

## **ВЛИЯНИЕ СУПЕРАДСОРБЕНТА НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОЙ МАТРИЦЫ БЕТОНА**

**Ибрагим Маохи Кадум, Коваль С.В., Савченко С.В.**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
Одесса, Украина*

Значительное влияние на долговечность конструкции оказывает трещинообразование, возникающее от усадочных изменений объема бетона. В высокопрочных бетонах с весьма низким В/Ц существует опасность дегидратации и деформации структуры в результате аутогенной усадки. В отличие от термической усадки практически отсутствует возможность уменьшения этого явления за счет внешней защиты элементов (внешний уход).

В последние годы развивается представление о т.н. «внутреннем уходе» за бетоном при использовании водонасыщенных пористых агентов (в том числе полимерных суперадсорбентов -САП), создающих при введении «водные резервуары», из которых вода в процессе твердения мигрирует в твердеющую матрицу бетона, тем самым увлажняя ее, что снижает опасность аутогенной усадки [1].

Важным вопросом в современной технологии бетона является также проектирование структуры пор в бетоне, обеспечивающей его долговечность. При введении воздухововлекающих добавок, позволяющих создавать малые пузырьки воздуха, повышается морозостойкость бетона. При использовании традиционных воздухововлекающих добавок для повышения морозостойкости бетона возникает ряд проблем, связанных с неустойчивыми характеристиками пор, потерей воздуха при уплотнении, их несовместимостью с суперпластификаторами и др.

Использование же САП предоставляет возможность контролирования размеров резервных пор и их стабильностью, так на них не влияет технология производства конструкций. Резервные пространства, остающиеся после «выхода» воды из САП, действуют так же, как и воздушные пузырьки, в цементной матрице бетона [2].

Полимерные суперадсорбенты, называемые также гидрогелями, являются сетчатыми соединениями, способными впитывать воду в количествах в 10 - 1000 раз превышающих массу сухого полимера.

Полимеры содержат набор полимерных цепочек, параллельных друг другу. Когда вода контактирует с одной из этих цепочек, она втягивается в молекулу полимера благодаря осмосу и сохраняется внутри полимерной сетки. Наиболее важными свойствами САП с практической точки зрения является, прежде всего: высокая адсорбирующая способность, способность отдавать влагу, механическая прочность, химическая и термическая стойкость и др. Благодаря специальной структуре САП появляется возможность регулирования впитывания и выделения воды в зависимости от возникающих технологических задач [2].

Однако, как показывают литературные данные и собственные исследования, внутренний уход за бетоном за счет введения САП может затруднить контроль реологических свойств бетонной смеси. Относится это и к однородности распределения водоудерживающих агентов матрице бетона и к обеспечению реологии технологических смесей.

В этой связи целесообразно было оценить влияние способа введения и количества САП на свойства цементных растворов, которые, в свою очередь, являются матричной составляющей бетона.

Для исследования реологии цементных паст использован реометр AR1500 (рис.1а) с коаксиальными цилиндрами. Прибор имеет электронный регулируемый двигатель, в котором все движущиеся части находятся на воздушной подушке (рис.1б). Измерение угловых перемещений регистрируется с помощью прецизионного оптического устройства (кодера). Устройство позволяет исследовать цементные пасты при контролируемой скорости деформаций -тип CR (Shear Rate Controlled Jump Tests) и контролируемых напряжениях деформаций CS (Shear Stress Controlled Tests).

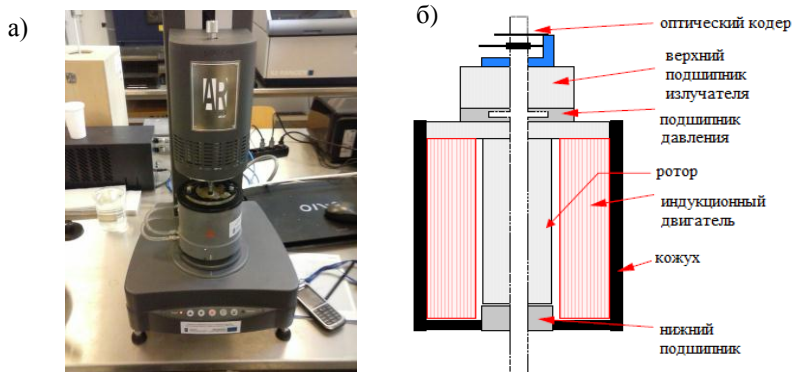


Рис.1. Вид реометра AR1500 (а) и его принципиальная схема (б)

