

К. Т. Н. В. В. Словицкий, А. В. Гуляева (✉)

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 666.76:[662.94:66.043.1

КОМБИНИРОВАННАЯ ВЫСОКОСТОЙКАЯ ФУТЕРОВКА ТОПОЧНЫХ КАМЕР ДЛЯ СУШКИ СУСПЕНЗИЙ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ

Приведены исследования условий службы футеровки топочной камеры СРЦ12,5/1500НК на Мозырском заводе кормовых дрожжей (МЗКИ), характера ее разрушения и процессов горения. Разработан и испытан огнеупорный клей в качестве кладочного раствора. Применение пропитки огнеупоров футеровки топок алюмохромофосфатной связкой оптимальной плотности позволило сократить пористость огнеупоров, тем самым повысить их прочность на 30 %, термостойкость в 3 раза. Испытана футеровка из высокостойких муллитокорундовых огнеупоров на основе плавящихся материалов; усовершенствована схема кладки топок «шахматка»; найдено применение защитной высокостойкой обмазки для ремонта локальных выломов. В результате внедрения этих мероприятий стойкость футеровки топочных камер увеличилась в 2,5–3,0 раза — с 2–3 до 9–10 мес.

Ключевые слова: топочная камера, горелочное устройство, футеровка, шамот, огнеупорный клей, муллитокорундовый огнеупор, алюмохромофосфатная связка, сушильная установка.

По данным Госстата, в России работают 17 заводов по производству кормовых дрожжей (Барнаульский дрожжевой завод, Волжский гидролизно-дрожжевой завод, Ростовский дрожжевой завод, Дрожжевой завод (г. Иркутск), Красноярский дрожжевой завод и др.). Для сушки продукта используют сушильные установки. Сушильная установка представляет собой теплоиспользующий агрегат, включающий следующие основные узлы: две топки, работающие на мазуте, сушилку типа СРЦ, группу циклонов, 9 тягодувных машин с распыливающим механизмом. Установка предназначена для сушки суспензий (кормовых дрожжей) в распыленном состоянии и является установкой непрерывного действия. Топка циклонная, предназначена для сжигания топлива (мазута), т. е. для перевода связанной энергии с топлива в основном в тепловую энергию с высокой температурой топочных газов. Объем камеры 23 м³, теплотворность 28 ккал/ч.

В топках происходит сгорание мазута марки 100 и одновременное обезвреживание отработавшего сушильного агента. Дымовые газы, образующиеся при сгорании мазута, с температурой до 1200 °С смешиваются с отработанным теплоносителем, выходящим из «рубашки» охлаждения топок, и поступают в трубное пространство воздухонагревателя. В воздухонагревателе сушильный агент нагревается от 80–100 до 450 °С и по воздуховоду поступает в сушильную камеру. Смесь дымовых газов с отработанным теплоносителем, отдавая тепло в воздухонагревателе сушильному агенту, охлаждается

до 150–200 °С и дымососом топки выбрасывается через дымовую трубу в атмосферу.

Футеровка топочной камеры выполнена полностью из шамотного кирпича марки ША-I (ГОСТ 86973) на шамотном растворе с воздушно-твердеющим цементом. Схема кладки показана на рис. 1. Наиболее интенсивно изнашивается футеровка в верхней части конуса. Из-за местных прогаров футеровка теряет прочность и наблюдается

