

**УДК 666.1.022:532.6**

**Парамонова О.Л., Самсонов А.В., Хатмуллина А.А.**

**СИЛЫ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕЖДУ ЧАСТИЦАМИ  
СТЕКОЛЬНОЙ ШИХТЫ**

*Уральский федеральный университет*

*имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,*

*Екатеринбург, Мира 19, 620002*

**Paramonova O.L., Samsonov A.V., Khatmullina A.A.**

**ATTRACTIVE ADHESION FORCES BETWEEN GLASS BATCH  
PARTICLES**

*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin*

*Ekaterinburg, Mira 19, 620002*

*Аннотация. В работе обсуждается роль поверхностного натяжения и капиллярных сил сцепления в сохранении однородности шихты, причины их возникновения. Рассмотрена капиллярная прочность структуры дисперсных частиц и влияние объема жидкой связки на прочность дисперсной системы. Изучено влияние природы капиллярной жидкости на величину силы сцепления. Получены экспериментальные данные по поверхностному натяжению растворов выбранных солей. Показано, что при малых концентрациях растворов наблюдается уменьшение поверхностного натяжения. При концентрациях близких к концентрациям насыщения, значение поверхностного натяжения максимально.*

*Ключевые слова: стекольная шихта, сила сцепления, поверхностное натяжение, капиллярная сила, капиллярная прочность*

*Abstract. In this paper we describe the role of surface tension and adhesion-capillary forces in batch homogeneity and the causes of its initiation. The capillary strength of disperse particles structure and the effect of liquid volume on disperse*

*system strength are discussed. The effect of capillary liquid origin on the attractive force was studied. The experimental data of the surface tension of salts under consideration are revealed. In the solutions with small concentration the decrease of surface tension is observed. At the concentrations tending to saturation the surface tension value is maximal.*

*Key words: glass batch, attractive force, surface tension, capillary force, capillary strength*

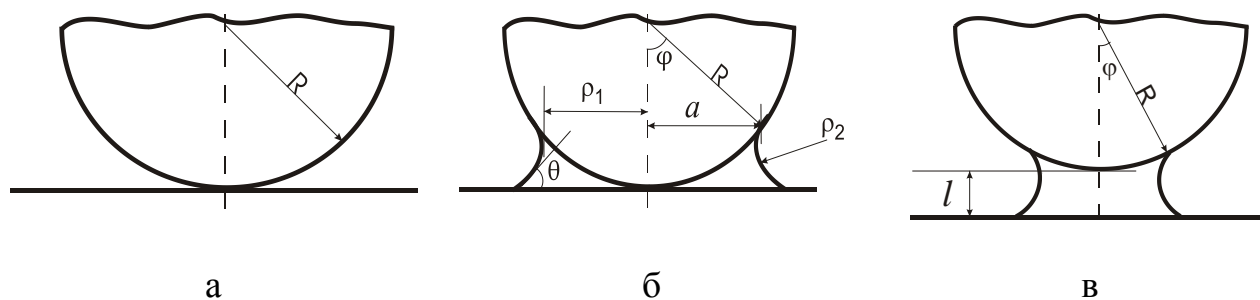
### **Вступление.**

Адгезионно-капиллярные силы притяжения зерен шихты фиксируют их распределение после перемешивания, тем самым повышая однородность стекольного расплава. При увлажнении шихты водные капиллярные мениски закрепляют частицы мела, известняка, сульфата и других компонентов около зерен кварцевого песка. По мере увеличения температуры после испарения капельной воды капиллярное взаимодействие возникает за счет менисков из расплавов солевых и оксидных эвтектик.

**Обзор литературы.** Процессы конгломерации частиц применительно к стекольным шихтам рассматривались в работах [1 – 2]. Теоретический и экспериментальный анализ взаимодействия сухих идеально гладких твердых тел (рис. 1, а) показывает [3], что сила их молекулярного притяжения при непосредственном соприкосновении составляет  $2\sigma\pi R$  и  $4\sigma\pi R$  соответственно для контакта шар – шар и плоскость – шар, ( $R$  – радиус шарообразной частицы;  $\sigma$  – поверхностное натяжение материала твердых частиц). Однако при разведении твердых тел сила молекулярного притяжения резко уменьшается и на расстоянии 0,3 – 0,4 мкм сила взаимодействия обращается в ноль. Поскольку из-за шероховатости неполированных поверхностей твердых частиц они контактируют в точках микровыступов, имеющих размеры 1 мкм и более, сухие зерна шихтовых материалов практически не притягиваются.

