

А.Е.Карманов¹, А.С.Никифоров¹, Е.В. Приходько¹, Б. Онгар²✉

¹Toraigyrov University, Павлодар, Казахстан

²Satbayev University, Алматы, Казахстан

E-mail: ongar_bulbul@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗОГРЕВА ФУТЕРОВОК ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТОВ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛИТЬ ДОПУСТИМОГО ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Аннотация. Статья содержит результаты определения скорости и периода сушки огнеупорных материалов, которые используются в высокотемпературных агрегатах металлургической отрасли. Применяемые на предприятиях режимы сушки приводят к различным трудностям: неравномерный разогрев футеровки и отсутствие учета эксплуатационных особенностей конкретного высокотемпературного агрегата. Статья описывает методику определения периода и скорости сушки. Адекватность расчётных методов определения параметров сушки доказана экспериментальными данными. Средняя скорость повышения температуры на участках от 18 до 500 °С (на рассматриваемом агрегате), составила ~ 90 °С/ч. Общее время разогрева до температуры 938 °С составляет 16 часов 20 минут. Разработанные графические зависимости для разогрева позволяют производить разогрев с максимально возможными скоростями, не превышая предел прочности огнеупорных материалов, что привело к значительному снижению времени на процесс разогрева.

Ключевые слова. Огнеупорные материалы, сушка, скорость разогрева, футеровка, высокотемпературный агрегат, график разогрева.

Введение.

В настоящее время на предприятиях, эксплуатирующих высокотемпературные агрегаты, важной задачей является определение остаточного ресурса работы оборудования (агрегатов), что позволяет не только избегать аварийных ситуаций, связанных с безопасностью обслуживающего персонала, но и прогнозировать время и количество расходуемых ресурсов.

Технологические процессы, реализуемые в высокотемпературных теплотехнологических установках, отличаются большим многообразием и в основном определяются [1]:

- интенсивностью подвода теплоты к поверхности обрабатываемого материала (интенсивностью внешнего теплообмена) и переноса теплоты внутри обрабатываемого материала;

- интенсивностью подвода массы извне к реагирующей поверхности обрабатываемого материала (интенсивностью внешнего массообмена) и интенсивностью молекулярного переноса массы внутри обрабатываемого материала;

- интенсивностью перемешивания фаз (твёрдых, жидких) в зоне их термической обработки;

- скоростью собственно химического реагирования и разделения целевых и сопутствующих продуктов;

- совокупностью двух или более из перечисленных факторов.

Такая классификация позволяет рассматривать и анализировать целые классы технологических процессов с единых позиций и едиными методами, облегчает заимствование результатов исследования одних видов технологических процессов для организации других, используя физические и математические аналогии.

Материалы и методы.

Температурные напряжения в футеровке являются определяющим условием при оценке остаточного ресурса, так как снижение толщины футеровки именно вследствие действия температурных напряжений является наиболее частой причиной вывода высокотемпературных агрегатов в ремонт. Рассмотрим три способа разогрева высокотемпературных агрегатов использующих в качестве футеровки шамотный кирпич. Разогрев высокотемпературных агрегатов надо выполнить так, чтобы не возникли термические напряжения в футеровке (обмуровке) агрегата превышающие допустимый предел. Разработанный нами методика дает возможность подбора температур, при которых выполняется это условие. Используя разработанную программу, был проведен анализ различных режимов разогрева исследуемого материала (шамот) до температуры 110 °С (температура начала процесса сушки), процесса сушки и дальнейшего нагрева до рабочей температуры. Были рассмотрены три варианта разогрева:

- равномерный разогрев до рабочей температуры;
 - первоначальный разогрев с минимальными скоростями и дальнейший разогрев с максимальными скоростями;
 - максимально возможное повышение температуры с начального этапа.
- Максимально скорость разогрева ограничивалась возникающими температурными напряжениями, а выбор оптимального способа разогрева определялся его минимальным временем. Рассмотрим разные способы интенсивности разогрева агрегата (рисунок 1).

