

УДК621.74

*В. В. Юрасов, инженер, Т. Ш. Сильченко, инженер,
Н. А. Кидалов, д-р техн. наук, С. В. Кузьмин, д-р техн. наук*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЖИДКОГО СТЕКЛА ЗА СЧЕТ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ РАСТВОРЯЕМОГО ТВЕРДОГО КОМПОНЕНТА

Волгоградский государственный технический университет, weld@vstu.ru

Исследована возможность повышения производительности процесса получения жидкого стекла путем ударно-волновой обработки.

Possibilities for productivity increase of the process of liquid glass production through impact-wave treatment were investigated.

Ключевые слова: ударно-волновая обработка, пресс-форма, жидкое стекло, удельный импульс

Keywords: impact-wave treatment, mould, soluble potassium, specific pulse

На сегодняшний день жидкое стекло является одним из крупнотоннажных продуктов неорганического синтеза, производимого во всех индустриально развитых странах мира. Благодаря комплексу ценных свойств, экологической чистоте производства, дешевизне и доступности сырья, жидкое стекло нашло широкое применение в самых разнообразных отраслях промышленности [1], из которых наиболее крупным потребителем является машиностроительное производство, использующее около одной трети изготавливаемого в стране растворимого силиката натрия [2].

В машиностроении жидкое стекло применяют в качестве связующего для изготовления форм и стержней при производстве отливок в разовых песчаных формах [3] и по выплавляемым моделям [3, 4, 6], в составе экзотермических смесей и для приготовления противопожарных красок [5], а также при изготовлении покрытий штучных сварочных электродов и керамических флюсов для дуговой электро-сварки [3, 5].

Развитие отечественной промышленности требует дальнейшего увеличения объема произ-

водства жидкого стекла, в связи с чем повышение производительности изготовления этого востребованного продукта представляется актуальной задачей.

Анализ литературных данных [1...6] (без учета того, что в отдельных случаях жидкое стекло может производиться в виде побочного продукта основного производства [1] либо являться одним из продуктов комплексной переработки минерального сырья [2]) позволяет выделить два способа промышленного производства жидкого стекла.

Способ получения жидкого стекла, заключающийся в прямом растворении кремнесодержащих компонентов в едких щелочах с получением требуемых щелочно-силикатных растворов за один технологический передел [6], несмотря на кажущуюся простоту, не получил значительного промышленного распространения. Это объясняется рядом причин, главными из которых являются: длительность и нестабильность технологического процесса, обусловленная широким диапазоном состава и свойств исходного кремнесодержащего сырья; жесткие условия процесса растворения (давле-

ние, температура); значительно худшее по сравнению с жидким стеклом из силикат-глыбы качество готового продукта; большое количество промышленных отходов; сложность получения высококомодульных стекол [1].

Основным способом изготовления жидкого стекла является автоклавное растворение в воде щелочно-силикатных твердых стекол состава $\text{Na}_2\text{O} \cdot n \text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{O} \cdot n \text{SiO}_2$ и $\text{K}_2\text{O} \cdot p \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ [3], которые производятся в качестве товарного продукта в виде силикат-глыбы в соответствии с ГОСТ 13079–81, ОСТ 21-3–86 и ТУ 21-23-109–78. Как правило, автоклавное растворение осуществляется самим предприятием-потребителем жидкого стекла (на предприятиях машиностроения, целлюлозно-бумажных фабриках, строительных комбинатах и т. п.), имеющим для этих целей специальные производственные участки. Таким образом, основной способ производства жидкого стекла включает в себя два основных технологических передела: изготовление растворимого сырья (растворимых силикатов натрия и калия) и, собственно, производство конечного продукта (жидкого стекла, посредством автоклавного растворения силикат-глыбы).

Автоклавное растворение стекловидных щелочных силикатов производится в стационарных, передвижных и вращающихся барабанных автоклавах, представляющих собой герметичные стальные сосуды цилиндрической или шаровой форм, оборудованные люками, кранами, манометрами предохранительными клапанами и т. д. Как в стационарных, так и во вращающихся автоклавах разогрев силикат-глыбы с последующим поддержанием необходимых величин температуры и давления осуществляется

острым паром. Процесс растворения осуществляется при обеспечении давления порядка 0,3 ... 0,7 МПа и температуре 140 ... 180 °С. Продолжительность процесса варки в стационарных автоклавах составляет в среднем 5 ... 6 ч, превышая время растворения щелочного силиката во вращающихся автоклавах (3 ... 4 ч) [1, 2].

