

УДК 658.567.1

Б.Б. Потапов, В.А. Пинчук

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ РАСПЛАВА В ВАЛКОВЫХ ОХЛАДИТЕЛЯХ

Введение

Современное положение энергетики и металлургии Украины характеризуется значительным возрастанием доли низкосортного сырья и топлива. Это приводит к увеличению потребления топлива и электроэнергии в теплотехнических установках и металлургических агрегатах, а также к увеличению выхода отходов производства, в частности различных шлаков и расплавов.

В настоящее время применяются установки для грануляции жидкого шлака, в которых шлак входит в непосредственный контакт с водой (мокрый и полусухой способы охлаждения) и его физическое тепло не используется. В то же время тепловые характеристики шлаков позволяют рассматривать их как значительный по объему и концентрированный источник тепла высокого потенциала [1,2]. Общим условием эффективного использования шлаков является комплексная переработка с получением новых материалов – сухого измельченного шлака и утилизацией заключенной в нем теплоты. Поэтому шлак можно рассматривать не как отходы производства, а как ценный продукт, получение которого является эффективным и рентабельным.

Постановка задачи

Перспективными с точки зрения эффективного использования физического тепла жидкого шлака, качества получаемой продукции, защиты окружающей среды и энергетических затрат являются способы сухого охлаждения жидкого шлака в валковых охладителях. Физическая картина процесса затвердевания расплава шлака представляется следующим образом. Перегретый жидкий шлак, подается сверху на валки-охладители радиусом R_0 которые вращаются с угловой скоростью ω , об/мин (рис.1). При течении жидкого шлака по поверхности валкового охладителя происходит весьма сложный комплекс разнообразных по своей природе

процессов, наиболее важным из которых является: движение шлака по поверхности валка в условиях интенсивного теплообмена с охлаждаемой поверхностью, изменение температуры, вязкости, поверхностного натяжения и упругости шлака. В пристенном слое жидкий шлак переходит из состояния вязкопластичной несжимаемой жидкости в пластичное, а затем в твердое хрупкое состояние. В зависимости от производительности установки и скорости вращения прокатных валков, шлаковая лента на выходе из прокатных валков может выходить частично и полностью затвердевшей.

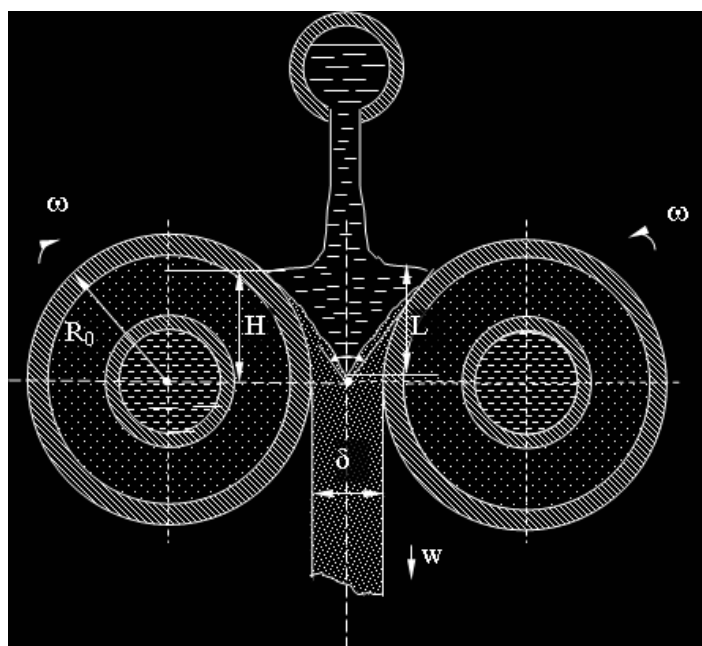


Рисунок 1 - Схема затвердевания шлака в валковом охладителе

На процесс формирования ленты твердого шлака оказывают влияния условия теплообмена между шлаком и валковым охладителем [3]. Тепловые процессы при установившемся режиме работы установки являются квазистационарными. С учетом этой особенности теплообмена объем затвердевающего шлака в межвалковом пространстве условно можно разбить на две зоны. Первая зона – верхняя часть межвалкового пространства, в которой происходит отвод теплоты перегрева от жидкого шлака. Вторая зона – нижняя часть межвалкового пространства, в которой происходит затвердевание шлака. На валках намораживаются слои шлака, толщина которых постепенно увеличивается по мере продвижения к сечению выхода от 0 до $\delta/2$. Зазор между валками определяет толщину образующейся ленты шлака δ . Важным параметром является продолжительность контакта жидкого шлака с валком,

которая зависит от угловой скорости валковых охладителей ω и высоты ванны расплава H в межвалковом пространстве. В свою очередь высота ванны расплава увеличивается с ростом диаметра и длины бочки валкового охладителя.