Близкие к отмеченным значениям силы притяжения твердых тел реализуются при их капиллярном сцеплении как при нулевом зазоре (рис. 1, б), так и на расстояниях до 0,1 мм и более (рис. 1, в). Капиллярная прочность

сцепления частиц через вогнутые жидкие мениски (см. рис. 1, б и в) обусловлена в основном перепадом давления Лапласа [4]. Подвижная поверхность жидкость – воздух прогибается в сторону фазы, давление в которой меньше.



**Рис. 1. Схемы контакта твердых частиц**

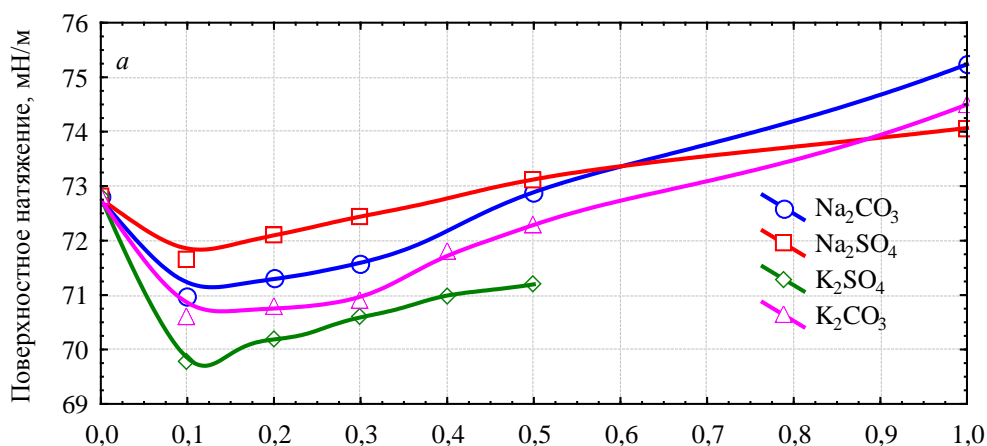
**Входные данные и методы.** Для экспериментального изучения сил сцепления использовали модель капиллярного контакта шарообразная частица–жидкая прослойка–плоская подложка. Результаты экспериментов представлены в [5]. Так как при испарении воды меняется концентрация растворов, то меняется и поверхностное натяжение, т.е. меняется основной фактор, регулирующий капиллярное притяжение частиц. В целом надо отметить, что капиллярная сила прямо пропорциональна поверхностному натяжению. Однако косвенно влияние складывается также из изменения угла смачивания. Изучено поверхностное натяжение растворов карбоната, сульфата натрия и калия, а также их совместного влияния в комбинированных растворах.

**Результаты. Обсуждение и анализ.** Поверхностное натяжение воды регулируется водородными связями ( $\sigma_{\text{воды}} = 72,8 \text{ мДж/м}^2$ ). Водородная связь возникает из-за того, что в молекуле воды водород отдает электрон на связь с кислородом и «оголяется» протон. К положительно заряженному протону подходят анионы кислорода, вследствие чего возникает цепочка молекул, прочность притяжения которых определяется водородной связью.

В ионных растворах связь электростатическая, которая определяется притяжением по-разному заряженных ионов. При малых концентрациях во всех

случаях поверхностное натяжение уменьшается, по-видимому, из-за того, что ионы, как в объеме, так и в поверхности разрознены. Силовые поля ионов не перекрываются, следовательно, ионные связи не образуются. С повышением концентрации поверхностное натяжение начинает определяться не только водородной связью, но и ионной. В свою очередь, ионная связь намного прочнее водородной, поэтому по сравнению с водой при увеличении концентрации растворов значение поверхностного натяжения увеличивается.