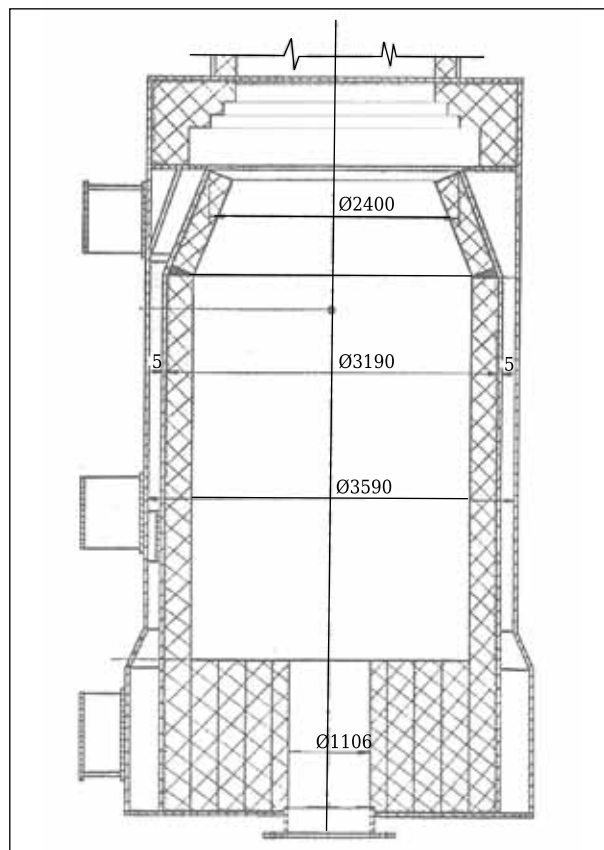


Рис. 1. Схема футеровки топочной камеры



А. В. Гуляева

E-mail: a.gulyaewa2012@yandex.ru

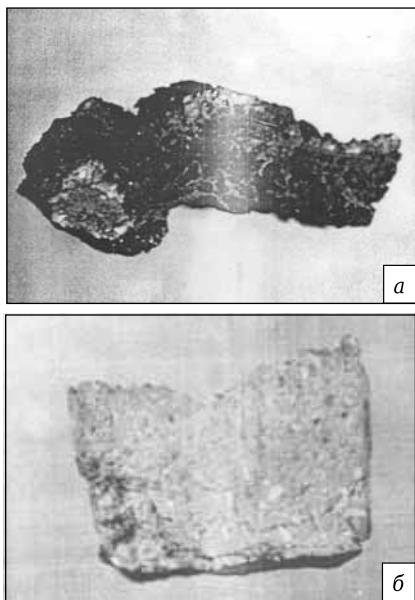


Рис. 2. Шамотный огнеупор после службы в топке

Таблица 1. Увеличение стойкости футеровки тепловых агрегатов на предприятиях цветной металлургии

Предприятие	Вид агрегата	Зона применения раствора	Увеличение стойкости, %
Алавердинский горно-металлургический комбинат	Конвертеры	Фурменный пояс	20
Карабашский медеплавильный комбинат	Конвертер	То же	25
	Отражательная печь	Свод	
Усть-Каменогорский свинцово-цинковый комбинат	Конвертеры	Футеровка реакционной зоны	30
Красноуральский медеплавильный комбинат	»	Фурменный пояс	25

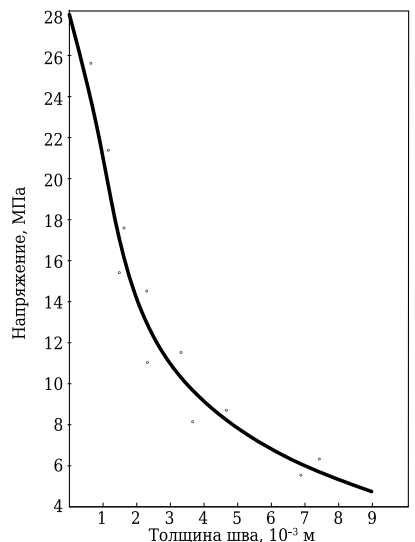


Рис. 3. Зависимость температурных напряжений, возникающих в огнеупорной кладке, от толщины связующих швов

ее обрушение вплоть до деформации и оплавления металлического кожуха, что ведет к остановке технологического процесса и длительным ремонтным работам. Температура в зоне прогара превышает 1200 °С, и шамотный кирпич сильно оплавляется (рис. 2, а).

На его поверхности наблюдается не только сильное оплавление, но и наличие большого количества трещин, а также проникновение продуктов горения на глубину примерно 50 мм и разрыхление кирпича у рабочей поверхности. Это вызвано интенсивным испарением SiO₂ и образованием пористых карбидов кремния, которые, в свою очередь, отслаиваются с поверхности кирпича (рис. 2, б).

