

*С. Н. Яицкий, д-р техн. наук Л. Л. Брагина¹,
канд. техн. наук Ю. О. Соболев¹
(ПАО «Лисичанский стеклозавод «Пролетарий»,
г. Лисичанск, Украина;
¹НТУ «Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков, Украина)*

Свойства и опыт использования кварцевых песков месторождений Харьковской области в силикатной промышленности

Введение

В силикатной промышленности производство стекла относится к отраслям с интенсивным энергопотреблением. По результатам термодинамической оценки, приведенной Ле Бургисом [1], энергозатраты на получение 1 кг натрий-кальций-силикатных стекол, к которым относится и листовое полированное флоат-стекло, составляют всего 2,7 МДж. Однако на практике они достигают 6 МДж на 1 кг [2].

Известно [3], что эффективным энергосберегающим направлением в стеклоделии является интенсификация варки стекол, один из способов которой — ускорение процесса растворения зерен кварцевого песка — основного и наиболее тугоплавкого компонента для введения SiO_2 в стекольную шихту. Это весьма сложный процесс, зависящий от многих факторов, включая химический и, особенно, гранулометрический состав песка, а также форму его зерен.

К наиболее высококачественным пескам СНГ и Европы, используемым в силикатной промышленности, относятся кварцевые пески Новоселовского и Староверовского месторождений, расположенных в Харьковской области.

Цель данной работы — установление особенностей влияния химического и гранулометрического состава указанных песков и формы их зерен на процесс варки и качество листового флоат-стекла, производимого на ПАО «Лисичанский стеклозавод «Пролетарий».

Экспериментальная часть

В работе были использованы: природный (необогащенный) кварцевый песок ПК-050-П Новоселовского месторождения и обогащенный ПК-040-З Староверовского карьера Харьковской области, химический и гранулометрический состав которых приведен соответственно в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав кварцевых песков Харьковской области

Маркировка песка	Дата поставки	Содержание компонентов, мас. %			
		SiO ₂ (не менее 98,5)	Al ₂ O ₃ (не более 1,0)	Fe ₂ O ₃ (не более 0,05)	п.п.п. (не более 1,0)
ПК-050-П	10.2009	99,46	0,054	0,031	0,12
	11.2009	99,57	0,056	0,035	0,17
	12.2009	99,30	0,053	0,035	0,22
	01.2010	99,44	0,097	0,048	0,26
	02.2010	99,53	0,086	0,040	0,24
	03.2010	99,47	0,082	0,041	0,22
	04.2010	99,48	0,054	0,043	0,20
	1—6.05.2010	99,50	0,091	0,038	—
	10—11.05.2010	99,50	0,053	0,040	—
	02.2011	99,58	0,087	0,037	0,14
12.2011	99,56	0,076	0,040	0,25	
ПК-040-З	09.2011	99,58	0,049	0,024	0,14
	02.2012	99,60	0,086	0,028	0,18

Таблица 2

Гранулометрический состав кварцевых песков Харьковской области

Маркировка песка	Дата поставки	Содержание (%) фракций с размером зерен, мм						Основная фракция (0,16—0,4)
		0,63	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	
ПК-050-П	10.2009	0,16	2,29	7,32	35,65	31,19	21,76	76,45
	11.2009	0,12	1,66	5,3	27,95	35,99	27,21	70,90
	12.2009	0,10	1,09	5,89	32,55	29,74	27,07	69,27
	01.2010	0,06	0,62	1,57	16,53	32,26	40,86	50,97
	02.2010	0,13	1,44	2,37	26,38	29,88	35,89	60,07
	03.2010	0,16	1,99	2,95	30,55	26,87	34,25	62,36
	04.2010	0,21	2,25	3,44	26,89	30,43	34,47	63,01
	05.2010	0,10	2,46	3,14	26,21	29,26	36,50	60,12
	02.2011	0,13	2,79	2,00	37,69	26,76	28,62	68,94
	12.2011	0,15	3,23	2,97	36,71	31,72	21,60	74,63
ПК-040-З	09.2011	—	0,08	4,65	90,76	1,69	2,48	97,18
	02.2012	—	0,26	8,22	87,02	3,38	0,70	98,78

Методика экспериментов включала химический и ситовой анализ, оптическую микроскопию с использованием микроскопов МВС-10 и ПОЛІАМ Р-31, а также оценку качества листового флоат-стекла на наличие оптических искажений и дефектов путем применения электронной системы ISRA Vision (Германия) и спектрофотометра СФ-16.

Промышленную варку стекол осуществляли в регенеративной ванной печи производительностью 350 т стекломассы/сутки с поперечным направлением пламени.