Методика и результаты исследования

Теплоперенос в твердой и расплавленной фазе описан уравнением теплопроводности в цилиндрической системе координат с подвижной границей разделе фаз. На границе системы «твердая корка– жидкий шлак» задавали граничные условия III рода, зависящие от места расположения расчетного сечения по технической оси и ее конфигурации. Скорость движения расплава в межвалковом зазоре принимали согласно результатам физического и математического моделирования. На поверхности контакта с валком в зависимости от задач исследования задавали граничные условия I -III рода. Расчеты производили с применением неявной разностной схемы.

При моделировании динамики затвердевания жидкого шлака приняты следующие допущения:

-переносом тепла теплопроводностью в направлении движения ленты пренебрегаем по сравнению с переносом тепла вместе с массой движущегося шлака. Отвод тепла от шлака происходит только по нормали к поверхности валка-охладителя;

-перепадом температур в поперечных сечениях зон пренебрегаем по сравнению с температурным напором на их поверхности, так как критерий Био для ленты в рассматриваемых процессах мал, а именно $Bi \leq 0,2$;

-зазор между твердыми корочками и валковыми охладителями отсутствует вследствие уменьшения поперечного сечения межвалкового объема при продвижении к осевой плоскости валков;

-каждая точка на поверхности валка перемещается с неизменной скоростью $v = \omega \cdot R$. Скорость движения шлака между валковыми охладителями усреднена;

-гидродинамику и теплоотдачу от поверхности расплава шлака в окружающую атмосферу не учитываем. Считаем, что все тепло, выделяемое шлаком, аккумулируется стенкой валка.

Положение границы твердой фазы определяется сравнением расчетной температуры в узловой точке с температурой затвердевания шлака

$$S = t_{зам} - t_{i,k+j}. \quad (1)$$

Если $S \leq 0$ и выполняется условие

$$\sum_{j=1}^{k_1} (t_{зам} - t_{i,k+j}) \geq Q/c, \quad (2)$$

то рассматриваемый слой Δx считается затвердевшим. При этом количество слоев n_0 увеличивается на единицу и анализ состояния следующего слоя осуществляется по такой же схеме.

Если $S > 0$ и выполняется условие

$$\sum_{j=1}^{k_1} (t_{i,k+j} - t_{зам}) \geq Q/c, \quad (3)$$

то затвердевание слоя Δx не происходит. При этом количество слоев уменьшается на единицу. Расчет считается законченным, когда количество затвердевших слоев n_0 будет равно принятому количеству узлов по толщине расплава n .

В формулах (1-3) $t_{зам}$ – температура затвердевания шлака, °С; $t_{i,k+j}$ – значение температур во внутренних точках расчетной области ($0 \leq i \leq n-1$); Q – теплота фазового перехода, Дж/кг; c – теплоемкость шлака, Дж/(кг·К).

Приведенная модель реализована в виде компьютерной программы и позволяет выполнять исследования влияния конструктивных и режимных параметров на распределение температур и долю твердой фазы в пределах зоны двухфазного состояния.

Разработанная модель использована при проектировании валковых утилизаторов теплоты расплава шлака. Выполнены расчетные исследования теплового состояния затвердевающего расплава золы, образующегося при работе котельных установок с жидким шлакоудалением.

В результате исследований определено влияние радиуса валков, величины межвалкового зазора, высоты ванны расплава, скорости вращения валков на динамику затвердевания расплава шлака. Установлено, что при скоростях вращения валков более 1,5 об/мин лунка на большую или меньшую величину свисает за осевую плоскость валков. При этом возможен разрыв ленты и нарушение ее стабильного формирования [4].

Выбор рациональной толщины шлаковой ленты, получаемой на валковых охладителях, определяется, прежде всего, диаметром валков и скоростью их вращения. Увеличение диаметра валка позволяет увеличить толщину образующейся шлаковой ленты при неизменной скорости вращения валков или повысить скорость вращения валков для получения ленты той же толщины, а, следовательно, повысить производительность установки. На рис.2 показано влияние частоты вращения и толщины шлаковой ленты на теплосъем и производительность валкового охладителя (при радиусе валка 0,2 м, высоте ванны расплава 0,17 м и длине валка 0,6 м).