Учитывая опыт применения связующих растворов в футеровке аппаратов цветной металлургии, цементной промышленности, авторами было предложено для создания более прочной монолитной футеровки применить в качестве кладочного раствора высокотемпературный клей, который применяли авторы в футеровке агрегатов ряда предприятий (табл. 1) [1–3]. Этот клей уменьшает термические напряжения в кладке во время эксплуатации агрегата, которые подчас превышают прочность огнеупорных изделий (рис. 3), а также препятствует проникновению реагентов плавки в швы футеровки, сокращая тем самым поверхность контакта огнеупор – расплав в 8–12 раз. С применением клея кладка образует монолит корпуса, окатов футеровки и огнеупорных изделий, что резко уменьшает возможность выпадения отдельных элементов кладки. Систему кладка – клей можно охлаждать и нагревать с большей скоростью (в 2–3 раза) без потери механической прочности футеровки.

Клей представляет собой комплект сухой смеси и жидкого связующего. Он обеспечивает монолитность кладки, а также уменьшает выброс газовой составляющей через кладку. Кроме того, клей является безвредным. Огнеупорный клей склеивает изделия алюмосиликатного состава (шамот, муллит, корунд). Максимальная температура службы огнеупорного клея 1800 °С. Физико-механические показатели клея приведены ниже:

- Огнеупорность, °С, не ниже.....1770
- Термостойкость, воздушные теплосмены, не менее.....24
- Предел прочности при сдвиге, МПа, не менее6,5
- Растекаемость, мм, не менее70–90
- Осадка конуса, см, не менее.....11
- Линейная усадка, %.....0–1
- Кажущаяся плотность, г/см³, не менее.....2,2
- Открытая пористость, %, не более.....27
- Предел прочности при сжатии, МПа, не менее.....35

Поверхности, на которые наносится клей, должны быть чистыми. Грани кирпичей, подлежащих склеиванию, должны быть смазаны связующим веществом. Клей на поверхности ог-

неупора наносится мастерком или специальным ножом; допускается окунание кирпича в клеевой раствор, толщина клеевого шва не должна превышать 1–2 мм. Проводить работы с клеем допускается только при плюсовой температуре. После окончания работ склеенная кладка должна сушиться при температуре не выше 50 °С в течение 12 ч, а для обеспечения водостойкости необходимо произвести термообработку кладки при температуре не ниже 300–550 °С в течение 8 ч. Клей, испытанный в футеровке топочных камер, повысил срок службы их на 25–30 %.

Невысокая стойкость футеровки натолкнула на мысль улучшения свойств применяемых огнеупоров путем пропитки растворами фосфатных связующих. Были проведены лабораторные исследования по пропитке огнеупоров различными фосфатными связками. Исследовали образцы, пропитанные фосфатными связками. В качестве фосфатной связки были использованы: ортофосфорная кислота, алюмофосфатная связка, алюмохромфосфатная связка (АХФС). Пропитанные образцы прокаливали при 800–900 °С, а затем определяли их свойства (рис. 4) [3, 4]. Лучшей пропитывающей способностью обладает АХФС, плотность пропитанного фосфатами магнезального огнеупора возрастает, пористость уменьшается, термостойкость возрастает в 3 раза (см. рис. 4, табл. 2) [4, 5].

Далее были проведены исследования по оптимальной плотности. Кинетика пропитки алюмохромфосфатными связующими показала, что оптимальная плотность АХФС 1,55 г/см³ (рис. 5) В результате пропитки АХФС кажущаяся плотность огнеупора возрастает по сравнению с исходным (непропитанным), а пористость снижается от 22 до 13 %.

Применение пропитки в данном случае повысило стойкость футеровки на 30–40 %. Исходя из того, что стойкость шамотной футеровки в топках низкая, наблюдается большое количество мелких и крупных трещин, а также разрыхление шамотных кирпичей у рабочей поверхности, что вызвано интенсивным испарением SiO₂. Поэтому авторами было предложено испытать уплотненный муллитокорундовый огнеупор на фосфатной связке марки МКФУ-85. Характеристика огнеупора приведена ниже:

Массовая доля, %:

Al ₂ O ₃ , не менее.....	85
Fe ₂ O ₃ , не более.....	1,1
P ₂ O ₅ , не более.....	1,6
Огнеупорность, °С, выше.....	1770
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее.....	90
Открытая пористость, %, не более.....	20
Температура начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа, °С, не ниже.....	1620
Термостойкость, воздушные теплосмены.....	20

Опытная партия данных изделий для МЗКД была изготовлена на заводе «Казогнеупор» (г. Рудный, Рес-

публика Казахстан). Поскольку изделия МКФ сравнительно дороги и дефицитны, в целях экономии была предложена рациональная схема кладки типа «шахматка»: изделия МКФ чередовались в шахматном порядке с шамотными. По данной схеме была выложена конусная, наиболее изнашиваемая часть топки сушильной установки. В качестве кладочного раствора был использован огнеупорный клей.

