

безопасности, управляющим автоматическим розжигом и отключением горелок, осуществляющим контроль наличия пламени и возникновения неисправности. Печь снабжена автоматикой безопасности, отключающей подачу газа на печь, в случае изменения параметров газа и воздуха, а также падения разрежения в дымовом тракте ниже установленного предела, в случае повышения концентрации СО и СН<sub>4</sub> в рабочей зоне печи.

Воздух на горение подается двумя вентиляторами (один резервный) ВР140-15 с числом оборотов  $n = 2935$  об./мин., давлением  $P = 9040-13000$  Па, обеспечивающими необходимое давление воздуха перед печью – 10 кПа. Вентиляторы установлены в отдельном помещении.

Воздух, поступающий на горение, нагревается во встроенных в горелках теплообменниках так, что большая часть тепла, уносимого дымовыми газами, выбрасывается в печь. Дымовые газы с температурой  $\sim 250$  °С удаляются через зонты горелок в общий дымопровод. Часть дымовых газов с температурой 900 °С разбавляются холодным воздухом до  $\sim 200$  °С и удаляются через зонты, установленные в торцах печи в общий дымопровод. Дымовые газы из дымопровода посредством дымососа выводятся в существующую дымовую трубу. Привод дымососа снабжен частотным преобразователем.

Разработанная конструкция печи позволяет выполнить все требования технического задания, равномерно нагреть заготовку до заданной температуры с заданной производительностью, при этом обеспечен минимальный расход топлива и минимальный выброс вредных веществ в окружающую среду. Описанная печь работает полностью в автоматическом режиме, что позволяет сэкономить трудовые ресурсы.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ БЕЗОБЖИГОВЫХ АЛЮМОПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ КОВШЕВЫХ ОГНЕУПОРОВ**

© К.Е. Костюченко, М.В. Темлянцев, 2012

*ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный  
индустриальный университет», г. Новокузнецк*

*Работа выполнена по гранту Губернатора Кемеровской области  
для поддержки молодых ученых докторов наук*

Сталеразливочные ковши являются одним из основных видов металлургического оборудования. Анализ отечественного и зарубежного опыта производства стали показывает, что сталеразливочные ковши выполняют функции не только транспортного и разливочного устройства, но и агрегата для внепечной обработки стали. В связи с этим многократно возрастают требования к стойкости и качеству огнеупоров, применяемых в футеровке ковшей. Не менее важным обстоятельством являются высокие затраты на ковшевые огнеупоры, которые соответствующим образом сказываются на себестоимости и конкурентоспособности производимой стали. По данным ведущих российских производителей огнеупоров, затраты на огнеупоры, применяемые в футеровке сталеразливочных ковшей достигают 40–50 % от затрат всего сталеплавильного комплекса на огнеупоры основного состава. На промышленных предприятиях расход огнеупоров на сталеразливочные ковши может достигать 50–60 % от общего расхода огнеупоров в кислородно-конвертерном цехе.

В настоящее время большое распространение в качестве материала для футеровки сталеразливочных ковшей получили безобжиговые алюмопериклазоуглеродистые (АПУ) огнеупоры. По данным различных исследований одними из основных причин разрушения АПУ ковшевых футеровок являются: окисление углерода, эрозия и отслоение обезуглероженного слоя. Обезуглероживание углеродсодержащих ковшевых футеровок происходит не только во время транспортирования жидкой стали, внепечной обработки и разлива, но и на стадии разогрева футеровки перед приемом расплава. Наиболее интенсивно обезуглероживание

огнеупоров происходит при первом разогреве новой футеровки, поскольку на ее поверхности отсутствуют остатки металла и шлака, препятствующие доступу газов-окислителей.

Анализ специальной технической литературы показывает, что сведения по кинетике обезуглероживания алюмопериклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров фактически полностью отсутствуют, в то время как данные по влиянию на нее температурно-временного фактора и состава атмосферы необходимы при разработке малообезуглероживающих температурных и тепловых режимов предплавочного разогрева футеровок сталеразливочных ковшей.

