

Расчет показал, что продуктами сгорания с температурой горения 1794 °С (температура подогрева воздуха 397 °С) возможно произвести процесс обжига известняка в количестве 6,2 т/т угля при требовании 369 кг известняка на каждую тонну угля. Таким образом, организация процесса обжига известняка и цементного клинкера на угле позволит увеличить долю последнего в энергетическом балансе предприятия.

Список использованных источников

1. Сазанов Б., Ситас В. Промышленные теплоэнергетические установки и системы: учеб. пособие. М. : Издательский дом МЭИ, 2014.
2. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия: в 4 кн. / под общ. ред. чл. – корр. РАН А. В. Клименко и проф. В. М. Зорина. 4-е изд., М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
3. <http://etes.ru/newsite/mainpage/2/>
4. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). Под ред. Н. В. Кузнецова [и др.], М. :Энергия, 1973.
5. Баженов Ю. М. Технология бетона. М. : Москва, 2002.

УДК 621.486

Петракович М. А., Болотников С. С., Матвеев С. В., Картавец С. В.
Магнитогорский государственный технический университет
petrakovichmariya@gmail.com

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПАЛЬНОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СХЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ РАЗЛИВАЕМОЙ СТАЛИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ГТУ

Аннотация. В данной работе предлагается использовать нагретый жидкометаллический теплоноситель от стали в качестве теплоисточника для газотурбинных установок (ГТУ), работающих по замкнутому циклу. Разработана принципиальная теоретическая схема использования теплоты разливаемой стали. Выполнены первые разработки для реализации теплообмена между жидкометаллическим теплоносителем и рабочим телом ГТУ.

По сообщению всемирной ассоциации стали (WorldSteelAssociation) в 2014 году было выплавлено порядка 1,612 млрд. тонн стали [1].

На этапе получения заготовок для металлических изделий вся выплавленная сталь проходит технологические процессы охлаждения и формообразования. При этом с каждой тонны при охлаждении от начальной температуры жидкой стали 1600 °С до температуры окружающей среды отводится порядка 1400 МДж тепловой энергии в окружающую среду.

Известен способ разливки стали на жидкометаллический теплоноситель, в котором были предприняты попытки полезного использования тепловой энергии стали. При этом направление использования теплоты не было четко обозначено [2].

В зависимости от взаимного движения теплоносителя и стали авторами было разработано три теплотехнических принципа организации теплообмена между сталью и теплоносителем, позволяющими получать различные температурные потенциалы воспринятой теплоты.

1. Горизонтальный прямоток, который включает в себя сонаправленное движение теплоносителя и стали;

2. Горизонтальный противоток, противоположно направленное движение;

3. Смешанный принцип, где на начальном этапе (этапе кристаллизации) сталь и теплоноситель движутся в одном направлении, а далее охлаждение ведется по противоточной схеме.

В каждом из этих теплотехнических принципов температурные уровни нагрева теплоносителя различны.

Температурные уровни изображены на температурно-тепловом графике нагрева теплоносителя (рис. 1). Из графика видно, что все 1400 МДж, которые выделяются с каждой тонны стали, можно отводить при противотоке на температурном уровне 1593 °С, при прямотоке 200 °С и по смешанному принципу 1500 °С. При этом существует ничем не обоснованный разрыв между температурами 200 °С и 1500 °С. В этом температурном интервале в энергетике работают установки для генерации электроэнергии: паротурбинные и газотурбинные. Ранее в работах [3, 4] были изучены возможности использования тепловой энергии разливаемой стали посредством паротурбинных установок (ПТУ), при этом газотурбинные установки (ГТУ) не рассматривались.

Задачей данной работы является разработка энергосберегающей схемы использования теплоты стали при непрерывной разливке для генерации электроэнергии с помощью ГТУ.

Проведенный литературный обзор [5, 6] по основным параметрам газотурбинных установок показал, что существуют ГТУ, которые работают по замкнутому циклу на температурном уровне до 1500 °С, что подтверждает возможность их использования для генерации электроэнергии на теплоотводе от стали.