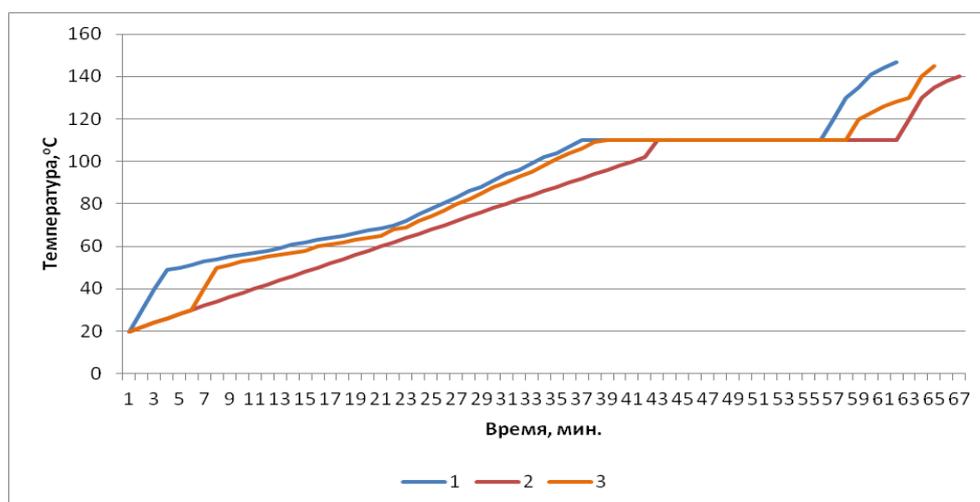
Результаты разогрева по первому способу показывают, что интенсивность разогрев должна быть: в начале первых 4 шагов по 10 °С/мин (шаг по времени составил 10 минут), дальше 9 минут по 1 °С/мин, затем по 2°С/мин пока не достигнем температуры 110 °С. Выдержка при этой температуре (полочка на графике) составляет 37 минут.

Второй режим ведется с интенсивностью разогрева по 2°С/мин, пока не достигается температура 110 °С. Температурная выдержка (полочка) в этом случае заняла 44 минуту и дальше греем до рабочей температуры.

Третий способ осуществляется по следующему графику: вначале 6 минут по 2 °С/мин, следующие 5 минут по 10 °С/мин и остальные 9 минут по 1 °С/мин, что занимает 38 минут.

Таким образом, самый оптимальный режим разогрева по времени, получается при температурной выдержке 37 минут, когда возникающие термические напряжения (сжатия, расширения) не превышают предельных значений.

Существующие заводские графики разогрева футеровки во многих случаях не учитывают начальный этап сушки до 110 °С, так называемый температурной выдержки (полочки) или даже если учитывают время достижений этой температуры, то не учитывают возникающие предельные напряжения[2]. Исследования сушки образцов показали, что интенсивность испарения капиллярной влаги приходится на температурный интервал от 55-65 °С и до 100-110 °С.



- 1 – в начале нагрев быстрый потом равномерный
- 2 – равномерный разогрев
- 3 – в начале медленный нагрев потом быстрый

Рисунок 1 –графики разогрева

При разработке тепловых режимов разогрева высокотемпературных агрегатов, значения многих параметров принимаются для расчётов постоянными, т.е. независимыми от температуры. Так, зачастую, для расчётов принимают постоянными значения удельной объёмной теплоёмкости c , коэффициента теплопроводности λ и предела прочности σ .

Между тем, значение такого параметра, как предел прочности материала на сжатие сильно зависит от температуры.

Результаты.

Для футеровки сталеразливочных ковшей широко применяются периклазоуглеродистые огнеупоры. Рассмотрим график сушки и нагрева футеровки 25-тонного сталеразливочного ковша с толщиной рабочего слоя 135 мм из периклазоуглерода. Время разогрева до рабочей температуры 938 °С составляет 24 часа (рисунок 2).

