

*Д. В. Петров¹, д-р техн. наук Л. Л. Брагина², С. В. Филоненко¹
(¹ГП «Изюмский приборостроительный завод»,
г. Изюм, Украина;
²НТУ «Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков, Украина)*

Оптимизация режимов работы печи производства тугоплавкого оптического стекла в керамических сосудах

Введение

На сегодняшний день в Украине остро стоит вопрос о конкурентоспособности промышленного сектора. Одним из важнейших ее элементов является качество выпускаемой продукции, для обеспечения которого необходимы высококвалифицированные специалисты. Многие производства в Украине, в частности стекловарение цветного и бесцветного оптического стекла, являются уникальными и в то же время чрезвычайно сложными. Единственным заводом, который выпускает такую продукцию в Украине, является Государственное предприятие «Изюмский приборостроительный завод», характеризующийся исключительными достижениями в рассматриваемой области [1]. Поэтому, развивая оптическое стеклоделие, чрезвычайно важно сохранить ранее созданные здесь технологии и обеспечить разработку и внедрение принципиально новых технических решений.

Производство цветного и бесцветного оптического стекла — очень сложный и длительный процесс, который включает несколько этапов: от подготовки и расчетов сырья до формования и отжига готовых стеклоизделий [2]. Каждый этап является неотъемлемым и равноправно важным [3]. Несоблюдение технологических параметров на любом этапе влечет за собой брак конечной продукции.

Для варки специальных стекол, к которым, помимо технических и художественных, относятся и оптические, используют преимущественно горшковые печи, в которых обычно производится небольшое количество стекломассы. Это позволяет тщательно подготовить шихту требуемого состава и обеспечить механическое перемешивание и бурление стекломассы для

достижения ее однородности. Наибольшую маневренность режима варки обеспечивают одnogоршковые рекуперативные и регенеративные пламенные печи. Реже применяют двухгоршковые печи, а многогоршковые печи в оптическом стекловарении не используют. Самыми совершенными считаются верхнепламенные печи, работающие на природном газе, с автоматической регулировкой температуры и автоматическим обеспечением требуемого окислительно-восстановительного характера пламени [4].

Помимо самого процесса варки оптического стекла, на который влияет множество физических параметров, что делает его достаточно сложным, важнейшим этапом является подготовка керамического сосуда перед варкой [5]. Главной проблемой при этом является выводка такого сосуда в одnogоршковой регенеративной печи и последующая его эксплуатация непосредственно при варке. Это очень длительный процесс, осуществляемый несколькими сменами стекловаров и технологов, что обуславливает существенную роль человеческого фактора. Поэтому оптимизация режима работы печи для производства тугоплавких оптических стекол в керамических сосудах является весьма актуальной научно-технической задачей. Решения подобной задачи относятся в основном лишь к варке промышленных стекол (архитектурно-строительных, тарных и др.) в ваннных печах [6; 7]. Ее решение, в частности, путем создания системы автоматического управления технологическими процессами в одnogоршковой печи на этапе вывода сосуда, предусматривающее устранение человеческого фактора, явилось целью настоящей работы.

Экспериментальная часть

При выполнении данной работы учитывали особенности производства оптического стекла на ГП «Изюмский приборостроительный завод», где для варки используется одnogоршковая регенеративная стекловаренная печь. Ее конструкция приведена на рис. 1. Боковая стенка камеры этой печи имеет окно для установки и выемки горшков.

Были рассмотрены, как отмечено выше, все этапы изготовления керамического сосуда: от подготовки сырья до конечного обжига в одnogоршковой печи.