Учитывая цель настоящей работы, детально изучено влияние химического и гранулометрического состава использованных кварцевых песков на качество готового флоат-стекла, в частности, светопропускание, наличие мелких пузырей (дефект «мошка») и оптических искажений в проходящем свете.

Результаты и их обсуждение

В соответствии с основными требованиями к качеству сырьевых материалов для производства флоат-стекла содержание SiO_2 в кварцевых песках должно быть не менее 98,5 мас.%, Fe_2O_3 — 0,03—0,04 мас.%, но не более 0,05 мас.% [4; 5]. Как следует из табл. 1, содержание SiO_2 в новоселовском необогащенном песке в разные периоды его поставок на ПАО «Лисичанский стеклозавод «Пролетарий» в основном соответствует этим требованиям, превысив их в конце 2011 г. Староверовский обогащенный песок характеризуется содержанием SiO_2 99,58%, что выше гостированных норм. Количество оксида железа в обоих видах этих песков также подтверждает их высокие кондиции, особенно если учесть, что в новоселовском обогащенном песке содержание Fe_2O_3 составляет всего лишь 0,007 мас.%.

Гораздо сложнее оказалась ситуация с гранулометрическим составом использованных песков. Мониторинг качества получаемого стекла с применением электронной системы дефектоскопии ISRA Vision показал, что при использовании одного лишь необогащенного песка Новоселовского месторождения имели место снижение оптических показателей стекла в проходящем свете, ухудшение светопропускания и наличие дефекта «мошка».

Анализ данных по гранулометрическому составу ПК-050-П в разные периоды его поставки (табл. 2) свидетельствует о существенной нестабильности этого параметра.

Не менее важной характеристикой песков является содержание в них так называемой основной фракции. Согласно [5], основная фракция кварцевого песка включает зерна с размерами

в диапазоне 0,1—0,4 мм в количестве $\approx 95\%$. Однако, как показал практический опыт применения песков Харьковской области на ПАО «Лисичанский стеклозавод «Пролетарий», основная фракция, которая, по определению, должна быть относительно постоянной, включает зерна с размерами не 0,1—0,4 мм, а 0,16—0,4 мм (табл. 2).

Действительно, зерновой состав песка в производстве стекла имеет большое значение, влияя на скорость и полноту его растворения в образующемся расплаве [6; 7]. Так, наличие в песке частиц кварца с диаметром более 0,5 мм снижает скорость стеклообразования в процессе варки стекла.

Как отмечают Н. А. Панкова и Н. Ю. Михайленко [7], в песках с широким интервалом фракций медленнее провариваются не только крупные, но и очень мелкие зерна, склонные к образованию комков. Скорость растворения зерен песка возрастает пропорционально удельной поверхности [8]. Однако мелкие фракции песка затрудняют ход осветления стекломассы: вокруг каждого зерна по мере его расплавления образуется относительно вязкий расплав из-за насыщения кремнеземом. Это препятствует подъему очень мелких пузырьков, обволакивающих в виде венчика зерна тонких фракций, и их агрегации в крупные пузыри с достаточной подъемной силой.

Поэтому зерна с размерами 0,1 мм и менее, ускоряя процессы силикато- и стеклообразования, будут затруднять ход осветления стекломассы, что обуславливает необходимость их количественного контроля и уменьшения доли в гранулометрическом составе применяемых песков.

Анализ полученных в 2009—2012 гг. данных о качестве флоат-стекла на заводе «Пролетарий» показал следующее. Использование лишь новоселовского необогащенного песка приводило к появлению брака «мошка» и снижению светопропускания готового стекла. Его гранулометрический состав, помимо нестабильности, характеризуется значительным содержанием тонкой фракции 0,1 мм — от 21,76 до 40,86 % (табл. 2). Соответственно содержание основной фракции находилось в пределах 76,45—50,97 %.

Установка механического устройства для перемешивания стекломассы на пережиге печи (на границе зон осветления и студки) обусловила улучшение оптических показателей готового стекла, но не устранила упомянутый выше брак.

Достоинством старовееровского песка является практическое отсутствие в нем фракций с размерами более 0,4 мм, очень низкое

содержание зерен менее 0,16 мм и, соответственно, преимущественное наличие основной фракции — до 98,88 %. К недостаткам этого песка следует отнести округлую форму зерен, тогда как в случае новоселовского песка имела место остроугольная форма зерен (см. рис. а и б). Именно это определяло большую удельную поверхность и реакционную активность песка ПК-050-П.