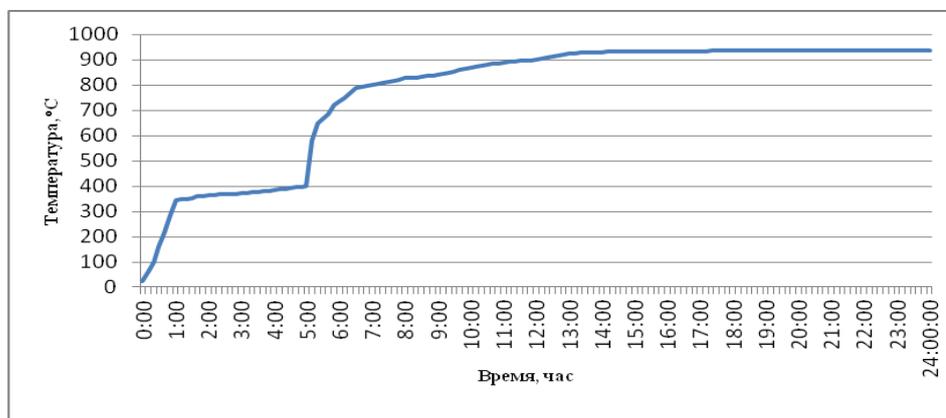


Рисунок 2 – Сушка и нагрев футеровки сталеразливочного ковша

Первый этап (0-1:20 ч.) 20-350 °С ведется со средней скоростью 37,2 °С/час. При этом нагрев идет быстро, но равномерно, без выдержки при температуре 100-110 °С (полочки) для удаления влаги. Далее от 1:20 до 5:00 часов скорость разогрева уменьшается до значения средней скоростью 2-3 °С/час образуя полочку. Исходя из графика данная полочка не обходима для релаксаций температурных напряжений, после чего идет подъем температуры с 400 °С до 650 °С за 20 минут со средней скоростью разогрева 75 °С/час. Далее с 650 °С идет нагрев до 800 °С за 1:40 часов со средней скоростью 13,6 °С/час. Затем следует длинный период подъема температуры до 900 °С за 5 часов. После этого идет медленный нагрев 3 часа со скоростью 2 °С/час до температуры выдержки при 933°С (полочки) для релаксаций температурных напряжений. Последние 6 часов поддерживается температура футеровки на уровне 938 °С, а не ее разогрев. Таким образом средняя скорость разогрева футеровки сталеразливочного ковша с 20 °С до 938 °С составляет 40 °С/час.

Анализ этого графика показывает, что при разогреве футеровки в ней возникают термические напряжения, (рисунок 3), которые приводят к появлению трещин и в дальнейшем к ее разрушению (рисунок 4).

