

Определение модуля упругости полимерных гелей методом одноосного сжатия. Расчет эффективной концентрации эластически активных субцепей в геле (1 занятие – 6 часов).

Цель работы: определение модуля упругости полимерных гелей методом одноосного сжатия. Расчет концентрации эластически активных субцепей в образцах гелей по данным механических измерений. Анализ полученных результатов на основании данных по условиям синтеза исследуемых гелей.

Объекты исследования: полиакриламидные (ПАА) гели.

Приборы: установка для механических измерений (рис.1), секундомер.

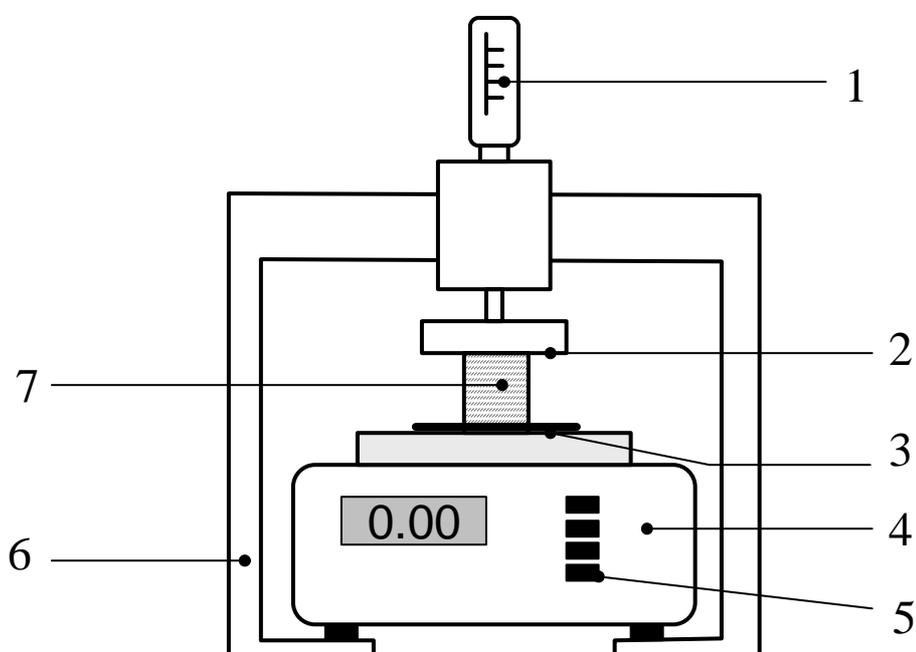


Рис.1. Установка для механических измерений. 1 – микрометр, 2 – рабочая поверхность насадки микрометра, 3 – подложка, 4 - весы, 5 – кнопка сброса, 6 – кронштейн, 7 – образец геля.

Один из способов определения модуля упругости полимерных гелей заключается в определении зависимости нагрузки на образец от величины деформации при сжатии образца. Вид установки, предназначенной для таких измерений и используемой в данной работе, приведен на рис.1. Установка состоит из весов 4 и закреплённого на кронштейне 6 микрометра 1. Образец геля 7 помещается на подложке 3 на платформе весов. Давление на образец производится рабочей поверхностью 2 насадки

микрометра. Величина деформации определяется по микрометру. Показания весов дают величину приложенной нагрузки.

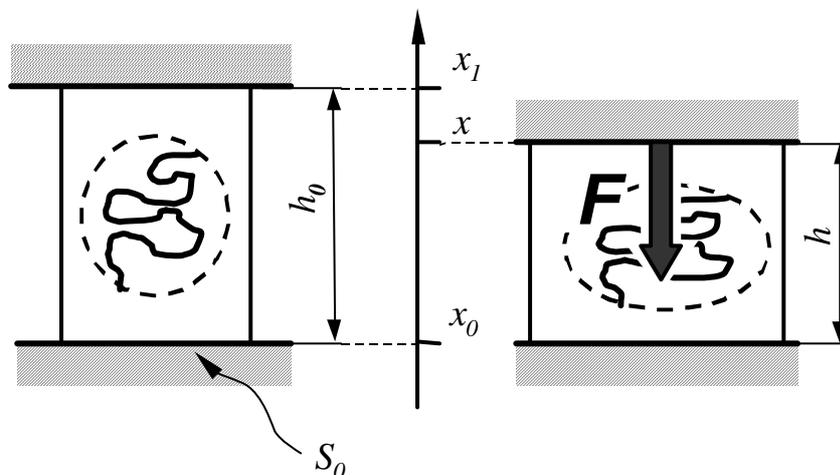


Рис.2. Параметры, используемые для вычисления модуля упругости гелей.

Методика работы.

1. Включить весы. Поместить подложку на платформу весов, расположив её под рабочей поверхностью. Если показания на индикаторе весов отличны от нуля, нажать на кнопку сброса 5 (рис.1). При помощи микрометра 1 осторожно подвести рабочую поверхность 2 к подложке 3. В момент их соприкосновения показания весов изменятся. Координату данного положения x_0 определяют по микрометру (рис.2). Затем рабочую поверхность отводят на 2 см вверх.