В данной работе было проведено исследование влияния различных факторов на обезуглероживание ковшевых огнеупоров ООО «Группа Магнезит» (DALMOND) марки APC-75Н1, содержащих  $Al_2O_3$  – 75 %,  $MgO$  – 10 %,  $C$  – 7 %.

Для лабораторных исследований использовали образцы, выпиленные из кирпичей. В торцевой части образцов выполняли отверстие для установки термодатчика. Нагрев образцов проводили в электрической печи сопротивления СУОЛ-0,25.1/12,5-И1 с нагревателями из карбида кремния в атмосфере воздуха. Температуру образца непрерывно измеряли хромель-алюмелевой термодатчиком и многоканальным программным регулятором температур Термодат 19Е2. Образцы нагревали до температур 850, 950, 1000, 1100, 1200, 1250 °С и выдерживали при постоянной температуре в течении 1, 2 и 3 ч. После обжига образцы охлаждали на воздухе, в дальнейшем их распиливали для оценки величины обезуглероженного слоя, который измеряли при помощи штангенциркуля. Массу образцов до и после нагрева определяли на электронных весах VIBRA AF-R220 SE. Количественно интенсивность обезуглероживания огнеупора определяли по глубине обезуглероженного  $\delta$  слоя в изломе образцов и по потере их массы.

Вторую серию экспериментов проводили с нагревом образцов в герметично закрытой трубке из кварцевого стекла. Доступ воздуха во внутреннее пространство трубки, в котором находился образец, отсутствовал.

При обработке результатов экспериментальных данных принимали, что зависимость глубины обезуглероженного слоя от времени  $\tau$  подчиняется закону квадратного корня, который отражает диффузионный механизм обезуглероживания, а константа скорости окисления подчиняется уравнению Аррениуса.

На рис. 1 представлены результаты исследования зависимости глубины обезуглероженного слоя от температуры и времени выдержки огнеупора в атмосфере воздуха.

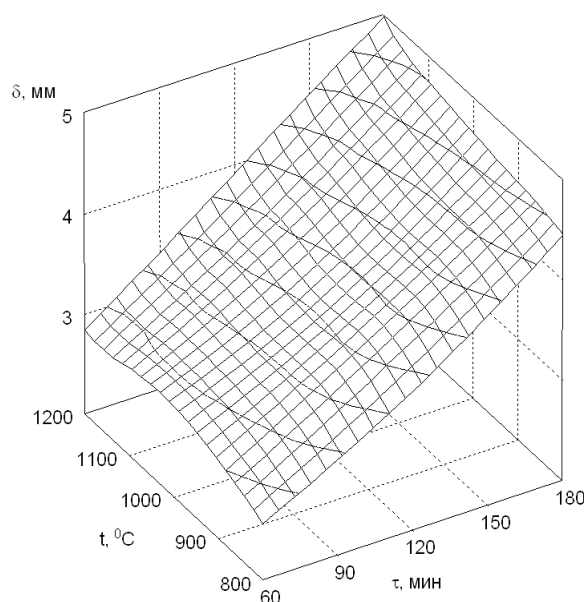


Рис. 1. Зависимость глубины обезуглероженного слоя от температуры нагрева и времени выдержки

Из рис. 1 видно, что увеличение температуры от 900 до 1200 °С и времени выдержки от 60 до 180 мин. приводит к росту глубины обезуглероженного слоя с 3 до 5 мм. Также, анализируя график, можно сделать вывод о том, что температура не является основным фактором, влияющим на интенсивность выгорания углерода из огнеупора. Известно, что при применении в необожженных алюмоуглеродистых огнеупорах некоторого количества MgO наблюдается непрерывное их расширение ввиду образования шпинели на рабочей поверхности огнеупора там, где температура достаточна для реакции. Таким образом, влияние температуры на обезуглероживание периклазоуглеродистых огнеупоров двояко: с одной стороны, она увеличивает скорость реакций и интенсифицирует процесс выгорания углерода, с другой – способствует уплотнению структуры огнеупора, препятствует доступу кислорода в слои огнеупора и соответственно снижает скорость выгорания углерода.