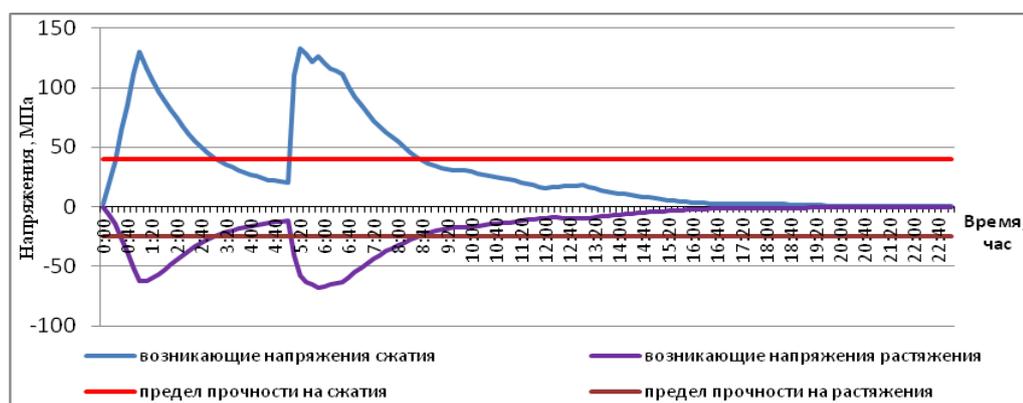


Рисунок 3 – Возникающие температурные напряжения

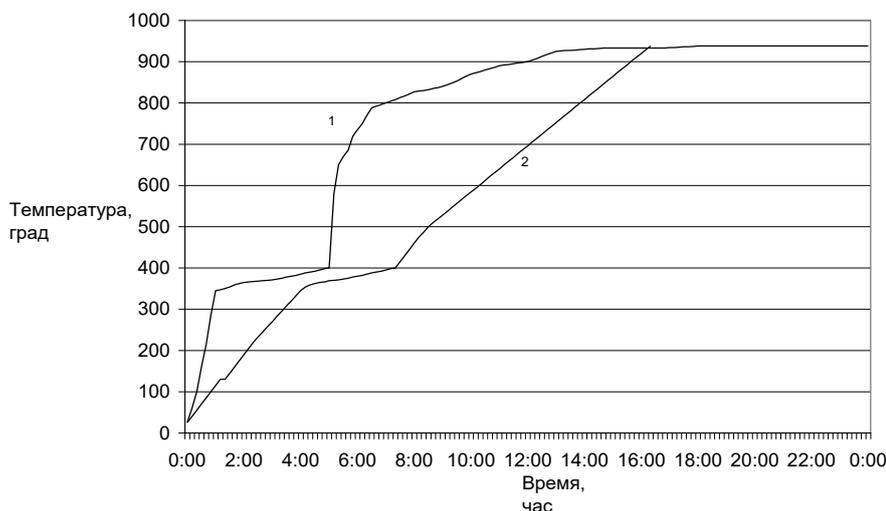
На графике видно, что термические напряжения на сжатия превышают в два раза предел прочности, указанный заводом-изготовителем для периклазоуглеродистых огнеупоров (40 МПа на сжатие и 25 МПа на растяжение).

Результатом чрезмерно быстрого разогрева является образование трещин в футеровке. На рисунке 4 показан характер разрушения футеровки 25 тонного сталеразливочного ковша после 22 плавов [3].



Рисунок 4 – Трещины в футеровке сталеразливочного ковша

В результате можно сделать вывод о превышении допустимых скоростей разогрева в соответствующие моменты времени. Кроме того, разогрев ковша осуществляется в течение 24 часов, а из графика (рисунок 5 кривая 2) видно, что максимальной температуры внутренняя поверхность футеровки достигает уже после 16 часов нагрева. Тем самым, в последние 8 часов происходит поддержание максимальной температуры футеровки, а не её разогрев.



1-Заводской график разогрева; 2- разработанный график разогрева.

Рисунок 5 –Графики разогрева сталеразливочного ковша

Скорости подъёма температуры для каждого участка кривой подбирались индивидуально. Средняя скорость повышения температуры на участках от 18 до 500 °С (не содержащих участки сушки), составила ~ 90 °С/ч. Общее время разогрева до температуры 938 °С составляет 16 часов 20 минут.

Обсуждение.

Статья содержит результаты определения скорости и периода сушки огнеупорных материалов, которые используются в высокотемпературных агрегатах металлургической отрасли.

Температурные напряжения в футеровке являются определяющим условием при оценке остаточного ресурса, так как снижение толщины футеровки именно вследствие действия температурных напряжений является наиболее частой причиной вывода высокотемпературных агрегатов в ремонт.

Применяемые на предприятиях режимы сушки приводят к различным трудностям: неравномерный разогрев футеровки и отсутствие учета эксплуатационных особенностей конкретного высокотемпературного агрегата. Статья описывает методику определения периода и скорости сушки. Адекватность расчётных методов определения параметров сушки доказана экспериментальными данными. Средняя скорость повышения температуры на участках от 18 до 500 °С (на рассматриваемом агрегате), составила ~ 90 °С/ч. Общее время разогрева до температуры 938 °С составляет 16 часов 20 минут. Разработанные графические зависимости для разогрева позволяют производить разогрев с максимально возможными скоростями, не превышая предел прочности огнеупорных материалов, что привело к значительному снижению времени на процесс разогрева.

Заключение.

Исследования показывают, что стойкость футеровок высокотемпературных агрегатов в большей степени зависит от (перепадов) температурных факторов, нежели от химического воздействия технологического материала и др. Таким образом, основная причина, определяющая остаточный ресурс высокотемпературных агрегатов – износ футеровки в процессе работы. Следовательно, необходимо разработать единый методологический подход к комплексу теоретических и экспериментальных исследований по повышению надёжности тепловой работы футеровок теплотехнологического оборудования за счёт оценки рисков и допустимого остаточного ресурса его эксплуатации.

Разработанные графики разогрева позволяют, не превышая предел прочности огнеупорных материалов, производить процесс разогрева с максимально возможными скоростями и контролировать его. При этом происходит значительное снижение времени на процесс разогрева [4].

ЛИТЕРАТУРА

[1] Chaouki S., Iz – Eddine E. A., Abderrahman A. Recent advances in silica – alumina refractory: A review // Journal of Asian Ceramic Societies - 2014. – № 2(83). –С. 96-99.