В качестве реологических характеристик цементной пасты как пластично-вязкой жидкости исследовались:

- предельное напряжение сдвига  $\tau_0$ - значение внутренних напряжений, при котором она начинает необратимо деформироваться;
- пластическая вязкость  $\eta$ - внутреннее трение, препятствующее перемещению одного ее слоя относительно другого;
- тиксотропия – способность самопроизвольно восстанавливать разрушенную механическим воздействием исходную структуру.

Программное обеспечение вискозиметра позволяет описывать и сравнивать полученные результаты по различным реологическим зависимостям, в частности, Бингама [3].

При изготовлении цементных паст с САП использовался портландский цемент типа СЕМ I 42,5 R и поликарбоксилатный суперпластификатор (СП), вводимый в постоянных количествах.

На первом этапе сравнивалось влияние двух способов введения САП (табл.1) – при предварительном насыщении водой (образец AS1) и в сухом состоянии (AS2 и AS3). В последнем случае насыщение влагой САП (до ее отдачи) должно происходить непосредственно из матрицы бетона. Для сравнения исследовался контрольный образец без САП (A0), для которого вода затворения принималась как 100 %

Таблица 1. Состав композиций при исследовании способа введения САП

Обозначение	В/Ц	САП от массы Ц, %	Вода в САП, %	Вода в пасте, %	Адсорбция воды САП
AS0	0,5	-	-	100	отсутствует
AS1	0,5	0,15	20	80	насыщенный
AS2	0,5	0,15	-	100	из пасты
AS3	0,63	0,15	-	120	из пасты

Из анализа зависимости напряжения сдвига (рис.2.а) и пластической вязкости (рис.2.б) от градиента скорости деформаций следует, что цементную пасту с САП можно считать жидкообразной структурированной системой со слаборазвитой пространственной структурной сеткой. Подобные реологические свойства типичны для систем с коагуляционной структурой [3].

Как и следовало ожидать, наименьшим (и примерно близким) предельным напряжением сдвига и вязкостью характеризуются пасты без САП (образец A0) и суммарным количеством воды 120%, дополнительно учитывающим поглощение полимером (AS3). Следовательно,

добавление избытка воды с учетом впитывания полимером не приводит к заметному изменению реологических характеристик.

