

уравнением (9) могут послужить базой для создания инженерного метода теплового расчета печей прямого нагрева.

Л и т е р а т у р а

1. Андрианов В.Н. Основы радиационного и сложного теплообмена. М., 1972. 2. Шорин С.Н. Теплопередача. М., 1964. 3. Шкляр Я.В. и др. - В сб.: Теплообмен и эксплуатация стекловаренных печей в производстве стекловолокна. М., 1971. 4. Лебедев В.И., Шкляр Я.В. - "Изв. вузов. Сер. "Энергетика" 1966, №12. 5. Шкляр Я.В. Теоретическое и экспериментальное исследование внешнего теплообмена в установках производства стекловолокна. Отчет по научно - исследовательской работе. Витебск, 1975. 6. Лебедев В.И., Шкляр Я.В. В сб.: Теплообмен в печах и котельных установках, № 70. М., 1970.

С.Г. Ковчур, А.П. Гайдук

К ВОПРОСУ О КОМПЛЕКСНОМ ПОДХОДЕ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ И УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА СТЕКЛА

Актуальными вопросами для стекольной промышленности являются повышение эффективности работы стекловаренных печей и улучшение качества стекломассы и готовой продукции.

На Борисовском стеклозаводе им.Ф.Э.Дзержинского в течение многих лет проводились систематические исследования по изучению влияния технологического топлива на технологию варки стекла в ванной печи [1]. Установлено, что образующиеся вследствие сгорания моторного топлива ДТ-1 красящие примеси железа, хрома, никеля, ванадия, кобальта и меди, соприкасаясь с поверхностью стекломассы, окрашивают ее. Причем верхние окрашенные слои стекломассы, и нижние, бесцветные имеют разную плотность и вязкость, т.е. в варочной части печи возникает слабая конвекция. Это является одной из основных причин образования свили, физической и химической неоднородности, изменения твердости, а в конечном итоге приводит к постепенному ухудшению колера стекломассы в рабочей части печи.

Проведенные авторами исследования качества свинцово-кальевосиликатных стекол [2-4] позволили также установить природу наиболее распространенных пороков в процессе варки стекла. Они встречаются в виде белых контактных камней, состоящих из щелочных алюмосиликатов лейцита, корнегита, кристобалита или β -глинозема; камни тяжелой фракции кварцевого песка в виде отдельных разбросанных зерен природного силлиманита, кианита и глиноземистой свили. Изучение условий образования пороков при варке стекломассы позволяет уточнить их природу и дает возможность принимать конкретные меры для их предотвращения.

Содержание в песке Al_2O_3 до 0,04 мас.% приводит к образованию глиноземистых минералов в виде силлиманита и кианита, которые, задерживаясь в зоне варки, дают крупные шихтные камни величиной до 0,25 мм с показателем преломления n_D до 1,678. Зерна силлиманита и кианита хорошо растворяются в стеклах с повышенным содержанием окисей натрия и калия. Это касается и кальциево-натриевосиликатных стекол.

Растворение глиноземистых минералов достигается при содержании щелочных окислов с Na_2O не ниже 2 мас.%. Кроме того, в состав стекла вводят 1-1,5 мас.% борного ангидрида, до 3 мас.% CaO , что способствует улучшению провара стекла, повышению механической прочности и химической устойчивости. Введение BaO до 5 мас.% приводит к уменьшению склонности стекла к кристаллизации в контактном слое и образованию глиноземистых шлиров без кристаллических включений.

Введение ZnO в количестве 1-5 мас.% ведет к увеличению скорости нарастания контактного слоя с образованием кристобалитных масс. Кроме того, целесообразно провести снижение температуры варки стекла до $1420^\circ C$, а также обогащение песка путем промывки его на вибрационном столе. После первой промывки содержание силлиманита в песке снижается в 2-3 раза, а после второй глиноземистые минералы удаляются из песка почти полностью. При изучении условий образования глиноземистой свили установлено [5], что в малонатриевых хрустальных стеклах свиль образуется меньше, чем в многонатриевых. В контактном слое малонатриевых хрустальных стекол образуется относительно устойчивый лейцит с высокой температурой начальной кристаллизации, а в многонатриевых - при растворении щелочных алюмосиликатов образуется подвижный слой и скорость его диффузии зависит от вязкости основного

Табл. 1. Химический состав стекол

Номер стекла	Содержание, масс. %							
	SiO ₂	PbO	K ₂ O	B ₂ O ₃	BaO	ZnO	CaO	Na ₂ O
1	61	13,0	15,0	1,0	5,0	3,0	-	2,0
2	60,2	9,8	14,0	1,5	7,0	3,0	3,0	1,5

