рис. 3

Рис. 3. Кривые релаксации напряжения для ПЭ высокого давления при действии вибрации с амплитудой 0,03 *мкм* и частотой 0 (*1*); 1,8 (*2*); 3,7 (*3*); 7,5 (*4*) и 15 *кгц* (*5*)

Рис. 4. Кривые релаксации напряжения для изотактического полипропилена в отсутствие вибраций (*1*, *2*) и при действии вибрации с частотой 15 *кгц* и амплитудой 0,03 *мкм* (*3*, *4*). Диаметр сферолитов 220 (*1*, *3*) и 20 *мкм* (*2*, *4*)

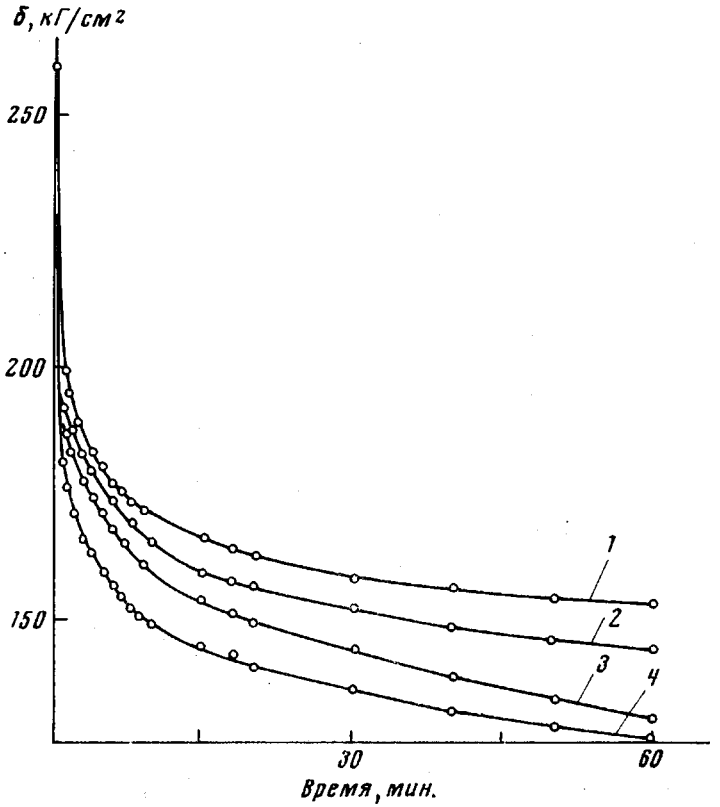

Рис. 4

вибрации измеряется пьезокерамическим датчиком *5*, выход которого соединен с прецезионным микровольтметром *6*. Выходной сигнал микровольтметра после предварительного усиления поступает в электронный потенциометр для контроля постоянства амплитуды вибрации в течение опыта. Датчик предварительно оттарирован и для него имеется калибровочная кривая, позволяющая легко определять амплитуду колебаний по показаниям микровольтметра.

Измерение релаксирующего напряжения производится с помощью тензометрического моста, питание которого осуществляется от сухих гальванических элементов. Электрический сигнал с тензометрического моста подается на вход микровольтметра *7*, сигнал с которого поступает на электронный автоматический потенциометр *8*; на этом потенциометре записывается кривая релаксации механического напряжения.

Температуру образца измеряют термопарой *9* и записывают на электронном автоматическом потенциометре *10*; с его помощью она может поддерживаться постоянной с точностью ±1°.

Форма колебаний, возбуждаемых в образце, контролируется при помощи осциллографа *11*. Частота колебаний измеряется с помощью электронно-счетного частотомера с точностью ±0,1 *гц*.

Методика исследования состоит в следующем. Полимерный образец одноосно растягивается до заданной статической деформации ε_0 или до заданного начального напряжения $\delta_н$ (минимальное время задания деформации или напряжения 1 сек.). В процессе растяжения и после достижения заданной деформации или напряжения образец подвергается воздействию синусоидальной деформации с амплитудой $\Delta\varepsilon$. Для получения сравнительных результатов проводится запись кривой релаксирующего напряжения для контрольного образца этого же полимера при той же деформации в отсутствие вибрации. Проведенные на описанном выше приборе опыты показали его пригодность для изучения влияния вибрации на звуковых частотах на скорость релаксационного процесса. Из рис. 3, 4 видно, что влияние вибрации на релаксирующее напряжение в полимерах зависит как от химического строения, так и от надмолекулярной структуры. Из рис. 3 видно, что при действии на деформированный образец полиэтилена механических вибраций (в области звуковых частот) процесс релаксации напряжения ускоряется незначительно. Так, увеличение частоты вибрации от 0 до 15 *кгц* при 24° приводит к дополнительному спаду напряжения за первый час всего лишь на 10 *кГ/см²* при начальном напряжении, равном 90 *кГ/см²*.