Для построения принципиальной энергосберегающей схемы (рис. 2) проводилось технологическое рассуждение. Так сталь с температурой 1600 °С поступает в машину непрерывного литья заготовок МНЛЗ (1) и после технологической цепи охлаждения и формообразования покидает МНЛЗ в виде готовой заготовки для изделий. Жидкий металл-теплоноситель воспринявший теплоту стали направляется в теплообменное устройство (2) для передачи теплоты рабочему телу ГТУ (4) (воздух, углекислота, водород, гелий, аргон и т.п.), которое циркулирует по замкнутому циклу. Рабочее тело ГТУ сжимается в компрессоре (3), при сжатии нагревается до температур порядка 150 °С, дальше поступает в теплообменник, где нагревается от жидких металлов до температуры 1500 °С. Нагрев осуществляется в теплообменнике до температуры, которая необходима в ГТУ, при этом принято, что теплообмен протекает в термодинамически идеальных условиях. Далее рабочее тело ГТУ совершает работу расширения в газовой турбине. Остаточная теплота рабочего тела отводится в охладителе (6).

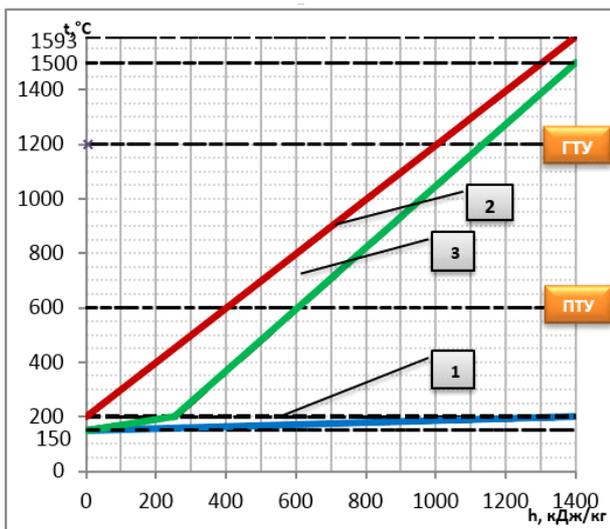


Рис. 1. Температурно-энтальпийный график нагрева теплоносителя: 1 - горизонтальный прямоток, 2 - горизонтальный противоток, 3 - смешанный принцип

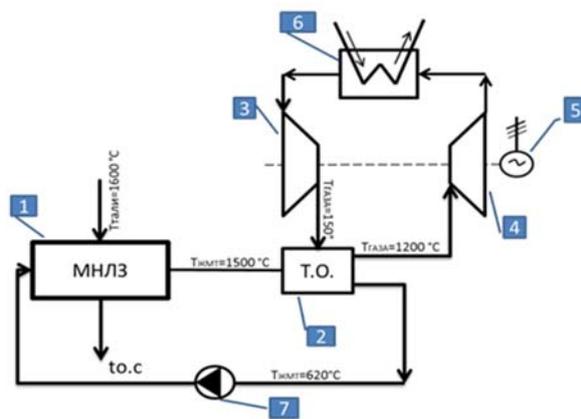


Рис. 2. Принципиальная теоретическая энергосберегающая схема использования теплоты разливаемой стали для генерации электроэнергии в ГТУ замкнутого цикла: 1 - МНЛЗ, 2 - теплообменное оборудование, 3 - компрессор, 4 - турбина, 5 - генератор, 6 - охладитель, 7 - насос

Особым узлом в этой схеме является теплообменник (2). Для проектирования габаритных размеров теплообменника было принято, что он является рекуператором. Расчеты показали, что площадь теплообмена составит порядка 1950 м². Такая площадь теплообмена связана с наличием стенки и низким коэффициентом теплопередачи $k = 476 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Для повышения интенсивности теплообмена была поставлена задача проектирования прямо-контактного теплообменника. Организация теплообмена в таком аппарате может быть организована по типам: продуваемого слоя или градирни, в обоих случаях теплообмен происходит по одному принципу. Для проектирования было принято, что капля нагретого теплоносителя является твердой сферой. На основе этих предположений можно получить нулевую гидродинамическую линию тока в виде совокупности окружности радиуса a с центром в начале координат при обтекании газом.