В качестве основных недостатков, присущих растворению как в стационарных, так и во вращающихся автоклавах, кроме довольно продолжительного времени растворения исходного сырья, следует особо выделить образование нерастворимого осадка, составляющего около 10% от общей загрузки силиката, в результате чего процесс автоклавного растворения неразрывно сопряжен с операциями отстаивания и фильтрации готового продукта, продлевающими продолжительность производственного процесса и требующими дополнительного оборудования (отстойники, фильтропрессы).

Очевидно, что процесс изготовления жидкого стекла с растворением сырья автоклавным способом крайне низкотехнологичен. Вместе с тем, последующие разработки процессов полуавтоклавного и безавтоклавного растворений силикат-глыбы, подробно рассмотренные в [1, 2], также не смогли ощутимо повысить производительность изготовления жидких стекол, поскольку оба способа сопряжены с дополнительной операцией предварительного измельчения кусков щелочного силиката, для осуществления которой требуется специальное энергоемкое оборудование (прессы, молотковые дробилки, шаровые мельницы и т. п.).

Целью настоящей работы явилось исследование возможности сокращения длительности

и снижение энергоемкости технологического процесса производства жидкого стекла.

Из анализа рассмотренных способов изготовления жидкого стекла посредством растворения силикат-глыбы следует, что основным препятствием на пути повышения производительности технологического процесса изготовления жидкого стекла является плохая растворимость щелочных силикатов как в воде, так и в щелочных растворах. Вместе с тем, в литературе имеется ряд работ [8 ... 14], в которых приводятся решения весьма схожих задач. Так, например, для переработки термостойких полимеров в изделия, весьма затруднительной обычными способами вследствие повышенной жесткости цепей макромолекул и сильного межмолекулярного взаимодействия, исследователями [12 ... 14] предлагается использовать энергию взрыва. Ударно-волновая обработка (УВО) подобных полимеров при оптимально выбранном давлении способна не только компактировать порошковые полимеры в изделия,

но и значительно улучшать их свойства за счет процесса активации.

На наш взгляд, ударно-волновая обработка при помощи энергии бризантных взрывчатых веществ (ВВ) также может способствовать, помимо увеличения удельной поверхности до нескольких десятков $\text{м}^2/\text{г}$ [10, 11], дополнительной активации частиц щелочного силиката, что, в конечном итоге, должно повлиять на растворимость силикат-глыбы в воде и щелочных растворах.

Предлагаемый способ позволяет варьировать в весьма широком диапазоне величину и продолжительность давления, не накладывая при этом каких-либо ограничений на объем обрабатываемого силиката. Ударно-волновая обработка силикат-глыбы полностью исключает применение сложных энергоемких машин и механизмов, не требуя, в свою очередь, привлечения специализированного оборудования. Кроме того, следует особо отметить быстротечность процесса, присущую высокоскорост-

