

# ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АГАРОВОГО ГЕЛЯ

Масимов Э.А., Имамалиев А.Р., Ибрагимов Ч.И.

Бакинский Государственный Университет, Институт Физических проблем

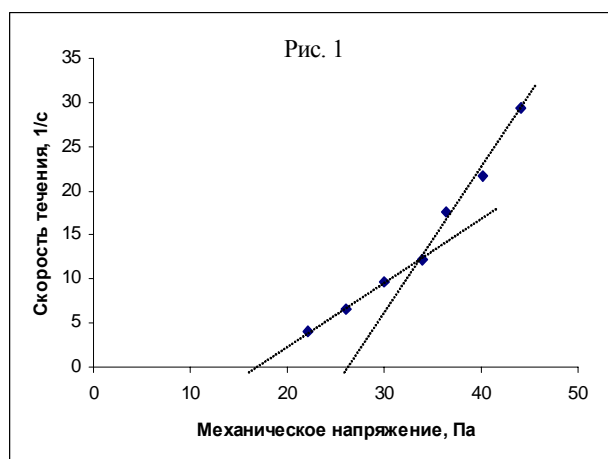
Некоторые полимерные растворы, концентрации которых превышает определенную критическую для данного раствора при охлаждении переходят в гелеобразное состояние [1]. Сочетая в себя одновременно упругие свойства твердых тел и вязкие свойства жидкостей, гели широко применяются в пищевой промышленности, фармацевтике, биоинженерии, керамической технологии и т. д. [2]. При использовании геля при решении конкретной практической задачи следует определенным образом подобрать его реологические параметры (упругие постоянные, прочность, вязкость и т. д.), а для целенаправленного изменения этих параметров необходимо изучать влияние различных добавок (неорганических солей, микро- и наночастиц и т.д.), введенных в гель среду, на указанные параметры. В данной работе с помощью ротационного вискозиметра изучено влияние солей щелочных металлов (NaCl, KCl и CaCl<sub>2</sub>) на некоторые реологические свойства (критическое напряжение течения и структурная вязкость) агарового гидрогеля.

В эксперименте был использован природный полимер агар представляющий класс полисахаридов и отличающейся высокой гелеобразующей способностью в водной среде [3]. Приготовление геля образца выполняется по следующей технологии. Порошкообразный агар взвешивается в нужном количестве и добавляется в дистиллированную воду и держится при комнатной температуре в течении 1 суток для набухания. При нагревании смеси до температур, близких к 100 °С, набухший агар полностью растворяется в воде и получается истинный раствор. В этом состоянии раствор заполняется в рабочий объем вискозиметра и охлаждается. При температуре порядка 35 - 40 °С раствор теряет текучесть, т. е. переходит в гель состояние.

Ротационный вискозиметр позволяет снять кривую течения (зависимость скорости сдвига от механического напряжения), которая дает возможность определять некоторые важные реологические свойства геля: критическое напряжение течения геля, а также пластическую и структурную вязкость [4]. Характерная форма кривой течения геля показана на Рис.1. Анализ этой кривой показывает, что:

1) течение геля носит пороговый характер, т.е. гель течет после напряжения, превышающий некоторое критическое значение  $\sigma_{01}$ ;

2) кривая течения состоит из двух прямых с разными наклонами и описываемыми формулами:  $\sigma = \eta_{p1}\dot{\gamma} + \sigma_{01}$  в области малых напряжений, и  $\sigma = \eta_{p2}\dot{\gamma} + \sigma_{02}$  в области высоких напряжений, причем  $\eta_{p2} > \eta_{p1}$  и  $\sigma_{02} > \sigma_{01}$ . Другими словами в каждой области гель ведет себя как бингамская жидкость с разными значениями критического напряжения течения. Величина  $\eta_p$

