

Выводы.

1. На основе экспериментальных исследований процесса конвективной сушки слоя органосодержащего сырья получены критериальные уравнения для нахождения критериев Нуссельта и Шервуда.

2. Уравнения позволяют вычислить коэффициенты теплоотдачи и массотдачи в процессе сушки сложного многокомпонентного пористого слоя с учетом изменения влажности материала.

Литература

1. *Горинов, О. И.* О влиянии влажности твердых бытовых отходов, содержащих древесину, на температурный режим термической переработки / [О. И. Горинов и др.] // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 2012. – №3. – С. 35 – 36.
2. *Долинин, Д. А.* Патент №2433344 Российская Федерация МПК F23G Установка для термического разложения несортированных твердых бытовых отходов / Д. А. Долинин, Р. Н. Габитов, Е. С. Семин, О. В. Самышина, О. Б. Колибаба, О. И. Горинов, В. А. Горбунов. Опубл. 10.11.2011.
3. *Лебедев, П. Д.* Теплоиспользующие установки промышленных предприятий / П. Д. Лебедев, А. А. Щукин. – М., 1970.
4. *Лыков, М. В.* Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М., 1970.
5. *Романков, П. Г.* Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / П. Г. Романков, К. Ф. Павлов, А. А. Носков. – Л., 1987.
6. *Сокольский, А. И.* Термическая обработка дисперсных материалов в аппаратах с вихревыми двухфазными потоками: дис. ... д-ра техн. наук / А. И. Сокольский. – Иваново, 2005.
7. *Фролов, В. Ф.* Моделирование сушки дисперсных материалов / В. Ф. Фролов. – Л., 1987.
8. *Prabir, B.* Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory / B. Prabir // Academic Press, Corporate drive. – Burlington, USA, 2010.

УДК 66-933.6

С. М. Корнилаев*Череповецкий государственный университет*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТОРКРЕТИРОВАНИЯ ФУТЕРОВКИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ (ДСП)

В статье представлена автоматизация технологического процесса торкретирования футеровки электросталеплавильной печи (ДСП) с помощью роботизированного торкрет-манипулятора для горячего ремонта. Рассмотрена работа торкрет-робота с заходом стрелы через верх и через рабочее окно с помощью технологических операций печного участка ДСП. Аппробированными результатами являются: экономия огнеупорных материалов, увеличение эффективности и безопасности электросталеплавильной печи.

Торкретирование, горячий торкрет-ремонт, футеровка электросталеплавильной печи (ДСП), роботизированный торкрет-манипулятор, торкрет-робот.

The article presents the automation of the shotcrete lining process of the electric arc furnace (EAF) with a robotic shotcrete-manipulator for hot repair. The paper also considers the work of shotcrete robot into an arrow through the top and through the working window with the help of technological operations and furnace area EAF. The proven results are considered to be the saving of refractory material, increasing the efficiency and security of the electric arc furnace.

Guniting work, hot gunning repair, lining of the electric arc furnace (EAF), robotic shotcrete-manipulator, shotcrete-robot.

Введение.

Применение процесса торкретирования в качестве горячего ремонта футеровки сталеплавильных агрегатов с целью снижения себестоимости стали является одним из приоритетных направлений совершенствования сервиса технологии сталеплавильной плавки на отечественных предприятиях. Оно широко используется в электросталеплавильных цехах металлургических предприятий всех стран мира, в бывшем СССР успешно прошло испытания на крупнейших металлургических заводах и комбинатах. Автоматизация горячего торкрет-ремонта нацелена на достижение высоких результатов работы технологии торкретирования: позволяет достичь экономию магнезиальной торкрет- и заправочной масс, увеличить полезное время работы сталеплавильного агрегата, улучшить экологические показате-

тели производства, сделать труд технолога-сталепла- вильщика безопасным.

За последнее время исследования и разработки в области процесса торкретирования (включая производство оборудования для торкрет-ремонтных) принадлежат российским компаниям ЗАО «НПП им. М. И. Платова», ЗАО МО «Прогресс» и иностранным компаниям "RHI AG" (Австрия), "Pigomet A. S." (Турция), "Minteq" (США) и проч. Их научные разработки направлены на холодные и горячие ремонты с помощью процессов торкретирования и шоткретирования металлургических агрегатов [3]. Нерешенной частью общей проблемы автоматизации этих процессов является комплексное использование роботизированного оборудования в условиях российских металлургических предприятий.