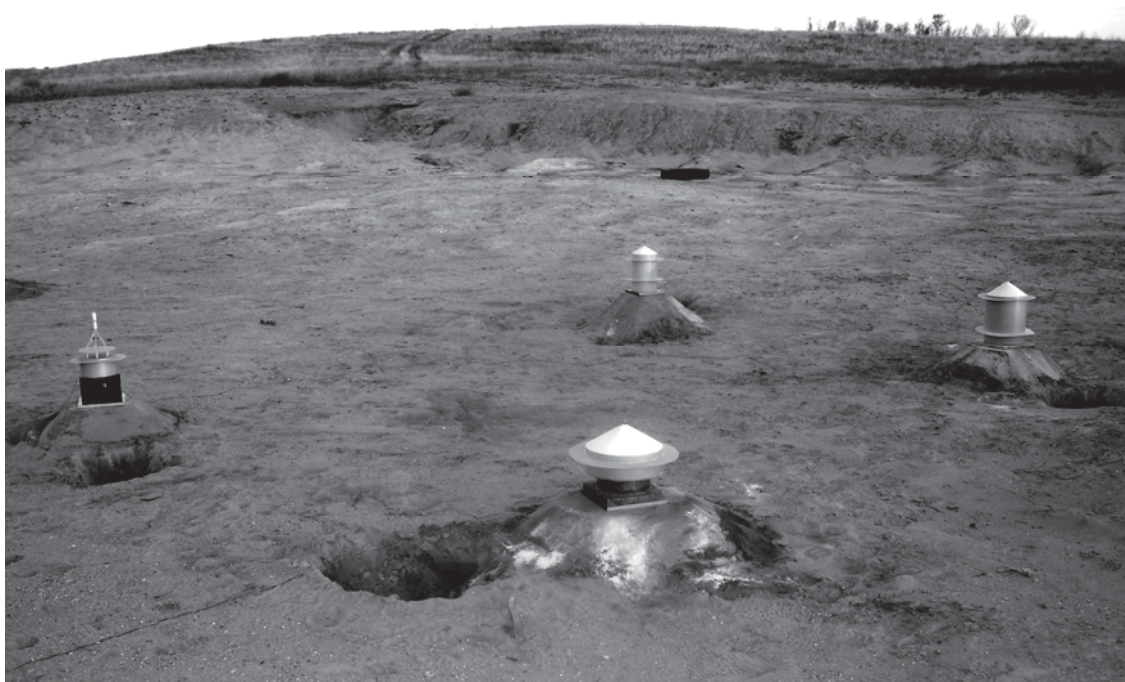


Рис. 1. Пресс-формы, снаряженные зарядом ВВ, серии экспериментов ударно- волновой обработки силикат-глыбы