Линии тока получаем, задавая различные значения констант в уравнении:

$$\left(1 - \frac{a^2 \cdot y}{x^2 + y^2}\right) = const, \quad (1)$$

где $a = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – принятый радиус капли.

В реальных условиях, без ограничений по твердости капли, картина движения состоит из двух областей – внутри капли и снаружи (рис. 3). Для визуализации гидродинамической картины обтекания капли теплоносителя потоком газа была построена модель (рис. 3) в среде Mathcad.

Для расчета интенсивности теплообмена был рассчитан коэффициент теплоотдачи со стороны газа:

$$\alpha = \frac{\lambda_B \cdot (2 + 0.03 \cdot Pr^{0.33} \cdot Re^{0.54} + 0.35 \cdot Pr^{0.36} \cdot Re^{0.58})}{d_K} \quad (2)$$

Коэффициент составил $\alpha = 10121 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, при скорости обтекания капли 1 м/с и теплофизических параметрах теплоносителя капли, принятых из табличных данных при средней температуре 1050 °С.

Так как при контактном теплообмене $\alpha = k$, то величина интенсивности теплоотдачи при контакте в 21 раз больше чем через разделяющую поверхность. Это свидетельствует об уменьшении габаритов теплообменника. Учитывая также циркуляцию, внутри капли, которая возникает под действием сил трения при контакте с газом, существенно сокращается время охлаждения за счет массового теплопереноса. Определение площади теплообмена и дальнейшая разработка теплообменника (2) в схеме будет продолжена в следующих работах.

По предварительным результатам такая схема использования теплоты разливаемой стали с применением ГТУ замкнутого цикла при КПД ГТУ порядка 45 % может позволить сгенерировать около 161 кВт·ч электроэнергии на тонну разливаемой стали

Список использованных источников

1. Ассоциация стали [Электронный ресурс]. URL: <http://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2014/World-crude-steel-output-increases-by-3-5--in-2013.html> (дата обращения 01.10.2015).
2. Строганов К. В., Картавец С. В. Жидкая сталь: использование теплоты и скоростная разливка: Монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 147 с.
3. Матвеев С. В., Картавец С. В. Теплота жидкой стали как источник энергии // Энергосбережение теория и практика: 6-я международная школа семинар молодых ученых и специалистов. М. : Издательский дом МЭИ, 2012. С. 93-94.
4. Алловадинова Х. Н., Демин Ю.К., Матвеев С. В., Картавец С. В. Повышение энергетической эффективности процесса непрерывной разливки стали // Промышленная энергетика. 2015. № 2. С. 8-11.
5. Клименко А. В. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы : справочник. / А. В. Клименко, В. М. Зорин. М. : МЭИ, 2007. 528 с.
6. Ольховский Г. Г. Энергетические газотурбинные установки. М. : Энергоатомиздат, 1985. 304 с.

УДК 621.438.082.2

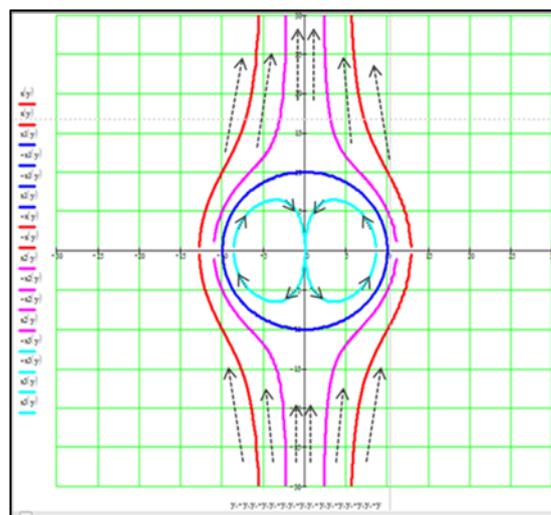


Рис. 3. Линии тока при циркулярном обтекании капли

Помелов Д. Н.

Уральский федеральный университет
pomelovdenis@gmail.com

РАСЧЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ ЛОПАТКИ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА

Аннотация. В работе изложены основные этапы расчета аэродинамического демпфирования лопатки. В качестве примера описаны основные действия и приведен результат расчета.

© Помелов Д. Н., 2015