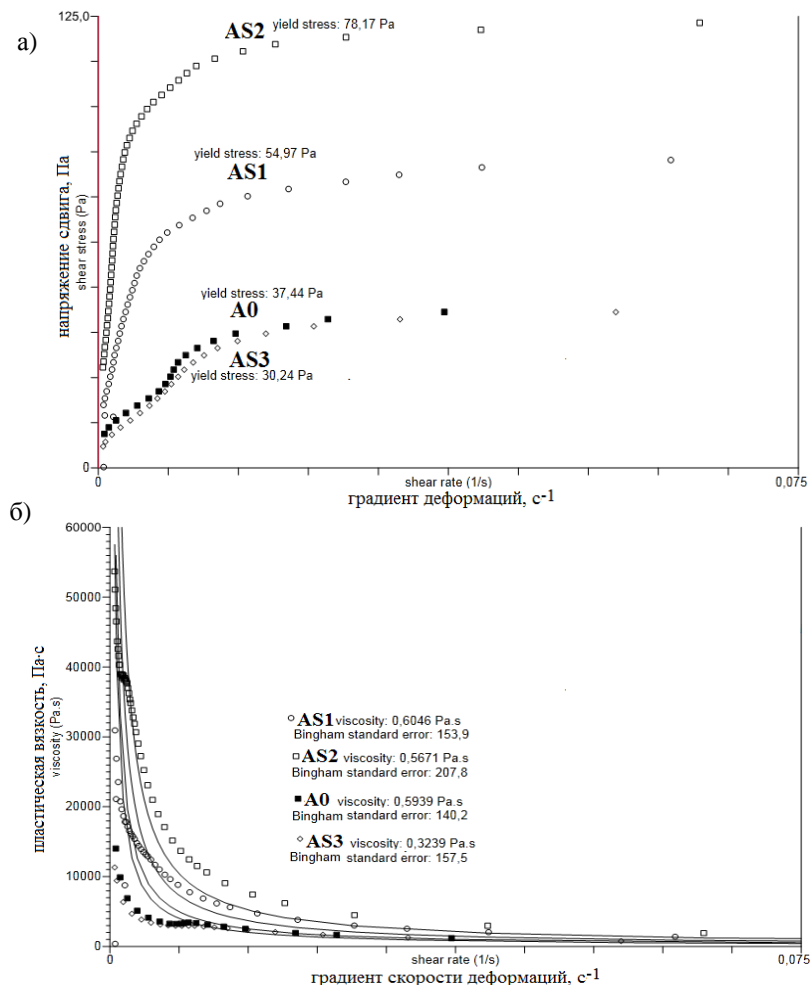


Рис.2. Зависимости предельного напряжения сдвига (а) и пластической вязкости (б) от градиента скорости деформаций

Для образцов AS1 и AS2, предельное напряжение сдвига и вязкость возрастают в 1,5-2 раза, что свидетельствует об интенсивной миграции

воды из матрицы в микрочастицы полимерного адсорбента и ухудшении реологических параметров раствора.

Таким образом, предварительное насыщение САП не приводит к улучшению технологических характеристик смесей (например, подвижности) и, как показали опыты, этот способ весьма неэффективен, так как образуются комки частиц порошка и снижается однородность распределения САП в цементной матрице.

На втором этапе исследовались цементные пасты с практически равным распылом мини-конуса 120 мм, что обеспечивалось корректировкой количества воды затворения при изменении дозировок вододерживающего и пластифицирующего агента. Добавка САП вводилась в сухом состоянии.

Водоцементное отношение возрастает с повышением количества САП и уменьшается с ростом дозировки СП. При этом, в условиях равнопластичности, исследуемые цементные пасты характеризуются различием в уровнях реологических показателей (табл.2).

Таблица 2. Реологические характеристики  
«равноподвижных» цементных паст

Состав	В/Ц	САП, %	СП, %	Напряжение сдвига, Па	Вязкость Па·с	Тиксотропия Па/с
1	0,50	0	0	35,2	0,58	2190
2	0,58	0,2	0	87,6	0,38	7968
4	0,35	0	0,4	54,4	1,41	1860
5	0,41	0,2	0,4	52,4	1,24	4838
7	0,32	0	0,8	56,3	1,53	2054
8	0,39	0,2	0,8	72,2	1,25	5748

Предельное напряжение сдвига растет с повышением концентрации САП (несмотря на увеличение количества требуемой воды). Сравнение составов 4 и 5 показывает, что СП в дозировке 0,4 % практически нивелирует повышение  $\tau_0$  при повышении количества САП до 0,2%. В то же время анализ показывает тенденцию роста вязкости  $\eta$  при повышении количества СП, что может быть связано с увеличением трения между частицами в условиях весьма низких значений В/Ц. Только при дозировке САП=0,2% увеличение количества СП не изменяет вязкость, что может объясняться появлением толстых слоев приповерхностной воды на частицах адсорбента и уменьшением силы взаимодействия частиц

Полученные полные реологические кривые (в частности, представленные на рис.3) показывают значительные петли гистерезиса, при этом «восходящая» кривая, характеризующая разрушение системы, отличается от «нисходящей» кривой, характеризующей восстановление системы, и объясняется сохранением остаточной деформации после сильного ослабления структуры под влиянием ранее приложенного напряжения.

Наличие восходящих и нисходящих кривых петли гистерезиса указывает на то, что исследуемые системы обладают тиксотропными свойствами. Расстояние между двумя кривыми по оси напряжений или площадь петли, характеризуют величину тиксотропии  $\Omega$ , результаты измерения которой показаны в табл.2.