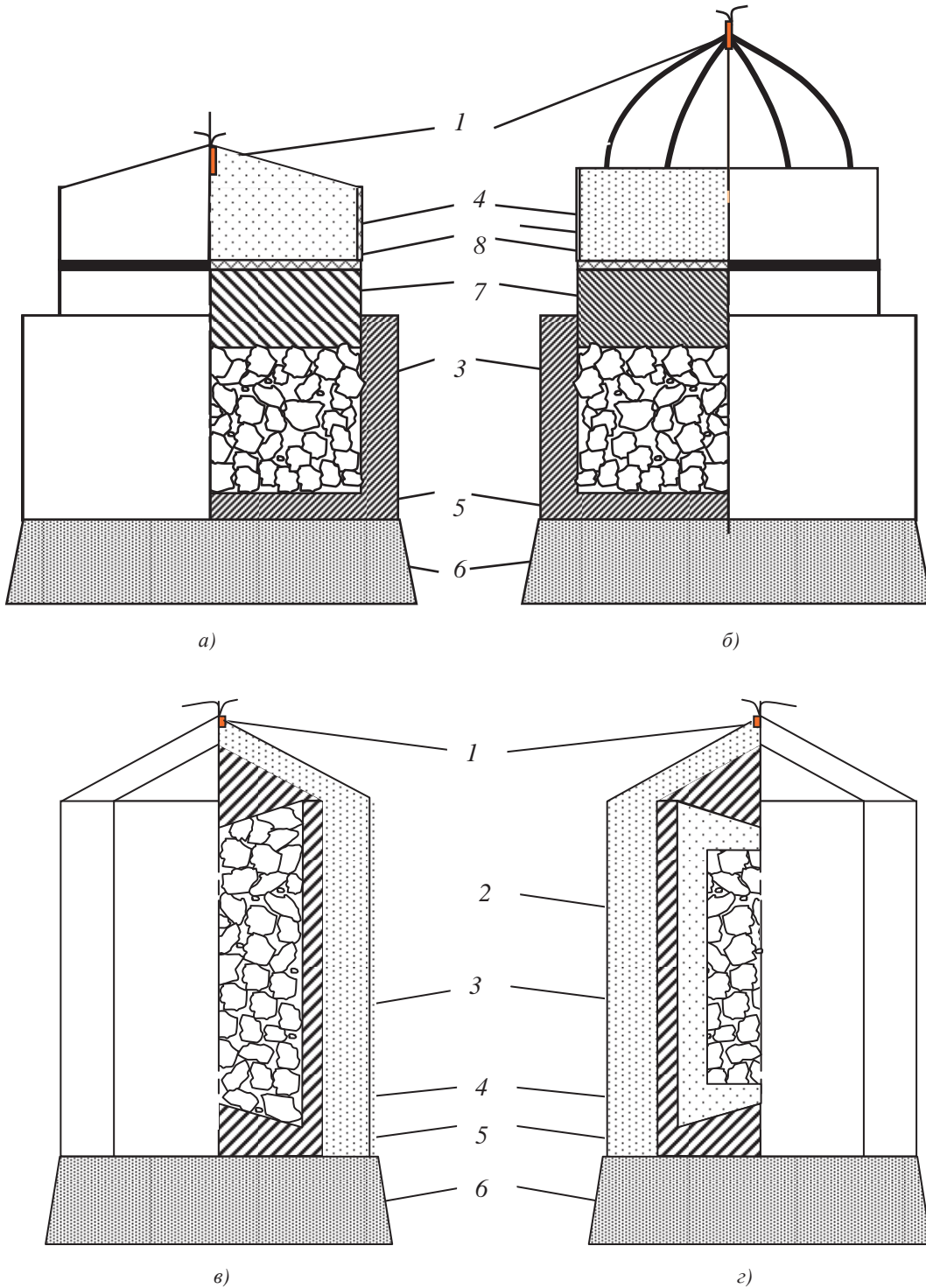


Рис. 2. Схемы плоского (а, б) и ампульного (в, г) взрывного нагружения силикат глыбы:
 1 – электродетонатор; 2 – песок; 3 – силикат-глыба; 4 – заряд ВВ; 5 – металлическая пресс-форма; 6 –
 песчаное основание; 7 – металлический поршень; 8 – демпфирующая прокладка

ному нагружению, в результате чего обработка необходимого объема сырья происходит за доли секунды.

Для экспериментальной проверки высказанной гипотезы на опытно-промышленном полигоне ВолгГТУ (рис. 1) была проведена серия

опытов, в которых УВО подвергали щелочной силикат натрия, имеющий значение модуля в диапазоне 2 ... 3,5. Взрывное нагружение силиката осуществляли по трем схемам, представленным на рис. 2.

Проектирование заряда ВВ предусматрива-

ло обеспечение реализации необходимого значения удельного импульса при воздействии детонационной волны на поверхность металлической пресс-формы, расчет которого выполняли следующим образом.

Удельный импульс i при воздействии детонационной волны на плоский поршень, возникающий при реализации схемы плоского нагружения (рис. 2, а, б) несложно рассчитать по зависимости [7]:

$$i = \frac{8}{27} \rho_0 H D, \quad (1)$$

где ρ_0 , H и D – соответственно плотность, высота и скорость детонации заряда ВВ.

В случае ампульной схемы нагружения

(рис. 2, в, з) применение зависимости (1) неприемлемо вследствие кривизны заряда ВВ. В этом случае выделим в сечении заряда площадку ds , ограничиваемую линиями кругового сектора, соответствующего бесконечно малому центральному углу $d\varphi$ (рис. 3).

Полный импульс I при отражении детонационной волны от стенки определяется выражением [7]:

$$I = iS = \frac{8}{27} mD, \quad (2)$$

где S и m – соответственно площадь поперечного сечения заряда и масса ВВ.