В связи с тем, что стекловаренный горшок является одним из основных источников образования неоднородностей в оптическом стекле, были детально рассмотрены все этапы изго-

товления керамического сосуда: от подготовки сырья до конечного обжига в одногоршковой печи. При этом учитывали следующие обстоятельства: необходимость обеспечения высоких требований к плотности сосудов; снижение выхода, качества по однородности, светопропусканию и пузырности стекломассы при уменьшении объема горшка, а также неблагоприятное влияние свободной поверхности стекломассы и контактной зоны стекломасса — горшок. Емкость изготавливаемых горшков составляет 400—600 л и больше, высота — около 1,25 м. Для их производства используются лучшие сорта огнеупорных глин. Формование осуществляется из полусухих масс. Внутренняя поверхность горшка — плотная и гладкая благодаря наличию тонкого слоя плотной, стеклостойчивой защитной обмазки.

Расход горшков в данном производстве составляет около 15 штук в месяц при полной загрузке одногоршковой печи. Поэтому с целью обеспечения пригодности керамического сосуда в течение всего срока варки оптического стекла чрезвычайно важно производить выводку без значительных температурных перепадов.

Ввиду того, что использование одной глины не дает возможности получить целостные изделия из-за ее высокой чувствительности к сушке и обжигу, технология изготовления огнеупорной керамики предусматривает введение в состав шихт отощающих материалов, улучшающих технологические свойства изделий: восприимчивость к сушке и обжигу, уменьшение усушки и усадки, повышение механической прочности и термической

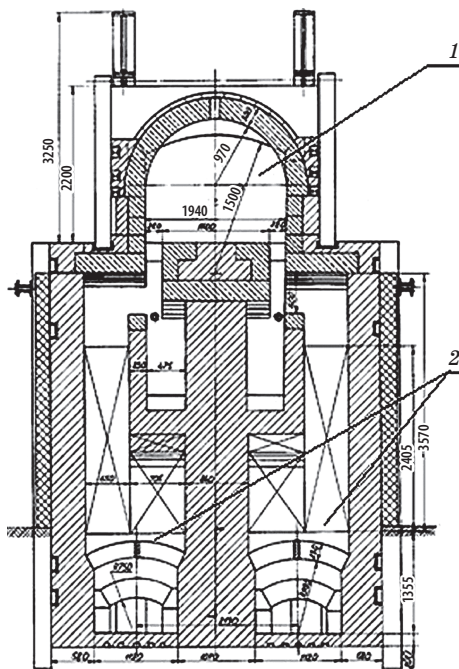


Рис. 1. Конструкция одногоршковой регенеративной стекловаренной печи:

- 1 — камера стекловаренной печи, в которой устанавливается керамический сосуд,
- 2 — регенераторы

стойкости. В качестве отощающих материалов используется шамот и горшковый бой, представляющий собой возвратные отходы, образующиеся в результате разрушения керамических сосудов после варки стекла. В случае, когда на производстве горшковый бой имеется в избытке, вместо части шамота возможно использование полностью горшкового боя. Введение горшкового боя в керамические массы в количестве 30—50 % от массы отощающих, не ухудшая качества изделий, снижает себестоимость продукции. Меньшая часть глины используется в качестве связующего компонента, большая — для изготовления шамота. Процесс подготовки глины включает ее предварительную сортировку, дробление на мелкие куски, сушку, вторичную сортировку, помол и просев.

Для придания сосуду термостойкости и стеклоустойчивости важен сбалансированный гранулометрический состав исходной массы, так как увеличение количества крупной фракции и уменьшение мелкой повышают термостойкость сосуда, тогда как увеличение количества мелкой фракции и уменьшение крупной повышает его стеклоустойчивость.

С учетом изложенного выше в качестве оптимального был выбран следующий гранулометрический состав массы, %: 1,5—1,0 мм — 4—17; 1,0—0,5 мм — 15—25; 0,5—0,25 мм — 10—25; менее 0,25 мм — 40—60. Смешивание составляющих производили при их следующем соотношении, %: глина — 10—12, каолин — до 12, шамот — до 35, горшковый бой — 45—50.

