

2. Варенцов А. А. Развитие энергетического метода анализа процессов перемешивания и его использование при современном производстве стали: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Мариуполь, 1989.
3. Инжекционная металлургия, 83: труды конференции. – М.: Металлургия, 1990. – 399 с.
4. Здановская В. Г. Оптимизация конструкции фурменной зоны и гидродинамического режима печей с барботажным слоем при боковом подводе дутья: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МИСиС, 1982.
5. Гершуни Г. З., Жуховицкий Е. М. О конвективной неустойчивости двухкомпонентной смеси в поле тяжести // ПММ. 1963. 27. № 2. С. 301.
6. Мастрюков Б. С., Сборщиков Г. С. Теплофизика металлургических процессов. – М.: Металлургия, 1993.– 330 с.
7. Chorin A.J. Numerical solution of the Navier-Stokes equations // Mathematics of computations. 1968. Vol. 22, № 104. Pp. 745–762.

УДК 669.042

С. В. Гришаева

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), г. Москва, Россия

СТЕКЛОВАРЕННЫЙ ПЛАВИЛЬНЫЙ АГРЕГАТ С БАРБОТАЖНЫМ СЛОЕМ

Аннотация

Стекольная продукция пользуется постоянным все возрастающим спросом. Такой спрос должен удовлетворяться за счет увеличения производительности существующего оборудования либо за счет создания новых высокопроизводительных агрегатов. К настоящему времени современные ванны стекловаренные печи для производства тарного стекла исчерпали свои потенциальные возможности с точки зрения улучшения технико-экономических показателей и качества производимой стекломассы. Задачей данной работы является разработка энерготехнологического агрегата, позволяющего ликвидировать все недостатки современных ванн печей. В качестве базового агрегата принята печь с барботажным слоем. Принципиальной особенностью процессов в барботажном слое, обеспечивающих высокие технико-экономические показатели, являются предельные значения объемной тепловой нагрузки и интенсивного конвективного теплообмена. В сочетании с большой межфазной поверхностью это предопределяет высокую удельную производительность печей с барботажным слоем по перерабатываемому сырью.

Ключевые слова: стекло, печь, плавление, барботажный слой, энергосбережение.

Abstract

Glass production is in constant increasing demand. Such demand must be met by increasing the productivity of existing equipment, or through the creation of new high-performance machines.

To date, the traditional glass-melting furnaces for the production of container glass has exhausted their capabilities in terms of improving the technical and economic indicators and quality of manufactured glass. The purpose of this work is to develop a new unit, which allows to eliminate all the shortcomings of modern tank furnaces. As the basic unit is done with the bubbling layer furnace. The principal feature of the processes in the bubbling layer are limiting values of volumetric heat load and intensive convective heat and mass transfer, that providing high technical and economic indicators. In combination with a large interfacial surface this predetermines high specific capacity of the furnaces with bubbling layer on processed raw materials.

Keywords: glass, furnace, melting, bubbling layer, energy efficiency

Современная технология получения стекломассы при производстве стекольных изделий широкого потребления связана с использованием ваннных плавильных печей. В подавляющем большинстве случаев в них в качестве источника теплоты применяется органическое топливо, чаще всего газообразное, сжигаемое в надслоевом пространстве печи.

Шихта загружается периодически через специальные устройства в печи, загрузочные карманы, на поверхность ванны расплавленной стекломассы в виде куч. Теплота, необходимая шихте для нагрева до температуры плавления, передается от факела, стен, свода и ванны расплава через поверхность кучи и пропорциональна величине этой поверхности. При этом активно прогревается только та часть шихты, которая находится на поверхности кучи. Шихта в ее объеме прогревается весьма медленно, т. к. необходимая для этого теплота передается с поверхности теплопроводностью весьма экстенсивным процессом. Для интенсификации процесса расплавления шихты необходимо изменить способ ее загрузки таким образом, чтобы исключить образование куч и в максимальной степени увеличить ее межфазную поверхность.