Табл. 2. Характеристики малосвинцовых стекол

Номер стекла	Плотность d, г/см ³	Показатель преломления η_D	Средняя дисперсия $\eta_f - n_c$	Коэффициент дисперсии, %	Светопропускание T, %
1	2,768	1,541	1,240	44	93,1
2	2,753	1,532	1,236	45	92,8

Табл. 3. Термические и кристаллизационные свойства стекол

Номер стекла	Термостойкость, °C	$\alpha \cdot 10^4$, 1/град	Температура начала размягчения, °C
1	93,2	97,1	505
2	95,3	95,0	507

стекла. Для предотвращения свили важно строго соблюдать постоянные режим варки и состав стекла. Для дальнейшего развития производства отечественных хрустальных стекол необходимо прежде всего улучшить качество поташа и кварцевого песка, с тем чтобы предупредить камнеобразование в стекле.

В результате исследования условий возникновения рассмотренных пороков при варке стекла авторами синтезированы рациональные составы малосвинцовых стекол [6, 7].

На основании изучения прежних структур [2, 4, 6], выполнения необходимых расчетов и исследования основных свойств малосвинцовых стекол авторы пришли к выводу, что составы синтезированных малосвинцовых стекол, приведенные в табл. 1, можно применять для производства сортовой посуды и высокохудожественных изделий из стекла. На основе этих исследований была разработана технология варки малосвинцовых стекол в горшковых и ваннных печах, позволяющая получать стекломассу повышенной светопрозрачности и хорошего качества без шлиров и свили [7].

На составах малосвинцовых стекол 1 и 2 нами изучались показатели преломления, средняя дисперсия, коэффициент дисперсии и светопроломление в диапазоне длин волн 400-750 нм. (табл. 2).

Термические характеристики и кристаллизационные свойства стекол 1 и 2 приведены в табл. 3

При изучении кристаллизационных свойств обращает на себя внимание тот факт, что стекла 1 и 2 не имеют даже признаков кристаллизации (кристаллизационной пленки). Это свидетельствует о том, что исходные составы малосвинцовых стекол синтезированы правильно и структура их приближается к структуре "идеальных" стекол.

Одним из критериев оценки качества стеклоизделий является светопрозрачность, блеск и отсутствие цветового оттенка, т.е. наличие хорошо обесцвеченной стекломассы. Поэтому проблема обесцвечивания сортового стекла остается актуальной и в настоящее время. По этому вопросу имеется ряд публикаций [8, 9, 13].

На отечественных заводах широкое распространение в производстве свинцовых стекол получили химические (мышьяк, селитра) и физические (окиси никеля и неодима) обесцвечиватели. Следует отметить, что указанные обесцвечиватели имеют ряд недостатков [10]. Например, селитра имеет температуру разложения около 400°С и часть кислорода идет на окисление As_2O_3 и As_2O_5 , а остальная часть удаляется с отходящими газами до начала стеклообразования. При варке свинцовых стекол происходит улетучивание мышьяка. Кроме того, стекла, содержащие соединения мышьяка, подвержены соляризации под воздействием электромагнитного излучения. Использование соединений никеля в качестве физических обесцвечивателей для свинцовых стекол приводит к уменьшению светопрозрачности их, т.е. к ухудшению качества стеклоизделий.

Отмеченные недостатки можно устранить, если в качестве обесцвечивателя свинцовых хрусталей использовать смесь редкоземельных элементов, предложенную группой сотрудников Гусевского филиала ГИС и состоящую из 0,07–1,0 мас.% CeO_2 ; 0,006–0,07 мас.% Nd_2O_3 и 0,02–0,025; Er_2O_3 при содержании Fe_2O_3 в пределах 0,01–0,025 мас.%. Двоокись церия в этой смеси играет роль химического обесцвечивателя, а Nd_2O_3 и Er_2O_3 физического.

В работе по повышению качества изделий на стекольных заводах большая роль отводится правильной организации контроля производства. В практике заводских лабораторий для качественного определения компонентов в стеклах и сырьевых мате-

риалах наряду с химическим применяются спектральные методы анализа [11].

Химическими и спектральными методами проводится анализ хрустального стекла. Содержание таких компонентов, как SiO_2 , PbO , SO_3 определяется химическими методами: K_2O , Na_2O - методом пламенной фотометрии; Al_2O_3 , Fe_2O_3 , ZnO , B_2O_3 , NiO - спектральным методом. Окись железа во всех известково-натриевых стеклах можно контролировать только спектральным методом.