Полученную смесь подавали на гидравлический пресс и с добавлением воды под давлением 25 Н/мм² производили пресование сосуда. Далее сосуд сушили до остаточной влажности 1 % при температуре 130 °С. Высушенный сосуд устанавливали в электрическую печь, где за 2,5 суток температура повышалась до 900 °С. Обжиг сосуда осуществляли при заданной скорости подъема температуры на различных этапах. До 150 °С для удаления остаточной влаги затворения скорость составляла всего 5 °С/ч, так как ее превышение на данном этапе чревато возникновением микротрещин, которые при варке стекла могут привести к потечке сосуда. От 150 до 450 °С скорость увеличивали до 25 °С/ч. При этом происходила равномерная усадка массы.

Как известно, в интервале 450—600 °С происходит выделение влаги в результате разложения каолинита, что может вызвать уменьшение механической прочности сосуда, в связи с чем скорость нагрева снижали до 10 °С/ч. До 900 °С происходила равномерная усадка. Контроль температуры и регулирование скорости обжига вели с помощью прибора КСП-3 и задающей

шайбы. Механически выполненная кривая отвечала скорости заданного температурного режима.

Самым сложным этапом является выводка керамического сосуда в указанной печи, что обусловлено ее конструктивными особенностями и использованием в качестве теплоносителя природного газа. Первые 1,5—2 ч после загрузки сосуда в печь происходило выравнивание температур, затем осуществлялся ее медленный подъем со скоростью 40—50 °С в час до 1500 °С с последующей двухчасовой изотермической выдержкой. На данном этапе необходимо как можно точнее соблюдать температурный режим и, что особенно важно, избегать перепадов температур, которые могут создавать термоудары и, как следствие, микротрещины в керамическом сосуде. Последнее в любой момент может привести к разрушению сосуда и потечке стекломассы. Сложность этапа вывода керамического сосуда заключается в том, что на процессы горения влияет множество факторов, в том числе точность положения механизмов управления, параметры окружающей среды и человеческий фактор. Именно это определило необходимость создания автоматической системы управления технологическими процессами одnogоршковой печи (АСУТП ОГП), разработка и внедрение которой были осуществлены Харьковским научно-производственным предприятием «ИНТЕП» совместно с ГП ИПЗ.

Результаты и их обсуждение

Параметры функционирования объекта обычно включают величины, характеризующие целесообразный конечный продукт технологического процесса, отдельные показатели, определяющие ход технологического процесса, его экономичность, обеспечение безаварийного режима и т. д. [8]. В случае автоматизации процесса вывода керамического сосуда в одnogоршковой печи такими параметрами являются конечное состояние керамического сосуда и аварийная система оповещения при выходе контролируемых параметров за допустимые границы.

Основными технологически значимыми параметрами являются: температура в камере печи, расход газа, концентрация отходящих газов, разрежение в дымовой трубе, температура регенераторов. Измерение температуры в камере печи производили платинородиевой термопарой, что отображалось на измерительном преобразователе МТМ402, на регенераторах — хромель-алюмелевой термопарой и отображалось на преобразователе МТМ402.