Крайне неудовлетворительно протекает процесс передачи теплоты от факела горящего топлива, расположенного над поверхностью ванны, стен и свода печи к расплаву стекломассы в ее объеме. Передача теплоты от факела и верхнего строения печи на поверхность ванны происходит в основном излучением, а передача теплоты от поверхности ванны в глубину ее объема – в основном за счет теплопроводности. В результате поверхность ванны перегрета более чем на 200 °С по сравнению с температурой стекломассы в ее нижних слоях, поэтому в объеме ванны крайне неравномерно протекают процессы плавления, растворения и химического реагирования между компонентами шихты. Это обуславливает появление плохопроваренных объемов стекломассы, в которых не завершились процессы растворения кремнезема и другие физико-химические превращения.

Неравномерность прогрева ванны и ее химического состава можно было бы значительно уменьшить за счет интенсивного перемешивания стекломассы в ней. Однако, перемешивание стекломассы в ваннных печах крайне слабое. Его механизм связан с естественной конвекцией. Интенсивность этого движения характеризуется скоростью 0,002 м/с (7 м/ч). Попытки активизировать перемешивание искусственным путем дают некоторое улучшение показателей варки, однако это не позволяет достигнуть прорывного результата. На печах существующей конструкции невозможно также значительно поднять среднюю температуру стекломассы в ванне печи. Связано это с конструктивными особенностями верхнего строения печи, где располагается факел. Надслоевое пространство ваннных стекловаренных печей выполняется обычно из динасовых огнеупоров, рабочая температура которых ограничена

значением температуры 1680 °С. Очевидно, температура факела не может быть выше этого значения. В настоящее время эта температура на промышленных печах поддерживается на уровне 1630 °С. Дальнейший ее подъем может привести к быстрому разрушению верхней части стен и свода печи. Т. к. теплота от факела и верхнего строения печи передается поверхности ванны радиационным теплообменом, то без дальнейшего повышения его температуры невозможно увеличить тепловой поток на поверхность ванны и, следовательно, повысить среднюю температуру стекломассы.

Стекловаренное производство отличается высокой энергоемкостью, в частности, ванные печи для варки тарного стекла, отапливаемые газообразным топливом, работают с удельным расходом топлива 0,16 м³/кг шихты. При этом подогрев воздуха в регенераторе за счет утилизации теплоты отходящих газов осуществляется до температуры 1200 °С. Аналитическое исследование процесса сжигания топлива при подогреве воздуха до 1200 °С показало нецелесообразность столь высокого уровня подогрева воздуха [1]. При такой высокой температуре подогрева воздуха в зоне горения скорость обратных реакций становится соизмерима со скоростью прямых, в результате чего образуется недожог на уровне 40 %. Горючие компоненты продуктов сгорания догорают в дальнейшем либо в хвостовой части ванной печи, либо в верхней части регенератора.

Для сооружения ваннных печей используются в большом количестве наиболее дорогие огнеупорные материалы. При существующей конструкции печи и механизме теплообмена между зоной генерации теплоты и ванной невозможно отказаться от использования огнеупорной кладки.

Таким образом, существующая технология и конструкция печей не позволяют создать оптимальные условия варки стекломассы. Печи, используемые для ее реализации, обладают высокой материалоемкостью, в том числе требуют для своего сооружения большого количества высококачественных огнеупорных материалов, имеют высокое энергопотребление и относительно небольшой срок межремонтных кампаний. И сама технология, и печи для ее реализации морально устарели.

В НИТУ МИСиС проводятся работы по созданию технологии варки стекломассы в барботажном слое и печи для ее реализации [2]. Аналогичные печи хорошо зарекомендовали себя в металлургии, где успешно заменяют ванные плавильные печи.

Печь с барботажным слоем представляет собой прямоугольный в сечении аппарат, рабочее пространство которого можно разделить на три технологические зоны.