В дифференциальной форме (для элементарного объема заряда dV) формула (2) приоб-

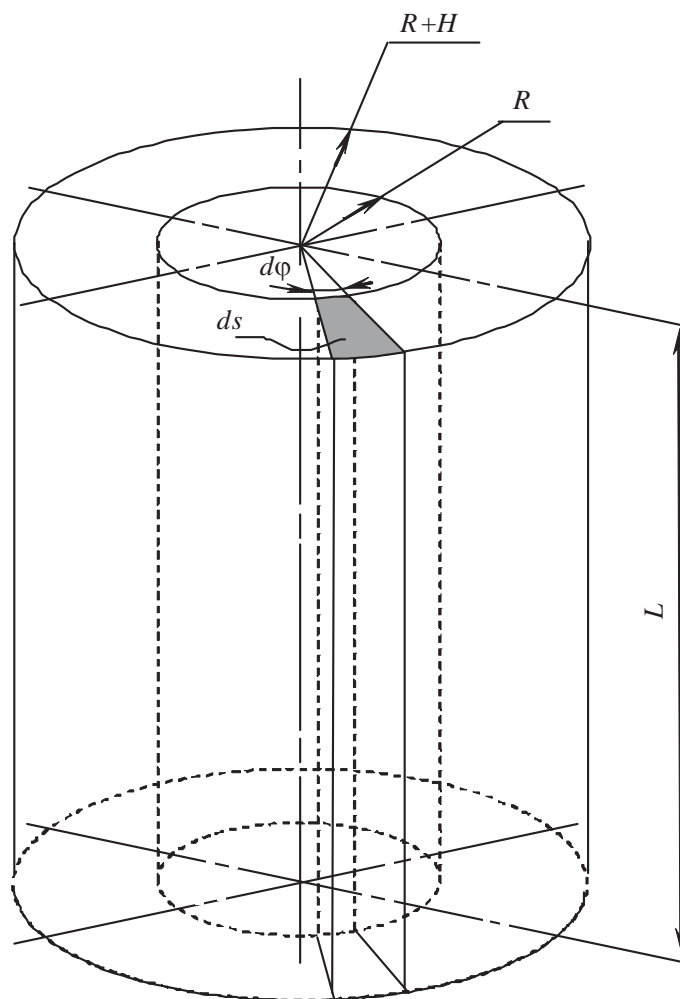


Рис. 3. К определению удельного импульса при отражении детонационной волны от цилиндрической поверхности ампулы наружным радиусом R

ретаает вид

$$dI = \frac{8}{27} Ddm = \frac{8}{27} D\rho_0 dV, \quad (3)$$

где согласно рис. 3

$$dV = Lds. \quad (4)$$

Здесь L – длина цилиндрической части заряда ВВ.

Считая площадку ds трапецией с меньшим и большим основаниями соответственно dl_1 и dl_2 и высотой H , преобразуем выражение (3):

$$\begin{aligned} dI &= \frac{8}{27} D\rho_0 \frac{dl_1 + dl_2}{2} HL = \\ &= \frac{4}{27} DHL\rho_0 (2R + H)d\varphi, \end{aligned} \quad (5)$$

где R – наружный радиус ампулы.

Интегрируя (5), имеем:

$$\begin{aligned} I &= \frac{4}{27} \int_0^{2\pi} DHL\rho_0 (2R + H)d\varphi = \\ &= \frac{8}{27} \pi DHL\rho_0 (2R + H). \end{aligned} \quad (6)$$

Таким образом, удельный импульс i в случае схемы взрывного нагружения ампулы с на-

ружным радиусом R составляет

$$i = \frac{I}{S} = \frac{I}{2\pi RL} = \frac{8}{27} \rho_0 HD \left(1 + \frac{H}{2R}\right). \quad (7)$$

Исследование растворимости силиката натрия, подвергнутого ударно-волновой обработке, производили в лабораторных условиях в открытой емкости в следующей последовательности. В емкость заливали воду, нагретую до температуры 40°C , засыпали измельченную силикат-глыбу, после чего включали хронометр и перемешивали содержимое емкости стеклянной палочкой. Количественное соотношение воды и растворяемого силиката определялось требованиями к конечной плотности жидкого стекла.