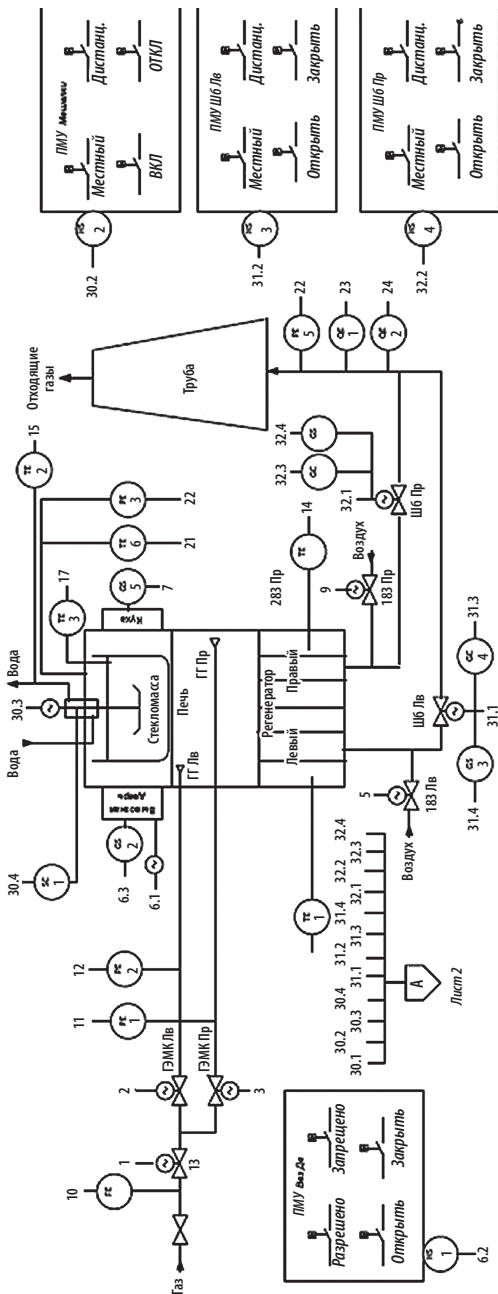


Рис. 2. Схема системы автоматического управления технологическими процессами одногоршковой печи

Регулирование этих температур производилось с помощью управления следующими механизмами: газовой заслонкой (МЭО-40/63-0,25-У-01-У2), воздушной заслонкой (МЭО-250/160-0,63-У-99К-У2), шиберами (трехфазный двигатель и датчик положения Balluff). Положения механизмов, а также выбор режимов управления осуществлялся с помощью БРУ-5, расположенных на панели ручного управления, контроль расхода природного газа — с помощью вихревого расходомера газа ТИРЭС-32-Г-Т1-Г-Т-1,6 Ех. Концентрация отходящих газов измерялась с помощью газоанализатора ОКСИ-5С, разрежение в дымовой трубе — «Сафир-М» - 5 2 0 1 - 0 2 - У 2 (-30;+50)-0,25(-0,4) к Ра-0,5-Н42-Р-И. Общий вид системы автоматизации представлен на рис. 2.

Программно процесс выводки соглас-но созданной АСУТП

осуществляется в соответствии с технологическим режимом: подъем температуры со скоростью 40 °С/ч до 1400 °С, 50 °С/ч до 1500 °С с последующей изотермической выдержкой при этой температуре не менее двух часов. Перекидка пламени производится при нагреве до температуры 1250 °С каждый час, до температуры 1500 °С — каждые полчаса. Температура регулируется с допуском ± 5 °С. Результат выводки в автоматическом режиме представлен на рис. 3.