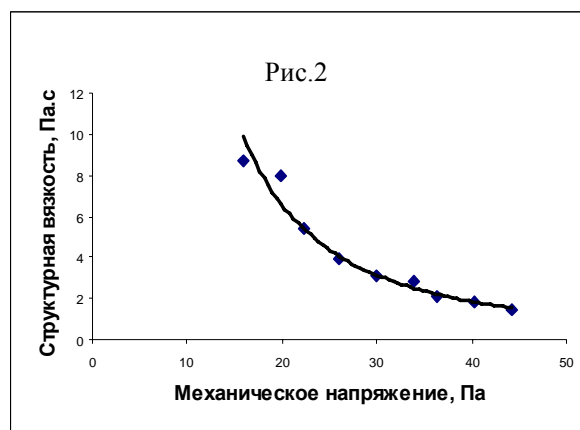


называется пластической, а величина  $\eta = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}}$  - кажущейся или структурной вязкостью.

Зависимость структурной вязкости от напряжения носит определенную информацию о структуре комплексных жидкостей. Такая зависимость для 1,5%-го агарового геля показана на Рис.2. Как ожидалось, структурная вязкость уменьшается с ростом нап-

ряжения и стремится к постоянной величине  $\eta_{\infty}$  при больших значениях напряжения ( $\eta_{\infty}$  называется наименьшая ньютоновская вязкость).

Полученные экспериментальные результаты могут быть объяснены следующим образом. Как известно, причиной отсутствия текучести, т.е. сохранения его формы, является существование пространственной сетки, которая охватывает весь его объем [2]. Согласно современным представлениям пространственная сетка геля состоит из отдельных ассоциатов (двойных спиралей, ламеллярных микрокристаллов, стекловидных узелков и т.д.) и связей (сшивок), соединяющих эти ассоциаты [1]. Течение, т.е. необратимая деформация геля требует разрушение пространственной сетки путем разрыва этих связей, который происходит выше некоторого порогового значения приложенного к гелю механического напряжения.



Тот факт, что кривая течения состоит из двух прямых, по видимому, связано с различной реакцией геля к внешнему механическому воздействию в областях низкого и высокого напряжений. Пересечение отмеченных прямых с осью  $\sigma$  дают критические напряжения разрыва сшивок  $\sigma_{01}$  и разрушение ассоциатов  $\sigma_{02}$ , соответственно.

В этих областях гель обладает различными микроструктурами. Уменьшение вязкости с ростом напряжения дает основание полагать, что при больших напряжениях крупные ассоциаты раздробляются и при достижении  $\eta_{\infty}$  их размеры становятся наименьшими.

Указанные величины ( $\sigma_{01}$ ,  $\sigma_{02}$  и  $\eta_{\infty}$ ) изменяются при добавлении в гель солей щелочных металлов. Результаты измерений показаны в таблице. Данные показывают, что добавление NaCl почти не влияет на критические напряжения (т.е. на энергии разрыва сшивок и распада ассоциатов). CaCl<sub>2</sub> слегка увеличивает, а KCl резко увеличивает значения этих величин. Добавление всех указанных солей существенно увеличивает значение  $\eta_{\infty}$ , которое определяется наименьшим размером этих ассоциатов.

Состав геля	$\sigma_{01}$ , Па	$\sigma_{02}$ , Па	$\eta_{\infty}$ , Па·с
1,5%-й агар	16	26	0,75
1,5%-й агар+ NaCl	17	20	2,5
1,5%-й агар+ KCl	41	44	2,3
1,5%-й агар+CaCl <sub>2</sub>	25	32	6,5

Полученные результаты могут быть использованы для целенаправленного изменения реологических свойств агарового геля.

#### Литература

1. Rubinstein M, Colby R.H.-Polymer Physics, Oxford University Press, 2003
2. Guenet J.M.-Thermoreversible Gelation of Polymers, Academic Press, 1992
3. Dea I.C.M. -Industrial Polysaccharides, Pure & Appl. Chemistry, 1987, v.61, No7, pp.1315
4. Howard A.Barnes – A Handbook of Elementary Rheology, Wales University, 2000