УДК 654.071.3

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-1-248-73-76

*А. С. Панюлайтис, В. Г. Барабанов, П. С. Васильев***АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ФОРСУНОК****Волгоградский государственный технический университет**

E-mail: app@vstu.ru

Разработано новое устройство испарительного охлаждения методических печей. Описан процесс разработки. Разработана схема данного устройства. Дано описание основных элементов системы. Описаны основные преимущества использования гидравлических форсунок. Подробно описан процесс работы устройства.

Ключевые слова: испарительное охлаждение, методические печи, форсунки, охлаждение, металлургия.

*A. S. Panulyaitis, V. G. Barabanov, P. S. Vasiliev***AUTOMATED DEVICE FOR EVAPORATIVE COOLING
OF METHODOICAL FURNACES USING HYDRAULIC INJECTORS****Volgograd State Technical University**

A new device for evaporative cooling of continuous furnaces has been developed. The development process is described. A diagram of this device has been developed. The description of the main elements of the system is given. The advantages of using hydraulic nozzles are described. The process of device operation is described in detail.

Keywords: evaporative cooling, method furnaces, nozzles, cooling, metallurgy.

Надежная работа металлургической печи зависит от качества огнеупорных материалов, конструкции и стойкости охлаждаемых элементов и осуществима только при правильном охлаждении. Система охлаждения существенно влияет на конструкцию печи, ее фундаментальность и надежность.

Для охлаждения элементов печей, находящихся в зоне высоких температур, на металлургических заводах используют воду. Расход воды, идущей на охлаждение, в среднем составляет 95 % общего расхода, затрачиваемого на технические нужды.

Охлаждение элементов и узлов металлургических печей, работающих в тяжелых температурных условиях, позволяет:

- предохранять их от прогара;
- повышать стойкость кладки;
- обеспечивать неизменность профиля печи;
- поддерживать температуры элементов в пределах, не допускающих разрушения и износа материала;

– создавать температурные условия, необходимые для образования защитных оболочек у стенки элемента (гарнисаж).

Нагревательные печи для обеспечения нижнего подогрева слитков оборудованы подовыми трубами, охлаждаемыми водой. Вследствие пе-

рерыва в подаче охлаждающей воды происходит перегрев труб, что требует остановки печи на ремонт.

Современное качество огнеупоров не может обеспечить длительную стойкость передней стенки печи, а ремонт ее – операция весьма трудоемкая.

Испарительное охлаждение металлургических печей в настоящее время является наиболее совершенным и экономичным. Применение его увеличивает срок службы металлургических печей и повышает надежность их работы, устраняет прогар деталей, сокращает расход охлаждающей воды и дает возможность использовать тепло.

При испарительном охлаждении металлургических печей используют в основном скрытую теплоту парообразования для отвода тепла от охлаждаемых деталей. Применяемую обычно холодную охлаждающую воду заменяют кипящей, отвод тепла осуществляется за счет выхода пара.

Тепло, отбираемое водой, затрачивается на ее испарение. Так как скрытая теплота парообразования составляет ~540 ккал/кг при атмосферном давлении, то каждый килограмм воды, испаряясь, отбирает от стенки охлаждаемой детали 540 ккал.

Так как и при испарении, и при кипении жидкость претерпевает фазовый переход, то кипение (в узком смысле) можно с некоторым допущением считать разновидностью или режимом испарения (в широком смысле).

В зависимости от плотности теплового потока, подводимого к жидкости через соприкасающуюся с ней поверхность нагрева, на последней образуются отдельные паровые пузыри или сплошной слой пара. Процесс образования пара в виде пузырей, возникающих на отдельных местах поверхности нагрева (центрах парообразования), называют пузырьковым (ядерным) кипением. Процесс, сопровождающийся возникновением сплошного слоя пара между поверхностью нагрева и жидкостью, называют пленочным кипением.

При пузырьковом кипении жидкость непосредственно омывает поверхность нагрева между действующими центрами парообразования, причем ее пограничный слой перемешивается образующимися внепаровыми пузырями [1]. Вследствие этого интенсивность теплоотдачи жидкости при пузырьковом кипении весьма велика и возрастает с увеличением числа действующих центров парообразования. При пленочном кипении жидкость отделена от поверхности нагрева

слоем малотеплопроводного пара, вследствие чего интенсивность теплоотдачи много раз меньше, чем при пузырьковом кипении. По этой причине переход от пузырькового режима кипения к пленочному, при неизменной плотности теплового потока, сопровождается резким возрастанием температуры поверхности нагрева [3].