Для прогнозных расчетов получено соотношение, позволяющее определить толщину обезуглероженного слоя огнеупора в зависимости от температуры и времени нагрева:

$$\delta = 0,5119 \exp(-494,0/T) \sqrt{\tau}, \quad (1)$$

где  $T$  – температура, К;  $\tau$  – время выдержки огнеупора при постоянной температуре, мин.

В результате статистической обработки экспериментальных данных для осуществления прогнозных расчетов получена зависимость, связывающая потери массы  $\Delta m$  образца и глубину обезуглероженного слоя, которая представлена на рис. 2.

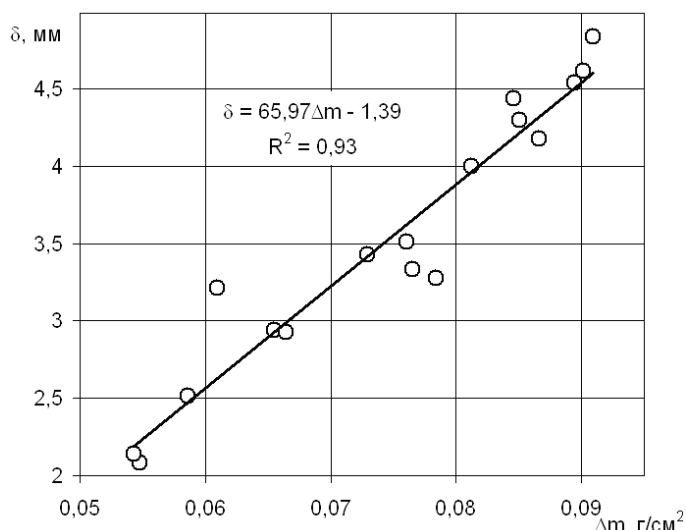


Рис. 2. Зависимость глубины обезуглероженного слоя от потерь массы огнеупора

В атмосфере воздуха, содержащей 21 % кислорода, обезуглероживание алюмопериклазоуглеродистого огнеупора марки DALMOND APC-75H1 происходит достаточно интенсивно. Однако при нагреве образцов в герметичной кварцевой трубке обезуглероженный слой у образцов отсутствовал, потери массы составили от 0,886 до 1,1 %, что почти на порядок меньше, чем при нагреве в атмосфере воздуха. Таким образом, разогрев алюмопериклазоуглеродистой футеровки в бескислородной атмосфере является эффективным способом борьбы с обезуглероживанием огнеупоров.

В работе исследовали влияние температурного режима разогрева на глубину обезуглероженного слоя. Время разогрева футеровки принимали равным 14 ч, конечная температура разогрева – 1200 °С. Поскольку интенсификация обезуглероживания соответствует температурам около 600 °С, его расчет начинали в момент времени  $\tau_0$  при достижении этой температуры на поверхности огнеупора. Поскольку соотношение (1) предназначено для расчета толщины обезуглероженного слоя при постоянной температуре поверхности огнеупора, непрерывную траекторию изменения температуры поверхности  $t = f(\tau)$  заменяли отрезками

продолжительностью  $\Delta t$ , при этом принимали, что на участке  $\Delta t$  температура поверхности металла  $t$  постоянна и равна средней температуре поверхности в  $i$ -ом временном интервале. Таким образом, на каждом  $i$ -ом временном интервале рассчитывается прирост толщины обезуглероженного слоя  $\delta$ . Суммируя прирост обезуглероженного слоя на каждом временном интервале, определяют общий обезуглероженный слой за весь период разогрева. Исследованные температурные режимы разогрева просушенной футеровки представлены на рис. 3.