Авторами предложена методика проведения локальных ремонтов футеровки методом полусухо-

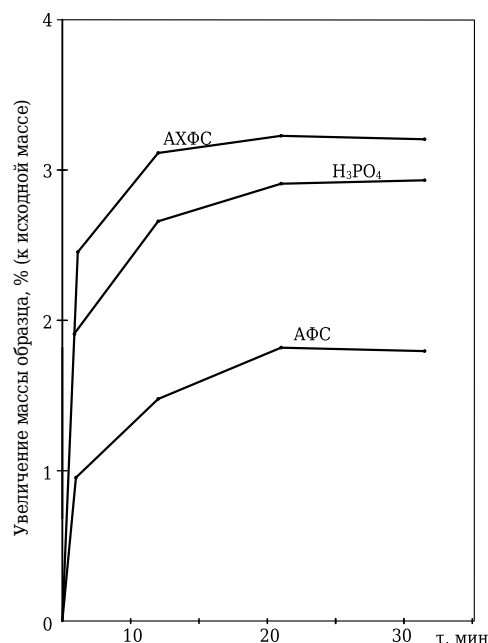


Рис. 4. Кинетика пропитки образцов огнеупоров фосфатами

Таблица 2. Термостойкость исходных и пропитанных АХФС образцов огнеупоров

Образец	Число водяных теплосмен до разрушения образца		Примечание
	исходного (среднее 2,5)	пропитанного АХФС (среднее 8,75)	
МКФУ-1	2	10	Термостойкость пропитанных АХФС образцов выше (8,7 : 2,5 = 3,5)
МКФУ-2	3	9	
МКФУ-3	3	7	
МКФУ-4	2	9	

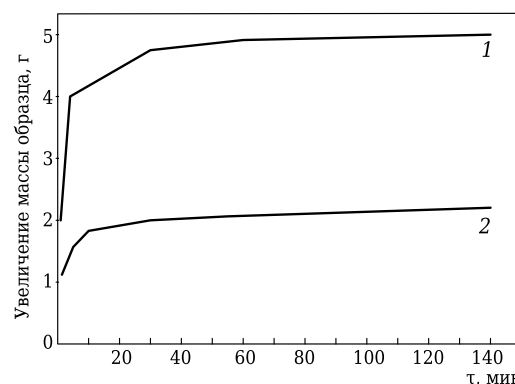


Рис. 5. Кинетика пропитки шамотных образцов АХФС плотностью 1,55 (1) и 1,33 г/см³ (2)

го торкретирования — с применением серийно выпускаемых в промышленности торкрет-установок заделываются мелкие разрушения, наносится защитная обмазка на футеровку. В состав торкрет-масс входит молотый шамотный лом, отвечающий следующим требованиям (содержание шамотного порошка в торкрет-массе 50–90 %): содержание, %: Al_2O_3 не более 32, Fe_2O_3 не более 3,5; огнеупорность не ниже 1730 °С; зерновой состав, %: фракции 5–2 мм 25–30, 2–0,5 мм 25–30, 0,5–0,088 мм 20–25, мельче 0,088 мм 20–25. В качестве связующего используют жидкое стекло плотностью 1,30–1,35 г/см³ в количестве 13–16 % (сверх 100 % от массы сухого шамотного порошка). Для торкретирования футеровки из шамотных огнеупоров в качестве связующего может быть использован высокоглиноземистый или глиноземистый цемент. В обоих случаях состав торкрет-масс должен удовлетворять следующим требованиям: содержание шамотного наполнителя фракции 5–0,88 мм 30–75 %, ВГЦ-I или глиноземистого цемента 20–25 %, технической воды 12–16 % (сверх 100 % от массы шамотного заполнителя).

Для улучшения пластичных свойств массы в состав смеси порошка разрешается вводить 3–4 % огнеупорной глины по ТУ 14-8-50-72. Для сокращения срока твердения торкрет-покрытия используют кремнефтористый натрий в количестве 1,5–2,0 %. Огнеупорная глина не должна иметь слежалостей, влажных комков.