В результате проведения серии экспериментов было установлено, что время растворения силиката натрия снизилось в десятки раз по сравнению с традиционными (автоклавным, полуавтоклавным и безавтоклавным) способами составляя в среднем 5 ... 8 минут

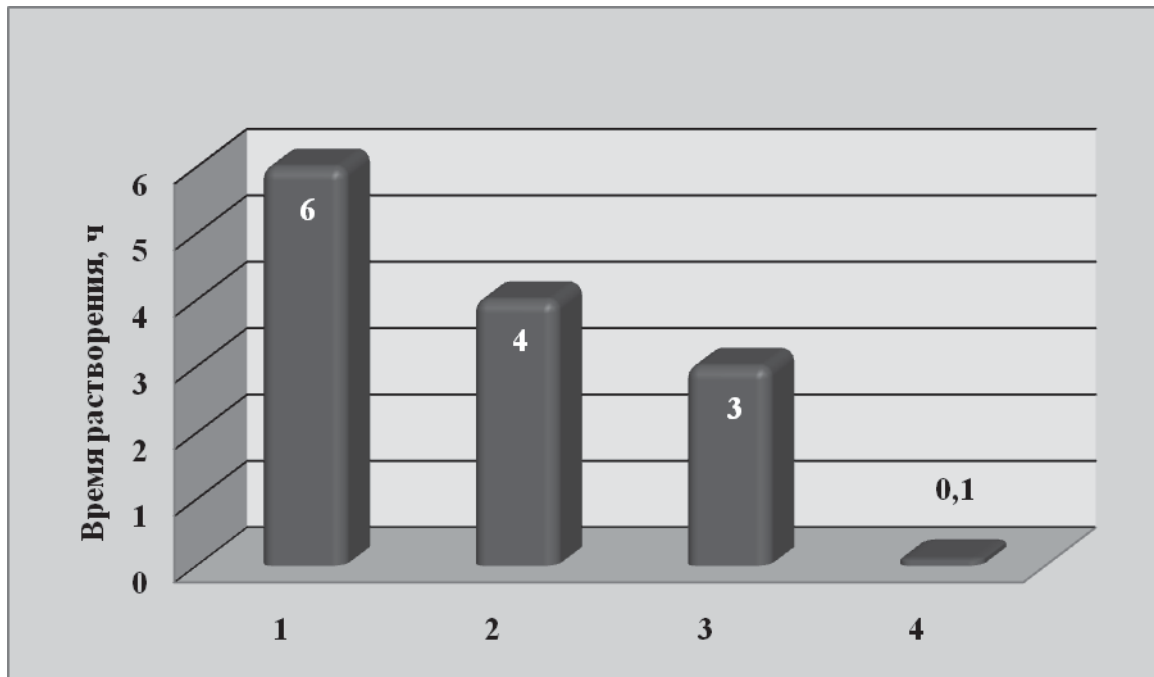


Рис. 4. Сравнительная диаграмма средних продолжительностей процессов растворения щелочных силикатов различными способами:

1 – растворение в стационарном автоклаве; 2 – растворение во вращающемся автоклаве; 3 – безавтоклавное растворение с предварительным измельчением (1 мм); 4 – безавтоклавное растворение силикат-глыбы после УВО



Рис. 5 Разрушенная пресс-форма (величина удельного импульса 0,22 МПа·с)

(рис. 4). При этом был также обнаружен весьма интересный с научной точки зрения факт отсутствия нерастворимого осадка в результате всех без исключения экспериментов.

Достоверно установлено, что время растворения порошкообразной силикат-глыбы после УВО зависит от величины удельного импульса i . Так наименьшая продолжительность операции растворения (5 ... 8 минут) наблюдается при реализации удельного импульса в диапазоне 0,12 ... 0,2 МПа·с. При снижении удельного импульса менее 0,12 МПа·с время растворения измельченной силикат-глыбы резко возрастает (до 1,5 часов при $i=0,1$ МПа·с), что может быть объяснено недостаточной степенью активации частиц силиката натрия. Удельный импульс свыше 0,2 МПа·с приводит к разрушению пресс-формы, в результате чего происходит частичная потеря и загрязнение обработанного щелочного силиката (рис. 5).

Тем не менее, достоверное установление причин аномально низкого времени растворения силикат-глыбы без образования осадка, что

достигается исключительно после ударно-волновой обработки, представляет большой научный и практический интерес и требует проведения серьезных дополнительных исследований, что и предстоит сделать в дальнейшем.

Выводы

1. Ударно-волновая обработка силикат-глыбы различного модуля в объеме пресс-формы способствует увеличению удельной поверхности и активации щелочного силиката, в результате чего последний растворяется в нагретой воде без образования нерастворимого осадка за время, составляющее в среднем 5 ... 8 минут, в десятки раз меньшее по сравнению с известными (автоклавным, полуавтоклавным и безавтоклавным) способами, используемыми при производстве жидкого стекла.