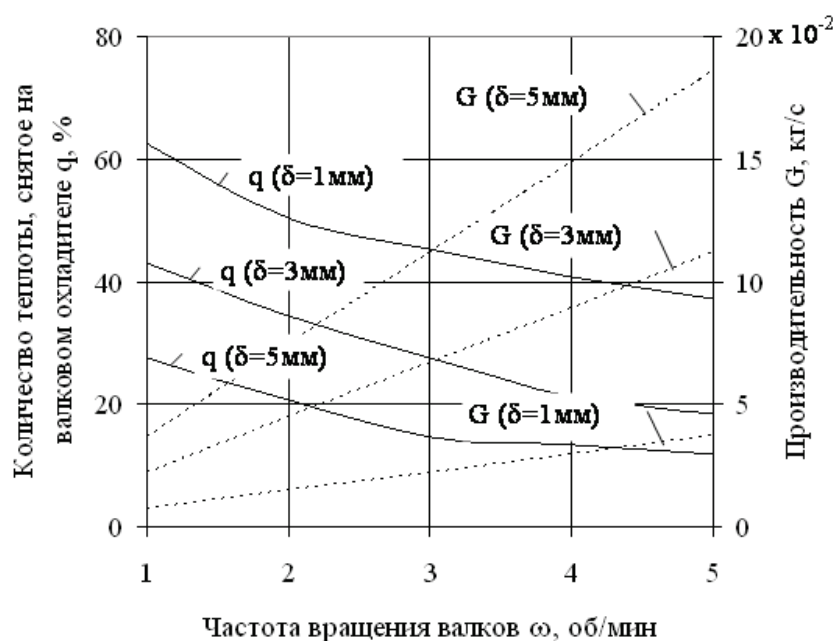


Рисунок 2 - Влияние частоты вращения и толщины ленты на теплосъем и производительность валковых охладителей

Как видно из рис. 2, с увеличением частоты вращения валков количество теплоты, отбираемое на валковых охладителях, уменьшается. При медленном вращении (1-2 об/мин) на валковых охладителях в среднем отбирается 25-55 % в зависимости от толщины ленты. При вращении более 3 об/мин количество тепла, отобранное от шлака на валках не превышает 15-30 %. С увеличением частоты вращения валков и толщины шлаковой ленты производительность валковой пары увеличивается.

Таким образом, полученные данные показали, что рациональная толщина шлаковой ленты составляет 1-1,5 мм и при частоте вращения до 1,5 об/мин. При этом на валковых охладителях отбирается 45-50 % теплоты шлака. Для увеличения

производительности утилизационной установки необходимо применение группы валковых охладителей.

Выводы

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Разработана компьютерная модель, позволяющая прогнозировать тепловые состояния затвердевающего расплава и определять распределение температур и доли твердой фазы в пределах зоны двухфазного состояния.

2. Для проектирования эффективных валковых утилизаторов с помощью разработанной модели выполнены исследования влияния радиуса валков, величины межвалкового зазора, высоты ванны расплава, скорости вращения валков на динамику затвердевания расплава золы.

2. Исследования показали, что при радиусе валка 0,2 м и высоте ванны расплава 0,17 м целесообразными являются частота вращения 1-1,5 об/мин и толщина шлаковой ленты 1,5-2 мм. При таких конструктивных и технологических параметрах температура шлаковой ленты после валковых охладителей составляет 950-1000°C.

3. при рекомендуемом режиме функционирования валкового охладителя отбирается до 45 % теплоты шлака. С увеличением частоты вращения валков средняя температура шлаковой ленты возрастает, а количество тепла, отбираемого на валках, снижается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Целыковский Ю. К. Основа экологически чистой тепловой электростанции – утилизация золошлаков//Инженерная экология.- 2002.-№6.-С. 2- 10.
2. Сутурин А. Н., Мальшаков В. И., Парадина Л. Ф., Крылатова И. В., Бойко С. М. Эколого-технологическая оценка использования зол углей в строительной индустрии//Экотехнологии и ресурсосбережение.-1998.-№3.-С.52-57.
3. Степанов А. Н., Зильберг Ю. В., Неуструев А. А. Производства листа из расплава. - М.: Металлургия, 1978.-160 с.
4. Потапов Б.Б., Пинчук В. А. Исследование режимных и конструктивных параметров валкового охладителя золосового расплава// Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины.– Днепропетровск: НМетАУ.- 2005. – Книга вторая. – С. 225-233.

Получено 12.03.2008 г.