Первая зона – зона собственно барботажного слоя, представляющая собой пространство, заполненное смесью стекломассы и шихты, продуваемой высокотемпературными продуктами сгорания. Продукты сгорания подаются в слой через фурмы. К каждой фурме с наружной стороны печи крепится камера сгорания, обеспечивающая задаваемый режим сжигания газообразного топлива. Вертикальные стены, ограждающие барботажный слой, и верхняя часть печи выполнены из стальных ошипованных кессонов с испарительным охлаждением, имеющих на поверхности огнеупорную набивку.

Под барботажным слоем располагается вторая технологическая зона – зона осветления. В этой зоне отсутствует интенсивное перемешивание стекломассы. Ограждения в этой зоне выполнены из огнеупоров. Зона состоит из двух камер, соединенных между собой перетокком, расположенным в придонной части печи.

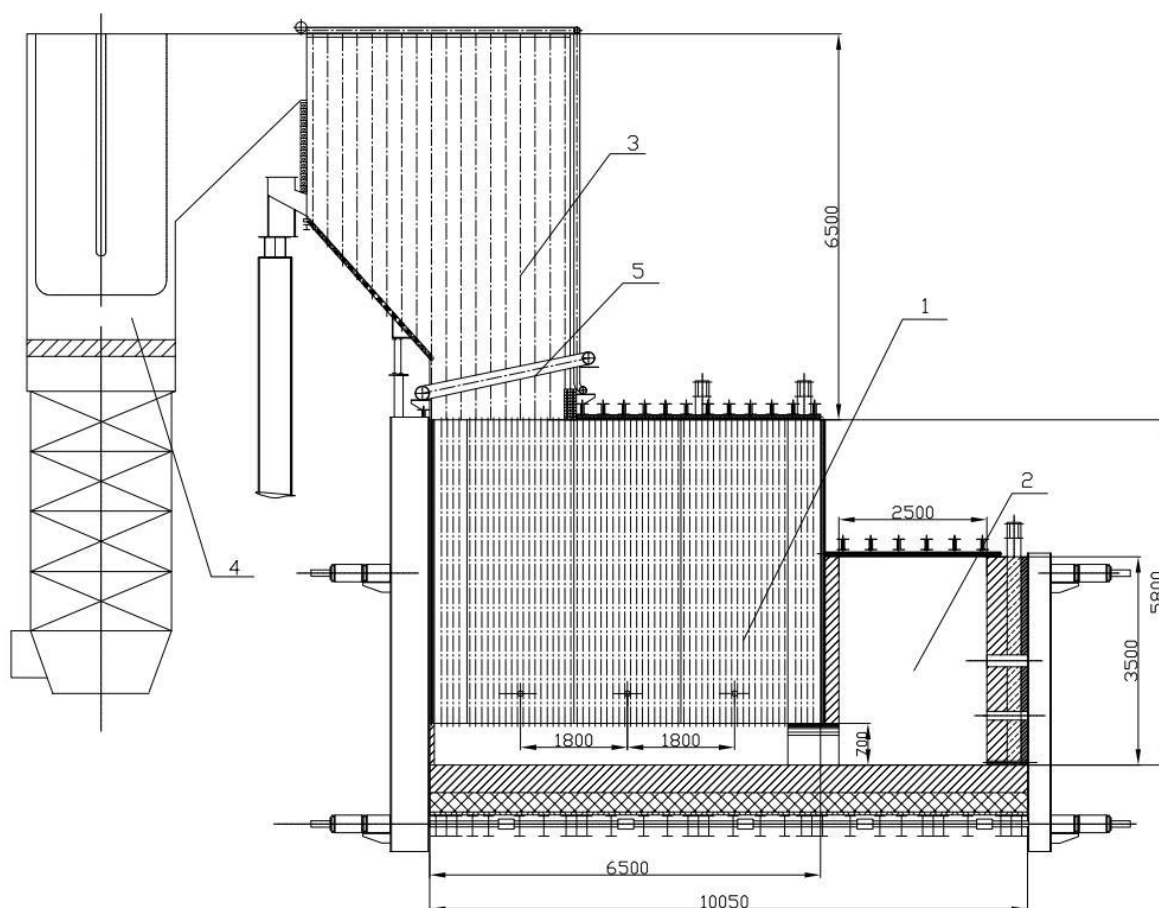


Рис. 1. Стекловаренный плавильный агрегат с барботажным слоем:

1 – зона барботажного слоя, 2 – зона осветления и выработки, 3 – утилизатор теплоты отходящих газов, 4 – котел-утилизатор, 5 – брызгоуловитель

Третья технологическая зона расположена в надслоевом пространстве печи. Ее предназначение – сепарация выносимых из барботажного слоя брызг, подогрев крупных фракций шихты, поступающих в печь, и подогрев воздуха, направляемого на сжигание топлива. Отходящие газы из барботажного слоя при температуре 1500 °С проходят через зону надслоевого пространства и попадают в котел-утилизатор с температурой 1110 °С, где осуществляется их окончательное охлаждение до температуры уходящих газов, равной 220 °С. Ограждения зоны надслоевого пространства выполнены частично из кессонов с испарительным охлаждением, а частично в виде труб воздухонагревателя с огнеупорной набивкой на поверхности.

Крупные фракции шихты загружаются в печь в зоне надслоевого пространства на наклонный склиз, защищенный огнеупорной набивкой и имеющий принудительное охлаждение сжатым воздухом снаружи. В процессе движения по склизу, а далее в процессе свободного падения до поверхности барботажного слоя частицы шихты прогреваются до температуры 600 °С за счет радиационно-конвективного теплообмена.

Пылевидные фракции шихты подаются отдельно от крупных фракций непосредственно под уровень барботажного слоя через фурмы с потоком продуктов сгорания. К фурмам эти фракции подводятся пневмотранспортом. Выпуск стекломассы осуществляется через вторую камеру зоны осветления – копильник.

Барботажный слой является технологической зоной печи. В этой зоне протекают и завершаются процессы силикатообразования, стеклообразования, растворения и плавления шихты, а также процессы гомогенизации. В зоне барботажного слоя создается предельная для заданной температуры ванны объемная плотность теплоты. Это достигается путем продувки стекломассы высокотемпературными продуктами сгорания газообразного топлива. Расчетная температура продуктов сгорания на входе в барботажный слой составляет 1750 °С.

Расчетное значение температуры стекломассы в барботажном слое равно 1500 °С во всех точках объема ванны. Равномерное распределение температуры стекломассы по объему связано с тем, что печь работает в зоне барботажного слоя, как аппарат идеального смешения, что доказано теоретически и подтверждено многочисленными экспериментальными данными. Это, помимо равномерного распределения температуры по объему слоя, обеспечит также равномерный химический состав стекломассы в слое, что, однозначно, исключит образование свилей и обеспечит равномерное распределение всех фракций шихты по объему ванны. Таким образом, в барботажном слое созданы предельно благоприятные условия для протекания основных технологических процессов стекловарения.

Стекломаасса из зоны барботажного слоя опускается в зону осветления, где создаются благоприятные условия для интенсивного выделения газовой фазы из стекломассы. Связано это с тем, что в зоне осветления статическое давление выше, чем давление в барботажном слое и в надслоевом пространстве. Соответственно, в этой зоне существуют благоприятные условия для перехода газовой фазы в барботажный слой, а затем и в зону надслоевого пространства. Этому способствует также высокая температура стекломассы, поступающей в зону осветления.

Отличительной особенностью ванны стекломассы по сравнению с металлургической ванной является ее повышенная вязкость. В связи с этим для исследования и изучения гидродинамики взаимодействия газовой струи с высокой вязкой жидкостью была разработана экспериментальная лабораторная установка, которая состоит из лабораторного стенда, воздуходувного устройства и измерительной аппаратуры. В настоящее время в этом направлении ведутся работы.

Список использованных источников

1. Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции «Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология». М.: НИТУ МИСиС, 2012. С. 148–150.
2. Пат. № 2473474. Способ варки стекломассы и стекловаренная печь с барботированием слоя стекломассы / Г. С. Сборщиков, Ю. Д. Клегг, С. В. Гришаева, Д. Ю. Клегг