Для обеспечения требуемого колера хрустала на стекольных заводах можно и нужно контролировать спектральным методом содержание окиси железа на всех стадиях технологической обработки материалов. Этим же методом необходимо исследовать пороки стекломассы и готовой продукции. Применение спектральных методов анализа в производстве стекла позволяет более эффективно проводить контроль и своевременно влиять на ход технологического процесса.

Продолжительность кампании стекловаренных печей до сих пор определяется насадками генераторов. В результате проведенных нами экспериментальных исследований удалось выяснить, что взаимодействуют с шамотным огнеупором регенеративных камер не только продукты улетучивания шихты и стекла, но и окислы металлов, находящиеся в моторном топливе. Следует отметить, что в результате этих реакций в процессе эксплуатации огнеупоров изменяется их минералогический состав. Так, нами установлено, что основным компонентом перерождения шамота является минерал нозеан. Другими продуктами перерождения шамотного огнеупора являются нефелин, кордиерит и в ограниченных количествах альбит.

Для улучшения работы регенераторов ванн печей на Борисовском стекольном заводе им. Ф.Э. Дзержинского максимально увеличена развитая поверхность теплообмена, которая получена за счет рациональной системы насадки с каналами сечения 150 x 150 мм, целесообразно использован ее объем, правильно организован подвод и отвод газов, так как скорости по всему сечению одинаковы. Для ликвидации присоса воздуха применена газоплотная кладка стен горелок, регенераторов и газоходов.

Применение сыпучей шихты для варки хрустального стекла в ванной печи значительно ухудшает условия труда, приводит к уносу дорогостоящих окислов свинца, натрия, калия при транспортировке и плавлении, приводит к ее расслаиванию и ухуд-

шению основных показателей технологического процесса. Перспективным методом подготовки хрустальной шихты с целью устранения указанных недостатков является ее гранулирование или брикетирование. Однако О.Кнапп [12] считает, что брикетирование шихты требует большого расхода электроэнергии и специального дорогостоящего оборудования. Уараактерно, что слой гранулированной шихты в стекловаренных печах плотнее укладывается, чем брикетированной, причем улучшается теплообмен и качество хрустальной стекломассы, а также повышается съем стекломассы. С целью интенсификации варки и выработки готовой продукции, улучшения культуры производства на Борисовском стеклозаводе разработана техническая документация установки по гранулированию шихты и производятся работы по ее изготовлению. Проведен также комплекс мероприятий по автоматизации технологических процессов стекловарения [1].

Осуществление таких мероприятий позволило Борисовскому стеклозаводу им.Ф.Э.Дзержинского довести длительность кампании ванной печи 1 до 24 мес. При этом прирост объема производства составил 12% с экономическим эффектом в 250 тыс. руб. в год. В дальнейшем это позволит довести длительность кампании ванной печи 1 до 36 мес. с улучшением качества стекломассы и готовой продукции.

Л и т е р а т у р а

1. Ковчур С.Г. и др. - "Стекло и керамика", 1975, № 7.
2. Ковчур С.Г., Гайдук А.П. - Тр. ГИС "Стекло", 1973, № 2.
3. Шмелева Н.А. - Бюл. ВНИИСВ, 1956, № 4.
4. Ермоленко Н.Н., Ковчур С.Г., Гайдук А.П. - Кратк. тез. докл. Всесоюзн. совещ. "Пути улучшения качества стеклоизделий и интенсификации технологических процессов производства сортового и тарного стекол". Березовка, 1975.
5. Гурфинкель И.Е. Стекольная промышленность в СССР и за рубежом (обзор). М., 1960.
6. Ковчур С.Г. - "Стекло и керамика", 1963, №5.
7. Савицкий С.Е. и др. - "Промышленность Белоруссии", 1970, №9.
8. Бондарев К.Т., Дубровский В.А. - "Стекло и керамика", 1958, № 2.
9. Варгин В.В., Осадчий Г.А. - "Стекло и керамика", 1960, № 2.
10. Юдин Н.А. и др. - "Стекло и керамика", 1974, № 8.
11. Гайдук А.П., Ухина Е.В., Гигиевич В.С. - "Стекло и керамика", 1974, № 12.
12. Кпарр О. - "Glass-Email-Keramo-Technik", 1968, 20, N5.
13. Hampel C. - Glass Industry, 1960, N2.