

УДК 666.1.022.8

## ПРИМЕНЕНИЕ КВАРЦЕВОГО КОНЦЕНТРАТА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

Н.С. Крашенинникова, О.В. Казьмина, И.В. Фролова

Томский политехнический университет  
E-mail: kazmina@tpu.ru

Установлена принципиальная возможность использования кварцевого концентрата в производстве листового стекла. Рассмотрено влияние условий подготовки стекольной шихты с кварцевым концентратом на процесс варки и качество стекла. Установлено, что эффективным способом подготовки шихты на основе концентрата является уплотнение методом прессования, позволяющее увеличить скорость силикатообразования и получить стекла с заданными технологическими свойствами.

Кремнезем является основной составляющей большинства промышленных стекол. Его содержание в шихте составляет более 70 %. В качестве кремнеземсодержащего компонента стекольных шихт, кроме кварцевых песков, используют жильный кварц, кварцевые песчаники и кварциты.

В стекольном производстве предъявляются жесткие требования к качеству сырьевых материалов по их химическому, минералогическому и гранулометрическому составам. Основными критериями качества стекольного сырья является его химическая однородность, постоянство химического состава, а также ограниченное содержание в нем различного рода примесей.

В данной работе приведены результаты изучения возможности использования в производстве листового стекла кварцевого концентрата, получаемого при обогащении кварц-топазовых руд (месторождение Кемеровской области).

Сравнительный химический состав кварцевого концентрата и кварцевого песка, марки ВС-050-2, используемого в технологии производства листового стекла приведен в табл. 1 [1].

Кварцевый концентрат по содержанию оксида кремния удовлетворяет требованиям ГОСТ 22551-77, предъявляемым к кремнеземсодержащему сырью марки ВС-050-2. Повышенное содержание оксидов железа и титана, относящихся к красящим примесям, может привести к изменению колера стекла и снижению его светопропускания.

Гранулометрический состав концентрата, определенный методом ситового анализа, представлен на рисунке. Из полученных данных видно, что концентрат относится к мелкодисперсным материалам, так как более чем на 75 % он представлен частицами размером менее 0,1 мм. Оптимальными для стекловарения считаются пески с размером частиц от 0,1 до 0,4 мм [1]. Известно, что доизмельчение песка способствует ускорению процесса варки стекла. Однако повышенное содержание в песке пылевидных частиц может увеличить зону варки.

Кроме того, в случае использования мелкодисперсных сырьевых материалов в составных цехах образуется большое количество высокодисперсной пыли (свыше 50 % пылинок размером менее 1 мкм), которая является наиболее опасной для человека по фиброгенному действию. Содержание свободного диоксида кремния в витающей пыли зависит от вида обрабатываемых материалов и колеблется от 0,2 до 20 % и реже от 20 до 70 % [2].

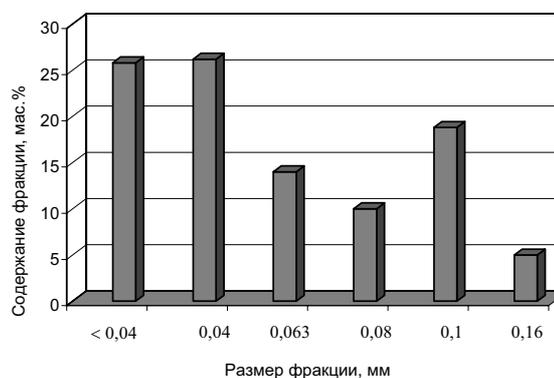


Рисунок. Гранулометрический состав кварцевого концентрата

Известно, что размер и форма зерен кварцевого песка оказывают существенное влияние на скорость варки и на количество пороков в стекле [1]. По установившейся практике наиболее пригодными для стекловарения считаются пески со средним размером зерен 0,15...0,4 мм. Использование тонкодисперсных кварцевых частиц (при размере зерен менее 0,1 мм) приводит к комкованию шихты и, следовательно, к замедлению стеклообразования. Для уменьшения комкования требуется применять методы подготовки шихты, обеспечивающие равномерное взаимное распределение компонентов в смеси. Одним из таких способов подготовки шихты является уплотнение, которое позволяет значительно улучшить основные показатели работы стекловаренного цеха, а также успешно решать вопросы, связанные с улучшением условий труда и охраны окружающей среды [3].