Для улучшения службы футеровки была разработана технология изготовления защитного огнеупорного покрытия. Состав покрытия, %: шамотный порошок фракции (<10 мм) 55–60, тонкодисперсные корундовые отходы фракции (<0,5 мм) 15–20, глиноземистый цемент марки 500 30–20, вода техническая (сверх 100 %) 20. Массу перемешивали в бетономешалке, добиваясь получения густой консистенции. При испытаниях защитное покрытие показало, что скалывание футеровки при температурных перепадах при службе заметно уменьшилось.

В настоящее время кладку футеровки топок на МКЗД в конической и цилиндрической частях выкладывают чередованием прямого и клиновидного шамотного кирпича. При работе топок происходит деформация кожуха, сопровождающаяся разрушением целых участков кладки, что указывает на невысокую строительную прочность футеровки. Авторами было предложено заменить существующую схему кладки на другую, с использованием двух типов клиновых изделий с номерами изделий № 22 и 23 и с ограниченным применением прямого кирпича. Это позволит существенно увеличить строительную прочность кладки и частично уменьшить температурную деформацию кожуха. Были сделаны расчет и раскладка изделий в рядах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа условий службы и характера износа футеровки топочной камеры сушильной

установки были выяснены основные причины ее износа. Отмечено, что наибольший износ футеровки наблюдается в конической части топки, в которой температура достигает 1200–1300 °С. Это приводит к оплавлению шамотных огнеупоров, а температурные напряжения из-за частых остановов вызывают образование трещин и сколов футеровки. В свою очередь, большое содержание воды в газовой смеси при остановах вызывает конденсацию пара в порах огнеупора, затем при разогреве топки происходит парообразование, которое ведет к сильному его растрескиванию. Науглероживание тоже отрицательно влияет на футеровку: на ее поверхности образуются карбиды, обладающие большой пористостью, которые отслаиваются от огнеупора.

Шамотная футеровка заменена на более высокостойкую из огнеупоров марки МКФУ-85, разработаны защитное покрытие и кладочный раствор на алюмохромфосфатном клее, применение которого позволило на 30–40 % увеличить стойкость футеровки. Для ремонта небольших разрушений футеровки разработана технологическая инструкция по торкретированию; рекомендовано увеличить стойкость традиционной футеровки путем пропитки шамотных огнеупоров АХФС. Для придания жесткости футеровке была предложена другая схема кладки в топочной камере с заменой прямого кирпича на клиновидный. В настоящее время кладка на сушилке № 2 в I топке показывает стойкость более 9 мес, а при использовании традиционной футеровки топки подвергаются ремонту через каждые 2–3 мес.

Библиографический список

1. **Словиковский, В. В.** Применение огнеупорного клея и растворов для футеровки агрегатов цветной металлургии / В. В. Словицкий, Ю. И. Рожин, В. И. Ерошкина // Конференция НТО «Совершенствование гидродинамики газовых потоков промышленных печей», г. Свердловск, 1990 г. — С. 60, 61.
2. **Словицкий, В. В.** Эффективные кладочные растворы для футеровок вращающихся печей / В. В. Словицкий, В. А. Лебедев, В. В. Каржавин, С. П. Дойлидов // Третья региональная конференция «Алюминий Урала-98», г. Краснотурьинск, 1998 г. — С. 45, 46.
3. **Словицкий, В. В.** Высокотемпературный клей в футеровках тепловых агрегатов цветной металлургии / В. В. Словицкий, В. М. Корнеев, Ю. И. Рожин. — Свердловск : ЦНТИ, 1988 г., № 89. — С. 47.
4. **Гуляева, А. В.** Влияние влаги на прочностные характеристики огнеупоров магнезиального состава и методы, увеличивающие влагостойкость огнеупора / А. В. Гуляева // Новые огнеупоры. — 2014. — № 2. — С. 45–50.
5. **Словицкий, В. В.** Изучение процесса пропитки фосфатами огнеупорных изделий / В. В. Словицкий, В. В. Каржавин // Пятая региональная научно-практическая конференция «Алюминий Урала-2000», г. Краснотурьинск, 2000. — С. 36, 37. ■

Получено 06.06.16

© В. В. Словицкий, А. В. Гуляева, 2016 г.