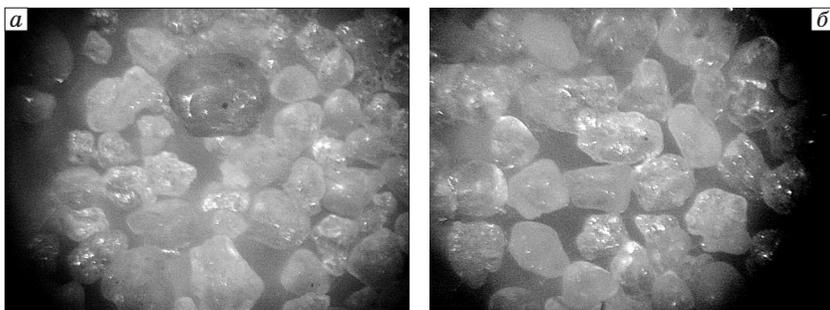


Рис. Микрофотографии зерен песков Харьковской области ($\times 10$):
а — новоселовский ПК-050-П; б — староверовский ПК-040-З

С учетом приведенных данных была произведена последовательная замена в шихте новоселовского песка староверовским, что привело в случае оптимального соотношения ПК-040-З : ПК-050-П = 3 : 1 к увеличению содержания в ней основной фракции до 89,43 % и уменьшению количества в песчаной смеси Fe_2O_3 до 0,028 % (табл. 3) и, в итоге, к значительному снижению дефекта «мошка», оптических искажений и обеспечению коэффициента светопропускания $T = 88 \div 90$ %.

Таблица 3

Характеристики смесей новоселовского и староверовского песков

Наименование	Содержание (%) фракций с размером зерен, мм									Содержание Fe_2O_3 , мас. %		
	0,63	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05	Основная фракция	Всего	песок	шихта
Соотношение песков староверовский: новоселовский												
3:1	0,05	1,88	12,51	64,87	10,17	9,93	0,49	0,02	89,43	99,92	0,028	0,0515
2:1	0,07	2,16	11,94	61,24	10,90	13,1	0,54	0,01	86,24	99,96	0,030	0,0528
1:1	0,12	2,47	10,46	55,63	14,25	16,03	0,94	0,02	82,81	99,92	0,032	0,054

Заклучение

Применение кварцевых песков Новоселовского и Староверовского месторождений Харьковской области позволяет получать высококачественное листовое полированное флоат-стекло. Для этого необходимо сочетание в соотношении 3:1 обогащенного кварцевого песка ПК-040-З Староверовского карьера с округлыми зернами, стабильным гранулометрическим составом и незначительным количеством тонкой фракции (0,1 мм и менее) и небогащенного (природного) песка Новоселовского месторождения ПК-050-П с зернами остроугольной формы, несмотря на его нестабильный гранулометрический состав и высокое содержание указанной тонкой фракции.

Основная фракция кварцевого песка, соответствующая размеру зерен в диапазоне 0,16—0,4 мм, должна составлять не менее 89 %, что следует учитывать при использовании этого компонента в составе стекольной шихты.

Библиографический список

1. *Le Bourhis E.* Glass: Mechanics and Technology / E. Le Bourhis. — Weinheim: WILEY-VCH GmbH&Co., 2008. — 366 p.
2. *Шаффер Н. А.* Технология стекла : [учебник] / Н. А. Шаффер ; пер. с нем. Н. И. Минько. — Кишинев : СТИ-Print, 1998. — 270 с.
3. *Гуляян Ю. А.* Основные направления повышения эффективности стекловарения / Ю. А. Гуляян // Стекло мира. — 2001. — № 3. — С. 39—44.
4. *Яцишин Й. М.* Технологія скла : [у 3 ч.] / Й. М. Яцишин. — Львів : Бескид Біт, 2004. — Ч. 2: Основи технології скляної маси. — 2004. — 250 с.
5. Использование сырьевых материалов с заданными характеристиками — дополнительный резерв повышения эффективности работы стекловаренных печей и качества продукции в производстве флоат-стекла / Л. Я. Левитин, В. И. Левитин, В. Д. Токарев [и др.] // Стекло и керамика. — 2012. — № 1. — С. 3—8.
6. *Shelby J. E.* Introduction to Glass Science and Technology / J. E. Shelby. — Cambridge: Society of Chemistry, 2005. — 308 p.
7. *Панкова Н. А.* Теория и практика промышленного стекловарения : [учеб. пособ.] / Н. А. Панкова, Н. Ю. Михайленко. — М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2003. — 102 с.
8. *Гуляян Ю. А.* Физико-химические основы технологии стекла : [учеб. пособ.] / Ю. А. Гуляян. — Владимир : Транзит-ИКС, 2008. — 736 с.

Рецензент к. т. н. Хончик И. В.