Таблица 1. Химический состав кремнеземсодержащего сырья

| Материал             | Содержание компонентов, мас. % |                                |                                |                               |      |                  |     |      |      |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|------------------|-----|------|------|
|                      | SiO <sub>2</sub>               | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | BaO  | TiO <sub>2</sub> | F   | C    | ппп  |
| Кварцевый концентрат | 96,4                           | 2,36                           | 0,15                           | 0,01                          | 0,01 | 0,1              | 0,6 | 0,01 | 0,35 |
| Кварцевый песок      | Не менее 95,0                  | Не более 2,0                   | Не более 0,05                  | -                             | -    | -                | -   | -    | -    |

**Таблица 2.** Составы стекольных шихт

| Шихта                         | Содержание компонентов в шихте, вес. ч. |         |         |              |                |       |
|-------------------------------|---|---------|---------|--------------|----------------|-------|
|                               | Песок                                   | Кварцит | Доломит | Полевой шпат | Сульфат натрия | Сода  |
| Промышленного состава         | 65,35                                   | –       | 20,33   | 9,71         | 0,98           | 24,09 |
| С заменой песка на концентрат |   |         |         |              |                |       |
| 12 %                          | 53,35                                   | 12      | 20,33   | 9,71         | 0,98           | 24,09 |
| 50 %                          | 32,68                                   | 32,68   | 20,33   | 9,71         | 0,98           | 24,09 |
| 100 %                         | –                                       | 73,03   | 20,72   | 1,65         | 1,03           | 25,26 |

**Таблица 3.** Результаты по уплотнению шихты методом окатывания и прессования

| Шихта                         | Метод уплотнения          |                          |                      |                                 |              |                                 |
|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------|
|                               | Окатывание                |                          |                      |                                 |              | Прочность плиток на сжатие, МПа |
|                               | Время гранулирования, мин | Влажность гранул, мас. % | Выход гранул, мас. % | Прочность гранул на сжатие, МПа |              |                                 |
|                               |                           |                          |                      | сырых                           | через 10 мин |                                 |
| Промышленного состава         | 15..20                    | 23..24                   | 70                   | 0,15..0,20                      | 0,28..0,30   | 2,2..3,8                        |
| С заменой песка на концентрат |                           |                          |                      |                                 |              |                                 |
| 12 %                          | 15..20                    | 23..24                   | 72..75               | 0,15..0,20                      | 0,25..0,30   | 2,5..3,7                        |
| 50 %                          | 20..25                    | 24..26                   | 90..95               | 0,18..0,20                      | 0,30..0,35   | 4,5..5,2                        |
| 100 %                         | 20..25                    | 25..27                   | 95..97               | 0,13..0,20                      | 0,25..0,29   | 0,8..1,1                        |

В данной работе уплотнение осуществляли методом окатывания и прессования. Для этого готовили шихту промышленного состава и модельные шихты с 12, 50 и 100 % заменой песка на кварцевый концентрат, составы приведены в табл. 2.

Уплотнение методом окатывания осуществляли на тарельчатом грануляторе с диаметром тарели 0,5 м, скоростью вращения 38 об/мин и углом наклона 47°. Прессование проводили в металлической обойме цилиндрической формы на гидравлическом прессе при давлениях 10...15 МПа. Перед прессованием шихту увлажняли до 7 мас. %, подогревали до 50...60 °С и перемешивали в течение 0,5 мин. Результаты опытов по уплотнению стекольных шихт приведены в табл. 3.

Как видно из полученных данных, замена в составе шихты песка на концентрат приводит к увеличению выхода гранулированного продукта до 95...97 %, что свидетельствует о стабилизации процесса гранулообразования. Однако, из-за высокого влагосодержания (23...27 %) и низкой механической прочности гранул, в технологический процесс следует вводить операцию сушки, что связано с дополнительными энергозатратами.

Все образцы, полученные прессованием, имели достаточно высокую прочность, значения которой находились в интервале 0,8...5,2 МПа. Причем, максимальное значение прочности имели образцы из шихты с 50 % заменой песка на концентрат. Сравнительно низкая механическая прочность образцов из шихты со 100 % заменой песка на концентрат связана с недостаточным количеством влаги и неравномерным ее распределением в объеме образца, что приводит к уменьшению числа коагуляционных контактов, обеспечивающих начальную прочность образцов [4]. Увеличение влагосодержания шихты до 9 мас. %, а давления прессования до 20 МПа позволило получить образцы прочностью до 6,5 МПа.

Замена традиционных материалов в технологии стекла оказывает влияние не только на свойства и способ подготовки стекольных шихт, но и на процесс варки. Для проведения лабораторных варок готовили шихты промышленного состава и с заменой песка на концентрат. Расчеты рецептов шихт показали, что для сохранения состава стекла замена песка на концентрат не должна превышать 12 мас. %. При более высоком содержании концентрата в шихте количество оксида алюминия в стекле превышает допустимое значение. Полная