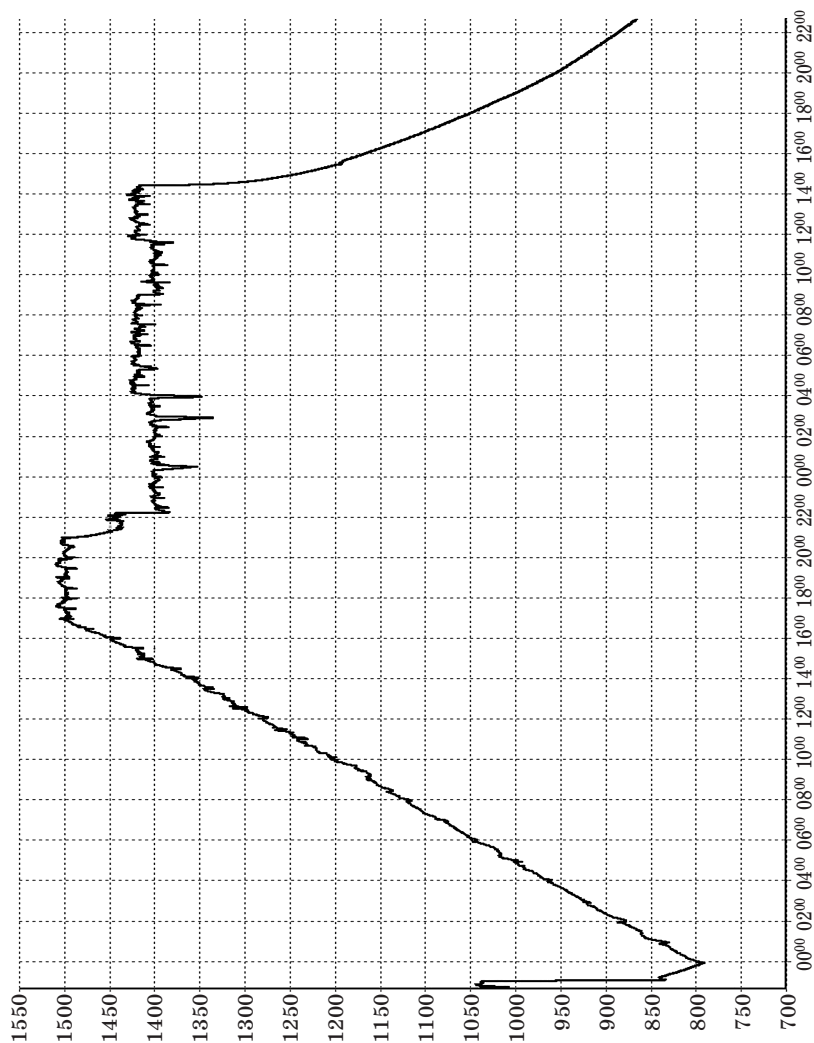


Рис. 3. Температурный график печи во время варки. Выводка с 00:00 до 21:00

Несмотря на то что создание системы автоматизации явилось значимым шагом в области контроля и управления технологическими процессами стекловарения, следует отметить, что принятие окончательного решения в случае нестандартной или аварийной ситуации зависит все же от стекловаров и технологов.

Заключение

В условиях ГП «Изюмский приборостроительный завод» проведена оптимизация режимов работы одnogоршковой регенеративной печи при производстве тугоплавкого оптического стекла в керамических сосудах с использованием разработанной и внедренной системы автоматического управления технологическими процессами.

Это позволило обеспечить высокое качество получаемого стекла и существенно увеличить долговечность и надежность работы керамических стекловаренных сосудов.

Библиографический список

1. Государственное предприятие «Изюмский приборостроительный завод» [Электронный ресурс] / Официальный сайт. — Режим доступа: <http://www.rada.com.ua/rus/catalog/8743/>

2. Немилев С. В. Оптическое материаловедение: Оптическое стекло : учеб. пособие / С. В. Немилев. — СПб. : СПбГУ ИТМО, 2011. — 175 с.

3. Hartmann P. Optical Glass / P. Hartmann. — Bellingham: SPIE, 2014. — 180 p.

4. Демкина Л. И. Физико-химические основы производства оптического стекла / Л. И. Демкина. — Л. : Химия, 1976. — 455 с.

5. Гойхман В. Ю. Печная теплотехника в производстве стекла: техническое пособие / В. Ю. Гойхман, В. Н. Руслов, В. А. Костыря. — Х. : Факт, 1997. — 287 с.

6. Ross C. Ph. Glass Melting Technology: A Technical and Economic Assessment / C. Ph. Ross, G. L. Tincher. — Westerville: Glass Manufactory Industry Council, 2004. — 274 p.

7. Технология стекла / [И. И. Китайгородский, Н. Н. Качалов, В. В. Варгин и др.]; под общ. ред. И. И. Китайгородского. — [4-е изд.]. — М. : Госстройиздат, 1967. — 564 с.

8. Клюев А. С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А. С. Клюев, Б. В. Глазов, А. Х. Дубровский, А. А. Клюев. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 464 с.

Рецензент канд. техн. наук Мишнева Ю. Е.