2. Установлено, что наибольшую скорость растворения измельченной и активированной силикат-глыбы обеспечивает реализация удельного импульса при воздействии детонационной волны на поверхность металлической пресс-

формы в диапазоне 0,12 ... 0,2 МПа·с.

3. Использование УВО силикат-глыбы предоставляет реальную возможность на порядок повысить производительность технологического процесса изготовления жидкого стекла различного модуля с одновременным снижением энергозатрат, во-первых, в результате значительного сокращения длительности производственного процесса, обеспечиваемого быстротечностью операций дробления и растворения силиката, и отсутствием операций фильтрования и отстаивания готового продукта и, во-вторых, за счет отказа от сложного специализированного оборудования и сопряженных с его использованием энергозатрат.

Библиографический список

1. Григорьев, П. Н. Растворимое стекло / П. Н. Григорьев, М. А. Матвеев. – М.: Промстройиздат, 1956. – 444 с.
2. Корнеев, В. И. Растворимое и жидкое стекло / В. И. Корнеев, В. В. Данилов. – Спб.: Стройиздат, 1996. – 215 с.
3. Жуковский, С. С. Технология литейного производства: формовочные и стержневые смеси / А. Н. Болдина, А. И. Яковлева, А. Н. Поддубного; под ред. С. С. Жуковского – Брянск.: БГТУ, 2002. – 470 с.
4. Жуковский, С. С. Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей / С. С. Жуковский, А. М. Лясс. – М.: Машиностроение, 1985. – 24 с.
5. Тотурбиев, Б. Д. Строительные материалы на основе силикат-натриевых композиций / Б.Д. Тотурбиев – М.: Стройиздат, 1988. – 205 с.
6. Формовочные материалы и технология литейной формы: Справочник. М.: Машиностроение, 1993. – 430 с.
7. Физика взрыва / под ред. К. П. Станюковича. Изд. 2-е. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
8. Витенко, А. Е. Взрывное дробление керамических порошков / А. Е. Витенко, Б. М. Гелунов, А. А. Максименко, Н. В. Орешин, А. В. Попов, Е. Б. Хохлов // Металловедение и прочность материалов: межвуз. сб. науч. трудов / ВолгПИ. – Волгоград, 1978. – Вып. 9. – С. 72-76.
9. Ананьин, А. В. Воздействия ударных волн на тугоплавкие соединения / А. В. Ананьин, О. Н. Бреусов, А. Н. Дремин // Порошковая металлургия. – 1976. – №9. – С. 68-71.
10. Бреусов, О.Н. Воздействие ударных волн на неорганические вещества: Автореф. дис. докт. хим. наук. – Черноголовка, 1975. – 40 с.
11. Адаменко, Б. Г. Дробление и активация хрупких порошков при ударном сжатии / Б. Г. Адаменко, Б. М. Гелунов, А. Ф. Трудов, В. С. Мамедов, А. В. Попов, Т. И. Рыжкова // Металловедение и прочность материалов: межвуз. сб. науч. трудов / ВолгПИ. – Волгоград, 1975. – Вып. 7. – С. 167-172.
12. Ударная-волновая обработка композиций на основе аропласта / Н.А. Адаменко, Г.В. Агафонова, В.Н. Арисова, С.М. Рыжова // НПИМ-2007 сб. научн. тр. междунар. конф. - Волгоград, 2007. – С. 95- 96.
13. Структура и свойства композиций фенилона после взрывной обработки / Н. А. Адаменко, Н. Х. Нгуен, П. А. Литвинов // НПИМ-2007 сб. научн. тр. междунар. конф. – Волгоград, 2007. – С. 96-97.
14. Влияние ударно-волновой обработки на структуру и термомеханические свойства наполненных полимерных композитов / Н. А. Адаменко, А. В. Казуров, И. И. Кривошукская, Д. А. Никулин // НПИМ-2007 сб. научн. тр. междунар. конф. – Волгоград, 2007. – С. 92 - 93.