На рис. 2, 3 приведены результаты измерений поверхностного натяжения изученных растворов в пределах концентраций, при которых не наступает насыщение растворов. Как видно на рис. 2 для карбоната натрия при увеличении концентрации до 1,00 моль/л значение поверхностного натяжения возрастает до  $\sigma = 75,4$  мДж/м<sup>2</sup>. Это обусловлено тем, что у иона  $\text{CO}_3^{2-}$  радиус меньше, чем у  $\text{SO}_4^{2-}$ . А чем меньше радиус иона, тем выше прочность сцепления.

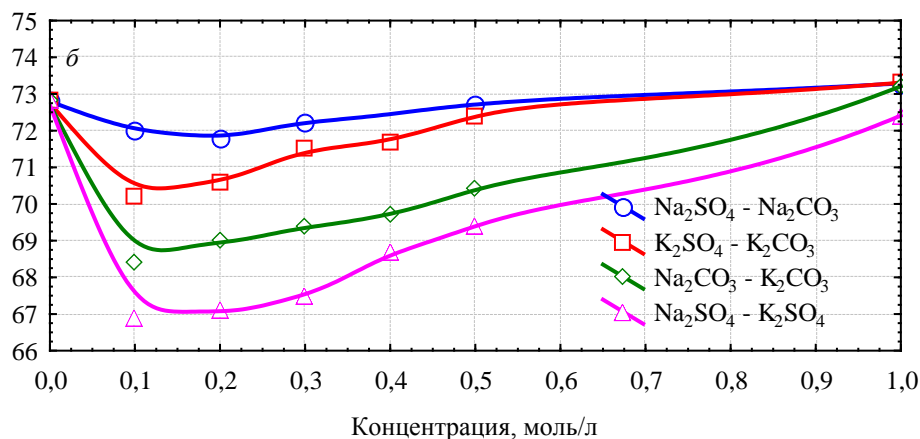


**Рис. 2. Концентрационные зависимости поверхностного натяжения для однокомпонентных растворов**

Измерили поверхностное натяжение двухкомпонентных растворов  $\text{K}_2\text{CO}_3$ - $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ - $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ - $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  -  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , (рис. 3).

На экспериментальных кривых видно, что зависимость поверхностного натяжения от концентрации подобна зависимостям, полученным для однокомпонентных растворов. Это можно объяснить тем, что в растворах нет

химического взаимодействия и, по-видимому, компоненты не образуют соединений. Наблюдается снижение поверхностного натяжения при малых концентрациях с последующим увеличением до максимальных значений при концентрациях, близких к насыщению.



**Рис. 3. Концентрационные зависимости поверхностного натяжения для двухкомпонентных растворов**

**Заключение и выводы.** В работе изучено влияние природы капиллярной жидкости на величину сцепления частиц стекольной шихты. Были получены экспериментальные данные по поверхностному натяжению растворов карбоната, сульфата натрия и калия. Показано, что малых концентрациях растворов наблюдается уменьшение поверхностного натяжения. Это обусловлено, по-видимому, отсутствием непрерывных цепочек ионных связей в бесконечно разбавленных растворах. При концентрациях, близких к концентрациям насыщения раствора, значение поверхностного натяжения максимально. Выбранные соли присутствуют в стекольной шихте, хорошо растворяются в воде, их растворы, смачивая материал твёрдых частиц, формируя капиллярные контакты.

Литература:

1. Крашенинникова Н. С., Беломестнова Э. Н., Верещагин В. И. Критерии оценки формуемости стекольной шихты // Стекло и керамика. – 1991. – №3. – С. 15 – 17.

2. Крашенинникова Н. С., Казьмина О. В., Фролова И. В. Фазовые превращения в увлажненных стекольных шихтах при уплотнении // Стекло и керамика. – 2002. – №12. – С. 38 – 42.

3. Дерягин Б. В., Кротова Н. А., Смилга В. П. Адгезия твердых тел. – М.: Наука, 1973. – 280 с.

4. Дерябин В. А. Капиллярные силы в дисперсных системах: Учеб. пособие – Екатеринбург, 1997. – 64 с.

5. Фарафонтова Е.П., Парамонова О.Л., Самсонов А.В. Взаимодействие компонентов увлажненной стекольной шихты // Научные труды SWorld.- Выпуск 2(39). Том 4.-Иваново: Научный мир, 2015. с.63-66.

Научный руководитель: д.т.н., проф. Дерябин В.А.

Статья отправлена: 07.12.2015 г.

© Парамонова О.Л.