Теплообмен при сфероидальном состоянии жидкости подробно изучался В. М. Боришанским и С. С. Кутателадзе [2, 4]. Именно они впервые исследовали испарение больших навесок жидкости и обнаружили эффект существования пузырчатых сфероидов. На рис. 1 представлена зависимость времени полного испарения небольшой капли жидкости от величины температурного напора, а на рис. 2 – различные формы жидких сфероидов, образующихся на поверхности нагрева.

Левые ветви зависимости $\tau=f(\Delta t)$ соответствуют интервалу температурного напора, при котором жидкость в капле смачивает поверхность нагрева и в ней наблюдается пузырьковое кипение (рисунок 2, а). Интенсивность теплоотдачи такого режима испарения велика и еще больше увеличивается с ростом температурного напора и, соответственно, с уменьшением времени испарения.

Рис. 1. Зависимость времени испарения от температурного напора $\eta=f(\Delta t)$ капли воды размером $d_k=4,46$ мм на поверхности нагрева

При некотором значении температурного напора (в рассматриваемом случае при $\Delta t_{кр1} \approx 67$ °C) капля перестает растекаться и начинает принимать сфероидальную форму (рис. 2, б), а время испарения начинает увеличиваться с ростом температурного напора. В начале перехода капли

в сфероидальное состояние наблюдается прерывистое контактирование жидкости с поверхностью нагрева, а интенсивность теплоотдачи начинает уменьшаться с ростом температурного напора.

При некотором значении температурного напора (в рассматриваемом случае при $\Delta t_{кр2} \approx$

$\approx 127^\circ\text{C}$) жидкость окончательно теряет возможность контакта с поверхностью нагрева, интенсивность теплоотдачи стабилизируется на относительно низком уровне, а время испарения снова начинает уменьшаться с ростом тем-

пературного напора, но медленнее, чем в интервале его значений, соответствующих смачиванию поверхности нагрева жидкостью. Данная область соответствует устойчивому сфероидальному состоянию жидкости.

Рис. 2. Различные формы жидких сфероидов, образующихся на поверхности нагрева по данным:
а – смачивание каплей жидкости поверхности нагрева; *б* – начало перехода капли в сфероидальное состояние;
в – образование плоского сфероида при увеличении объема жидкости в капле

С увеличением объема жидкости в капле сфероид становится все более плоским (рис. 2, *в*), и наступает момент, когда его толщина практически стабилизируется и перестает зависеть от количества жидкости. Дальнейшее увеличение объема сфероида приводит к тому, что пар, образующийся на его нижней поверхности, не успевает вытекать по периферии и начинает спорадически прорываться в виде больших пузырей через толщу жидкости [3].

По анализу зависимости времени испарения от температурного напора и стадий испарения капли можно сделать вывод, что для наибольшего отвода тепла от глиссажных и подовных труб, необходимо чтобы переход (испарение) капли

воды происходил именно из сфероидального состояния. Из этого вывода понятно, что нельзя заливать трубы технической водой, а наоборот давать каплям испариться и вывести наибольшее количество тепла от деталей методической печи.

Для данного условия работы системы испарительного охлаждения необходимо распылять капли технической воды на глиссажные и подовные трубы из специально подобранных гидравлических форсунок, которые помогают доставить капли и равномерно распределить их количество по трубам. Примерная схема установки испарительного охлаждения методических печей с использованием гидравлических форсунок показана на рис. 3.

Рис. 3. Схема автоматизированной системы испарительного охлаждения с использованием гидравлических форсунок

Для правильной и эргономичной работы данной системы необходимо установить датчики, поставить подходящий насос и установить систему управления данным оборудованием, то есть автоматизировать данный процесс, что позволит устройству испарительного охлаждения работать в определенных режимах, зависящая от количества заготовок, температуры труб, размера капель и т. д.

Данная установка позволит сократить расходы технической воды для работы системы испарительного охлаждения, при этом эффективность данного охлаждения возрастет примерно в 1,4 раза (700 ккал).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Патанкар, С.* Тепло- и массообмен в пограничных слоях / С. Патакар, Д. Сполдинг ; пер. с англ. З. П. Шульмана, Г. Н. Пустынцева ; под ред. А. В. Лыкова. – М. : Энергия, 1971. – 128 с.
2. *Кутателадзе, С. С.* Теплопередача при конденсации и кипении / С. С. Кутателадзе. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. ; Л. : Машгиз, 1952. – 233 с.
3. *Васильев, П. С.* Теплообмен при капельном кипении жидкости в технологических аппаратах : дис. канд. тех. наук: 05.17.08: защищена 12.02.18: утв. 15.02.18 / Васильев Петр Сергеевич. – Волгоград, 2018. – 245 с.
4. *Боришанский, В. М.* Некоторые данные об испарении жидкости, находящейся в сфероидальном состоянии / В. М. Боришанский, С. С. Кутателадзе // ЖТФ. – 1947. – Т. 17. – Вып. 8. – С. 891–902.