[2] Suat Y. Thermomechanical Modelling for Refractory Lining of a Steel Ladle Lifted by Crane // Steel research. – 2003. - No. 7 (74). - С. 483–488.

[3] Никифоров А.С., Приходько Е.В., Кинжибекова А.К., Карманов А.Е. Исследование зависимости теплопроводности огнеупоров от их пропитки агрессивной средой // Новые огнеупоры. – 2019. - № 9. – С.50-54.

[4] Никифоров А. С., Приходько Е.В. отчет о научно–исследовательской работе: «Исследование и разработка режимов тепловой работы котельных агрегатов малой и средней производительности с целью повышения энергоэффективности». - Павлодар, 2012

Амангелді Карманов, PhD, Toraigrov University, Павлодар, Қазақстан, Aman270685@mail.ru

Александр Никифоров, т.ғ.д., профессор, Toraigrov University, Павлодар, Қазақстан, қаласы. aleke@mail.ru

Евгений Приходько, т.ғ.к., профессор, Toraigrov University, Павлодар, Қазақстан, John1380@mail.ru

Булбул Онгар, PhD, қауымдастырылған профессор, Satbayev University, Алматы, Қазақстан, ongar_bulbul@mail.ru

ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ БӨЛІМДЕРДІҢ РҰҚСАТ ЕТІЛГЕН ҚАЛДЫҚ ПЕРЗІМНІ АНЫҚТАУ ҮШІН ЖЫЛЫТУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Андатпа. Мақалада металлургия саласының жоғары температуралы агрегаттарында қолданылатын отқа төзімді материалдардың кептіру жылдамдығы мен уақытын анықтау нәтижелері көрсетілген. Кәсіпорындарда қолданылатын кептіру режимдері әртүрлі қиындықтарға әкеледі: футеровканы біркелкі қыздырмау және нақты жоғары температуралы қондырғының пайдалану ерекшеліктерін ескермеу. Мақалада кептіру уақытымен жылдамдығын анықтау әдістемесі сипатталған. Кептіру параметрлерін анықтаудың есептік әдістерінің жеткіліктілігі тәжірибелік мәліметтермен дәлелденді. 18-ден 500 °С дейінгі учаскелердегі (қарастырылып отырған агрегатта) температураның

көтерілуінің орташа жылдамдығы ~ 90 °C/сағ құрады, 938 °C температураға дейін қыздырудың жалпы уақыты 16 сағат 20 минутты құрайды. Қыздыруға арналған графикалық тәуелділіктер отқа төзімді материалдардың беріктік шегінен аспайтын максималды жылдамдықпен қыздыруға мүмкіндік береді, бұл қыздыру процесі уақыттың едәуір азаюына әкелді.

Кілттік сөздер. Отқа төзімді материалдар, кептіру, қыздыру жылдамдығы, төсеу, жоғары температура қондырғысы, жылыту кестесі.

Amangeldy Karmanov, PhD, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, Aman270685@mail.ru

Alexander Nikiforov, doctor of technical sciences, professor, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan. aleke@mail.ru

Prihodko Evgeny, candidate of technical sciences, professor, Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, John1380@mail.ru

Bulbul Ongar, PhD, associate professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, ongar_bulbul@mail.ru

INVESTIGATION OF THE HEATING PROCESS TO DETERMINE THE ALLOWABLE RESIDUAL PERIOD OF HIGH TEMPERATURE UNITS

Abstract. The article shows the results of determining the drying speed and time of refractory materials used in high-temperature aggregates of the metallurgical industry. The drying regimes used in enterprises lead to various difficulties: uneven heating of the lining and failure to take into account the operating characteristics of the actual high-temperature installation. The article describes the method of determining the speed with drying time. The adequacy of calculation methods for determining drying parameters was proved by experimental data. The average rate of temperature rise in sections from 18 to 500 °C (in the considered unit) was ~ 90 °C/h, the total time of heating to 938 °C was 16 hours and 20 minutes. Graphical dependences for heating allow heating at the maximum speed that does not exceed the strength limit of refractory materials, which led to a significant reduction in the time of the heating process.

Keywords. Refractory materials, drying, heating rate, laying, high temperature installation, heating schedule.