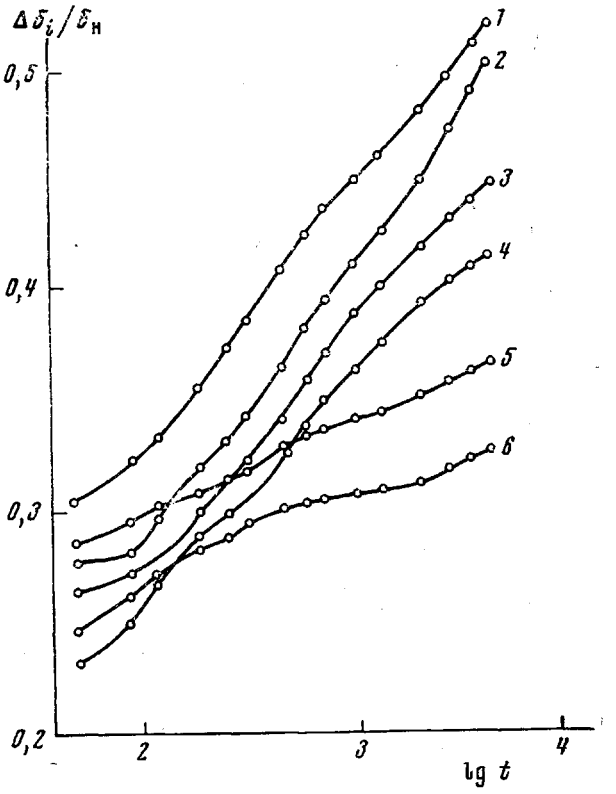

Рис. 5. Зависимость относительного релаксирующего напряжения от lg *t* для полипропилена (*1–4*) и ПЭ (*5*, *6*); диаметр сферолитов 20 (*1*, *3*) и 220 *мкм* (*2*, *4*). Кривые *3*, *4* и *6* получены в отсутствие вибраций; *1*, *2* и *5* – при действии вибрации с частотой 15 *кгц* и амплитудой 0,03 *мкм*

В случае изотактического полипропилена (рис. 4) влияние вибраций звуковой частоты проявляется более значительно. При этом ускорение релаксационного процесса не одинаково для образцов с разными размерами элементов надмолекулярной структуры (сферолитов). Образцы, построенные из крупных сферолитов, оказываются более чувствительными к действию вибрации – скорость релаксации напряжения в них существенно увеличивается. Для сравнительной оценки влияния звуковых вибраций на скорость релаксации напряжения нами были построены графики релаксационных кривых в приведенных координатах $\Delta\delta_i/\delta_н$ и lg *t*, где $\Delta\delta_i=\delta_н-\delta_i$, δ_i – релаксирующее напряжение в момент времени t_i, $\delta_н$ — начальное напряжение. Из рис. 5 видно, что относительный спад напряжения в случае ПЭ и полипропилена в начальной стадии приблизительно одинаков; с увеличением длительности процесса скорость релаксации в случае полипропилена выше. Наибольшее возрастание относи-

тельно спада напряжения и скорости релаксации напряжения характерно при действии вибраций в области высоких звуковых частот, особенно в случае образцов, элементами надмолекулярной структуры которых являются большие, хорошо развитые и четко разграниченные сферолиты.

Институт элементоорганических соединений АН СССР

Поступила в редакцию
30 XI 1972

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Л. Слонимский, И. П. Алексеев, Докл. АН СССР, 106, 1056, 1956.
2. Г. И. Баренблатт, Ю. И. Козырев, Н. И. Малинин, Д. Я. Павлов, С. А. Шестериков, Докл. АН СССР, 166, 813, 1966.
3. Ч. Л. Даугсте, С. Л. Скалозуб, Ю. С. Уржумцев, Механика полимеров, 1971, 1124.
4. Г. М. Бартенев, Л. А. Шелковникова, Механика полимеров, 1972, 720.