При первом режиме (рис. 3а) температура поверхности футеровки меняется непрерывно, по линейному закону, глубина обезуглероженного слоя в конце нагрева составляет 6,6 мм. В режимах № 2, 3 и 4, представленных на рис. 3б, 3в, 3г присутствует двухчасовая выдержка (с целью лучшего прогрева футеровки) при температурах 1200, 900 и 600 °С, глубина обезуглероженного слоя в конце нагрева составляет 7,4, 6,8 и 5,9 мм соответственно.

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшая глубина обезуглероженного слоя соответствует режиму № 2 с выдержкой при температуре 1200 °С, а наименьшая – режиму № 4 с выдержкой при температуре 600 °С. Перемещение выдержки из высокотемпературной области интенсивного окисления углерода в область умеренных температур, где скорость окисления углерода значительно ниже, для исследуемой марки огнеупора сопровождается снижением глубины обезуглероженного слоя на 1,5 мм. При среднем износе алюмопериклазоуглеродистого рабочего слоя футеровки сталеразливочных ковшей 1–2 мм за плавку такое снижение может обеспечить увеличение стойкости футеровки примерно на 1 плавку.

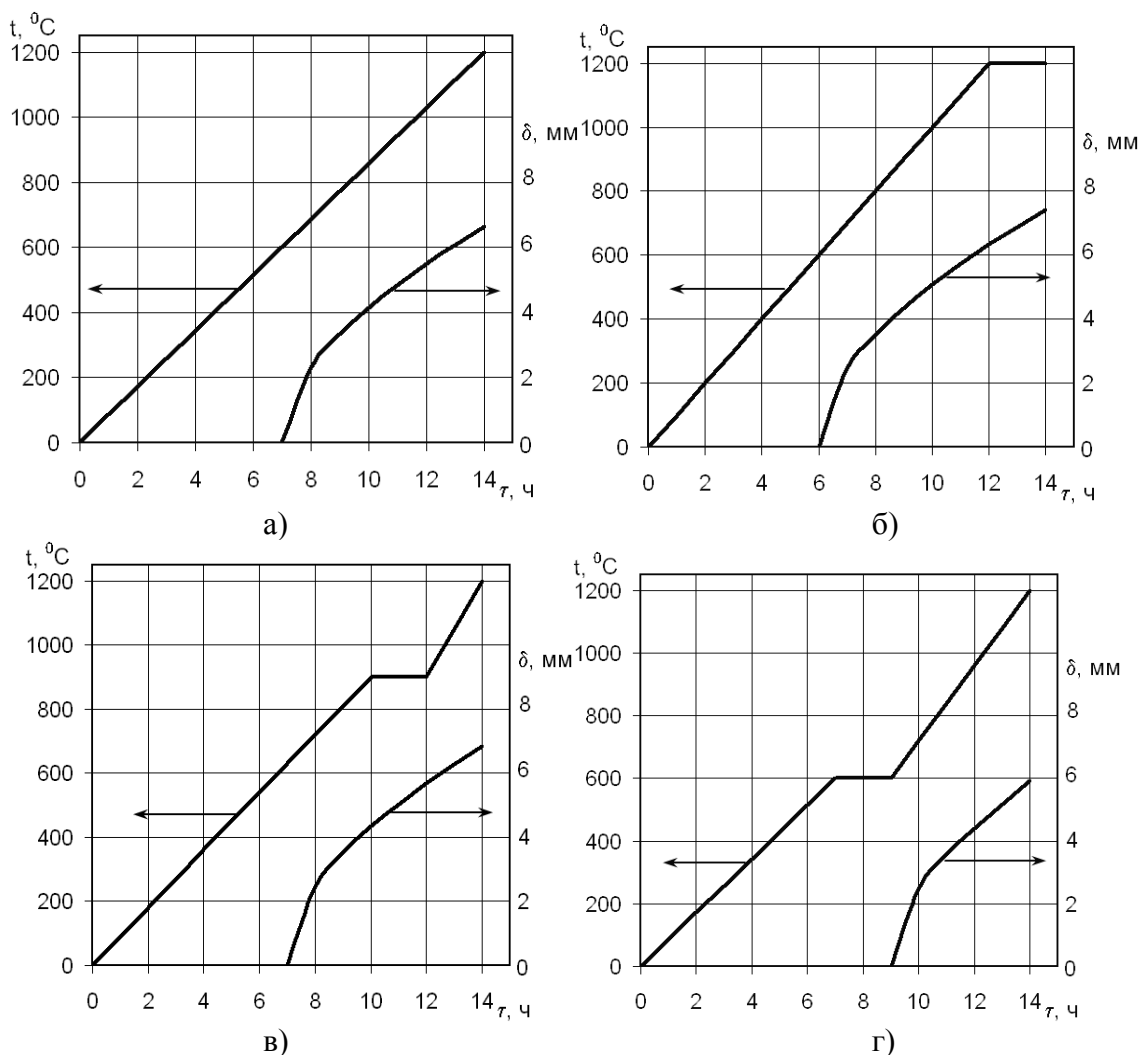


Рис. 3. Зависимость температуры поверхности футеровки и толщины обезуглероженного слоя для исследуемых режимов разогрева

Полученные результаты хорошо согласуются с общими принципами и подходами к реализации малоокислительных или малообезуглероживающих температурных режимов нагрева, заключающихся в организации траектории изменения температуры поверхности огнеупора, при которой интеграл по времени от температуры поверхности огнеупора в области температур интенсивного окисления углерода будет минимальным.

При разработке малообезуглероживающих теплотехнологий разогрева алюмопериклазоуглеродистых футеровок сталеразливочных ковшей рекомендуется применять температурные режимы с промежуточными выдержками «ступеньками» расположенными в области умеренных температур и сокращать время нахождения поверхности огнеупора в контакте с окислительной атмосферой при температурах более 1000–1100 °С. Как было показано