2. Исследуемый образец на подложке помещают на платформу весов под рабочей поверхностью. Кнопкой сброса устанавливают ноль на индикаторе. Осторожно подводят рабочую поверхность к образцу до их соприкосновения. Необходимо убедиться в том, что при дальнейшем сокращении расстояния между рабочей поверхностью и платформой показания весов изменяются. По микрометру определяют координату данного положения x_1 .

Высоту образца h_0 рассчитывают по разности $(x_1 - x_0)$. Определив h_0 , выбирают величину максимальной деформации образца (около 0,2 от величины h_0) и определяют шаг изменения деформации образца таким образом, чтобы на выбранном интервале изменения деформации уместилось, по крайней мере, 15 точек. Удобно производить измерения с шагом 0,05 или 0,10 мм.

3. Для измерения зависимости нагрузки P на образец от величины деформации рабочую поверхность перемещают вниз с выбранным шагом, каждый раз записывая величину приложенной нагрузки.

После каждого перемещения напряжение в образце начинает релаксировать до своего равновесного значения и может значительно меняться в течение первых секунд после изменения величины деформации. Вследствие этого необходимо выбрать некоторый временной интервал Δt , по истечении которого будет фиксироваться величина установившейся нагрузки $P_{\Delta t}$. Величина Δt должна быть выбрана так, чтобы разность между равновесным значением $P_{равн}$ и $P_{\Delta t}$ соответствовала точности производимых измерений. При выборе Δt следует учесть тот факт, что наряду с релаксацией в образце происходят другие процессы, приводящие к изменению величины напряжения (под действием давления из образца может выделяться растворитель, кроме того, на воздухе образец постепенно высыхает). Поэтому величина Δt не должна быть слишком большой (рекомендуемое значение - $15 \div 20$ с). Время Δt должно быть одинаковым для всех измерений.

4. Для каждого из четырех гелей, синтезированных при различной концентрации сшивающего агента $V_{хим}$, получают кривые зависимости нагрузки от деформации, увеличивая величину деформации. Для одного из образцов кривую снимают в двух направлениях (сначала увеличивая величину деформации, а затем уменьшая ее до исходного значения, соответствующего недеформированному гелю). Результаты измерений записывают в табл.1.

Табл.1. Форма представления результатов.

Образец №1

Концентрация сшивающего агента при синтезе $V_{хим} = \dots$

Величина деформации	Величина нагрузки	Приложенная к образцу сила	Напряжение	Относительное удлинение	
$(x_1 - x), \text{ мм}$	$P, \text{ кг}$	$F, \text{ н}$	$\sigma, \text{ н/м}^2$	λ	$\lambda - 1/\lambda^2$

5. Исходя из полученных данных, рассчитывают величины модуля упругости G в соответствии с разделом “Обработка результатов”.

Обработка результатов.

Модуль упругости G ПАА гелей вычисляется, согласно классической теории высокоэластичности, из следующего соотношения:

$$\sigma = G (\lambda - 1/\lambda^2), \quad (1)$$

где

$$\sigma = F/S_0,$$

σ - напряжение, F - приложенная сила, S_0 - площадь поперечного сечения недеформированного образца, λ - относительное удлинение образца ($\lambda = h/h_0$).

Для каждой из полученных точек вычисляют значения λ и σ , принимая величину S_0 равной $5,03 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$. При расчёте величины λ следует учесть перемещение платформы весов под действием нагрузки (приблизительно 0,1 мм на 160 г нагрузки):

$$\lambda = 1 - (x_1 - x - 0,1 \text{ мм} \cdot P / 160 \text{ г}) / (x_1 - x_0).$$

Данные записывают в табл.4. Строят графики зависимостей σ от $(\lambda - 1/\lambda^2)$ и определяют значения G . По классической теории высокоэластичности модуль упругости G связан с микроструктурой геля и определяется следующим выражением

$$G = \nu RT,$$

где R - универсальная газовая постоянная, T - температура, ν - плотность эластически активных цепей в образце.

Вопросы и задания.

1. В рамках классической теории высокоэластичности вывести соотношение (1), определяющее модуль упругости полимерных гелей. Обратить внимание на использованные при выводе формулы предположения.
2. Исходя из полученных значений G , необходимо рассчитать эффективную концентрацию эластически активных цепей ν в каждом из образцов геля. Построить зависимости G от $V_{хим}$ и ν от $V_{хим}$.
3. На графике экспериментально полученной зависимости ν от $V_{хим}$ привести аналогичную зависимость для идеальной сетки. Объяснить различие. В качестве идеальной сетки рассмотреть сетку, не содержащую дефектов. Функциональность сшивок принять равной 4.
4. На одном графике представить зависимость напряжения σ от величины $(\lambda - 1/\lambda^2)$ для образца, деформированного при увеличении и

уменьшении нагрузки. Объяснить наблюдаемую необратимость деформации.