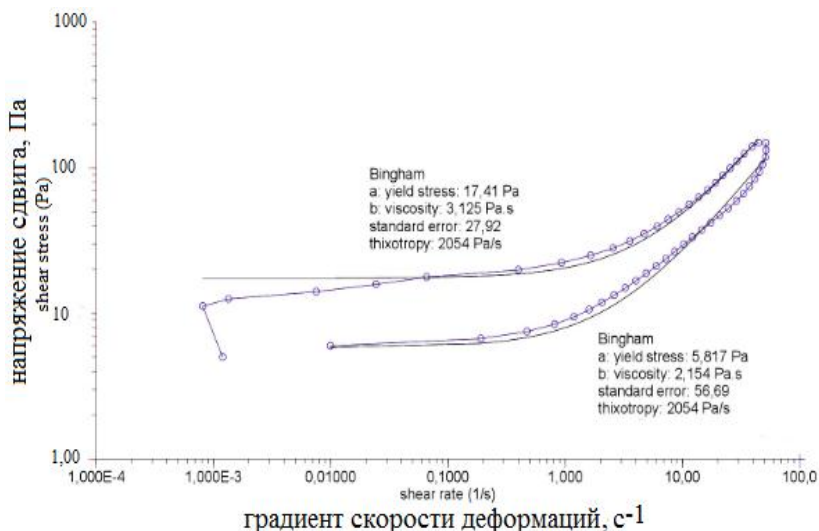


Рис.3. Реограмма кинетики деформации состава №7

Для оценки влияния добавок использован относительный критерий  $\Delta \Omega$ , как отношение показателя тиксотропии цементной пасты с добавкой  $\Omega$  (Д) к аналогичному показателю  $\Omega$  (Д=0) без добавки:

$$\Delta \Omega = \Omega(\text{Д}=0) / \Omega(\text{Д}). \quad (1)$$

С повышением дозировки САП до 0,2 % показатель (1) возрастает в 2,2-3,62 раза, в то время как рост дозировок СП до 0,8 % приводит к уменьшению тиксотропии до 10%. Что свидетельствует о структури-

зации системы и увеличения периода релаксации напряжений и деформаций. Наличие выраженных тиксотропных свойств у исследуемых цементных паст с добавкой САП характеризует, помимо прочего, хорошую перекачиваемость бетонных смесей по трубам или способность к виброуплотнению.

### ***Выводы***

Введение в малых количествах добавки адсорбирующего полимера с целью регулирования аутогенной усадкой твердеющего бетона оказывает существенное влияние на реологические характеристики цементной матрицы и, как следствие, на технологические свойства бетонной смеси. При добавлении к необходимой воде затворения (на уровне контрольного состава без САП) дополнительной порции воды с учетом впитывающей способности полимера это влияние можно существенно уменьшить.

Введение суперадсорбента приводит к повышению водопотребности смеси и показателя В/Ц. Одновременное добавление суперпластификатора позволяет компенсировать влияние САП на водопотребность. Однако, в случае большого содержания твердой фазы (при малых В/Ц) это может привести к росту предельного напряжения сдвига и пластической вязкости из-за повышенного трения в системе.

Цементные пасты с САП представляют собой тиксотропные дисперсные системы, в которых наблюдается гистерезис кривых течения.

Предложен критерий для относительной сравнительной оценки тиксотропии системы с добавкой и без добавки. С увеличением количества САП увеличивается способность цементной матрицы к тиксотропному разжижению.

### **Summary**

**With the use of rheometer AR1500 influence of polymersc superadsorbent (SAP) is investigation rheological properties of cement pastes as to the matrix of concrete.**

1. Mechterine V., Dudziak L. Effects of Superabsorbent Polymers on Shrinkage of Concrete, Autogenous, Drying // RILEM State of the Art Reports 2, 2012.
2. Холмберг К., Йёнссон Б., Кронберг Б., Линдман Б. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. Пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2007. 528 с.
3. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. – М.: Легкая и пищевая промышленность. – 1981. – 216 с.