выше, эффективным способом снижения обезуглероживания является применение малоокислительной атмосферы в полости ковша при разогреве. Это направление может быть реализовано путем применения электродов с герметичной крышкой. Для формирования малоокислительной атмосферы возможна загрузка на дно ковша дополнительного углеродсодержащего материала, например кокса.

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ УЗЛА ЗАГРУЗКИ РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ФИЛИАЛА ПСЦМ ОАО «УРАЛЭЛЕКТРОМЕДЬ»**

© И.Д. Кузнецов, В.А. Гольцев, 2012

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург*

Руднотермическая печь размещается в помещении шихтарника плавильного отделения свинцово-баббитного цеха на территории филиала «Производство сплавов цветных металлов» (ПСЦМ) ОАО «Уралэлектромедь». Проектом предусматривается перепрофилирование производства на выпуск штейна медного и увеличение производительности печи по шихте с 37,2 до 50 т/сут.

### *Описание конструкции РТП*

В проекте предусмотрены изменения размеров рабочего пространства печи: длина печи составит 3295 мм, ширина – 2000 мм, а высота – 1895 мм. Изменится толщина кладки печи: рабочая торцевая стенка составит 575 мм, остальные стенки 460 мм.

В торцевой рабочей стенке будут располагаться:

1. Два штейновых шпура, диаметром 20 мм на высоте 150 мм по разные стороны от оси печи.
2. Шлаковый шпур, диаметром 30 мм, в рабочей торцевой стенке на высоте 450 мм от пода печи.

Кладку печи выполнят из шамотного кирпича.

Под будут выкладывать из трех слоев:

1. Первый слой будет состоять из шамотного кирпича.
2. Второй слой – смесь кварцевого песка с шамотной крошкой.
3. Третий слой, имеющий вид обратного свода, будет выкладываться из хромитопериклазового в два кирпича по 230 мм.

Свод, толщиной 230 мм, выполнят вперевязку из шамотного кирпича. В своде печи будут установлены три обечайки для электродов, обечайка с отверстиями для замера уровня штейна и установки импульсной трубки для замера давления под сводом печи, опора газохода, а так же два камня для течек (рис. 1).