**Таблица 4.** Составы шихт и стекла на основе песка и концентрата

| Сырьевые материалы  | Состав шихты, вес. ч. | Содержание оксидов в стекле, мас. % |                   |       |                                |                                |
|---|-----------------------|-------------------------------------|-------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|
|   |                       | SiO <sub>2</sub>                    | Na <sub>2</sub> O | CaO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Шихта на основе кварцевого песка                            |                       |                                     |                   |       |                                |                                |
| Песок   | 65,35                 | 64,77                               | –                 | 0,16  | 0,14                           | 0,05                           |
| Сода  | 24,09                 | –                                   | 13,79             | –     | –                              | –                              |
| Доломит   | 20,33                 | 0,23                                | 0,03              | 10,55 | 0,14                           | 0,06                           |
| Полевой шпат  | 9,71                  | 6,81                                | 0,83              | 0,05  | 1,91                           | 0,02                           |
| Сульфат натрия  | 0,98                  | –                                   | 0,43              | –     | –                              | –                              |
| Состав стекла по расчету                                    | –                     | 71,81                               | 15,08             | 10,76 | 2,19                           | 0,14                           |
| Шихта на основе кварцевого концентрата (100 % замена песка) |                       |                                     |                   |       |                                |                                |
| Концентрат  | 73,03                 | 70,41                               | –                 | –     | 1,72                           | 0,11                           |
| Сода  | 25,26                 | –                                   | 14,46             | –     | –                              | –                              |
| Доломит   | 20,72                 | 0,24                                | 0,03              | 10,75 | 0,14                           | 0,06                           |
| Полевой шпат  | 1,65                  | 1,16                                | 0,14              | 0,01  | 0,32                           | –                              |
| Сульфат натрия  | 1,03                  | –                                   | 0,45              | –     | –                              | –                              |
| Состав стекла по расчету                                    | –                     | 71,81                               | 15,08             | 10,76 | 2,19                           | 0,18                           |

**Таблица 5.** Характеристики образцов стекла

| Шихта                                    | Визуальный осмотр образцов стекла, отобранных при температуре                    |  |
|--|--|--|
|  | 1250 °С  | 1450 °С  |
| Промышленного состава (порошкообразная)  | Непровар в виде отдельных зерен кварца, небольшое количество крупных пузырей     | Частичный непровар, крупные (> 0,8 мм) пузыри, зеленоватый оттенок                             |
| С заменой песка: 100 % (порошкообразная) | Присутствие отдельных зерен кварца, большое количество мелких пузырей            | Отсутствие непровара, большое количество мелких (< 0,8 мм) пузырей, свиль, зеленоватая окраска |
| 100 % (компактированная)                 | Отсутствие непроваренных зерен кварца, сравнительно небольшое количество пузырей | Отсутствие непровара, небольшое количество мелких пузырей (< 0,8 мм), зеленоватая окраска      |
| 12 % (компактированная)                  | То же  | То же  |

замена песка концентратом требует корректировки рецепта шихты, а именно, изменения количества полевого шпата – основного источника оксида алюминия в стекле. Составы шихт и стекол, полученные расчетным путем представлены в табл. 4.

Стекла варили из порошкообразных и компактированных шихт. Варку стекла осуществляли в электрической печи со скоростью нагрева 5 град/мин. Максимальная температура варки составляла 1450 °С. Отбор проб для анализа проводили при температурах 1250 и 1450 °С. Время выдержки проб при данных температурах составляло во всех опытах 20 мин. Отобранные пробы стекла подвергли визуальному осмотру (табл. 5).

Результаты варок показали, что в пробах стекла, отобранных при 1240 °С, в случае использования порошкообразной шихты имеется непровар в виде отдельных зерен кварца и небольшое количество крупных пузырей, в то время, как в пробах стекла из компактированной шихты непровар отсутствует. Это указывает на увеличение скорости реакций силикатообразования в случае использования концентрата в составе стекольной шихты для производства листового стекла.

Стадия осветления при варке порошкообразных шихт с концентратом протекает медленнее, о чем свидетельствует наличие в образцах стекла, отобранных при температуре 1450 °С, большого количества мелких пузырей. Значительно меньшее количество пузырей содержится в образцах стекла, сваренных из компактированной шихты со 100 % заменой песка на концентрат. Необходимо отметить, что эти образцы стекла приобретают более интенсивную зеленую окраску.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали принципиальную возможность использования концентрата в технологии производства листового стекла. При этом в случае замены песка концентратом более чем на 12 % требуется проводить корректировку рецепта стекольной шихты. В качестве эффективного способа приготовления шихты на основе концентрата рекомендуется использовать уплотнение методом прессования, которое позволяет на 15...20 % снизить пыление шихты на всех стадиях ее подготовки и транспортировки, а также оказывает положительное влияние на процесс варки и качество стекла [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Парюшкина О.В., Мамина Н.А., Панкова Н.А., Матвеев Г.М. Стекольное сырье России. — М.: АО "Силинформ", 1995. — 84 с.
2. Шапилова М.В., Барышников Ю.А. Охрана труда в производстве стеклянной тары и сортовой посуды. — М.: Легпромбытиздат, 1989. — 202 с.
3. Мелконян Р.Г. Аморфные горные породы и стекловарение. — М.: НИИ "Природа", 2002. — 263 с.
4. Крашенинникова Н.С. Уплотнение стекольных шихт. Дис. ... канд. техн. наук. — Томск, 1990. — 212 с.