Цель настоящей работы заключается в обосновании автоматизации процесса торкретирования в условиях горячего ремонта футеровки ДСП с комплектованием различных вариантов дополнительного оборудования. Поставленной цели соответствуют следующие задачи: рассмотреть ручной способ торкретирования футеровки электросталеплавильной печи с использованием стационарной торкрет-установки; показать автоматизацию процесса торкретирования с помощью роботизированного торкрет-манипулятора в условиях горячего ремонта футеровки ДСП; обосновать автоматизацию процесса торкретирования с помощью дополнительного комплекта оборудования, осуществляющего другие операции (заправка откосов электропечи, сканирование печного пространства, шоткретирование).

Основная часть.

Под торкретированием в металлургической промышленности понимается процесс горячего или холодного ремонта изношенной кирпичной кладки сталеплавильного агрегата, при котором увлажненная огнеупорная смесь послойно наносится на поверхность под давлением сжатого воздуха при помощи пневмоустановки. Установки для торкретирования электросталеплавильной печи предназначены для проведения общих и направленных (локальных) горячих ремонтов стен, шлакового пояса, зон горелок и эркера. На сегодняшний день широкое распространение получило ручное торкретирование из-за относительной дешевизны оборудования и богатого опыта российских металлургов в горячем ремонте труднодоступных мест футеровки огнеупорной кладки эксплуатируемых сталеплавильных агрегатов. Манипулирование процессом горячего ремонта осуществляется с помощью мускульной силы технологического персонала (1–2 человека) при ручном управлении распределительной насадкой в периоды между плавками. Такое оборудование состоит из следующих основных частей: загрузочного бункера, нагнетающей пневмокамеры, «рукава» (стандартная длина 20 м) транспортировки торкрет-массы, распылительной насадки для впрыскивания огнеупорной смеси в сталеплавильный агрегат. Стандартными габаритами торкрет-установки являются: высота – 4 195 мм, длина – 1 850 мм, ширина – 1 620 мм, вес – 2 200 кг. Обычно, биг-беги по 1 000 кг, 1 250 кг или 1 500 кг опускаются в загрузочный бункер, где установлен рассекающий дна биг-бега и сито для отсеивания фракции свыше 4 мм огнеупорной смеси. Сухая масса попадает в нагнетающую пневматическую камеру, объем которой варьируется от 0,25 до 2,8 м³ в зависимости от желаемого расхода смеси, и под давлением воздуха выталкивается в транспортный «рукав». Для нагнетания воздуха в шлангах подачи сухой смеси используются стационарные компрессорные установки, дающие давление воздуха в сети 4–6 бар. Увлажнение транспортируемой смеси происходит внутри распылительной насадки, в которую поступает вода под давлением от распределительных колонок на объекте. Управление насадкой осуществляет технолог-сталеплавильщик, который визуально контролирует расход, адгезию, отскок торкрет-смеси от

поверхности футеровки, изменяя расстояние от сопла распределительной насадки до места торкретирования. Обычно к торкрет-массе предъявляют следующие основные требования: содержание MgO от 50 до 95 %, максимальный размер зерна – до 3–4 мм, плотность массы при 1000 °С более 2,4 г/см³, содержании воды в готовой огнеупорной смеси 8,5–10 %.

Механизация и автоматизация вспомогательных процессов осуществляется за счет использования манипуляторов и роботов. Манипулятор – это заменитель руки человека. Робот – это манипулятор, оснащенный системой автоматического управления, органами передвижения и элементами, заменяющими кисть человека [2]. Автоматизацией ручного процесса торкретирования является применение торкрет-манипуляторов для горячего ремонта футеровки сталеплавильных агрегатов, которые позволяют заменить тяжелый ручной труд металлургов по манипулированию распределительной насадкой, на управление роботизированной водоохлаждаемой стрелой с помощью джойстиков беспроводного дистанционного пульта. Такое оборудование состоит из: шкафа управления, пульта дистанционного управления, стационарной нагнетающей пневмоустановки, которая автоматически подает огнеупорную смесь в торкрет-манипулятор под давлением, и непосредственно самого робота-манипулятора с раскладывающейся стрелой, на конце которой расположен распределительный наконечник для распыления материала (см. рис. 1).

Техническое исполнение манипулятора зависит от свободного размера печного участка:

- *стационарный* (манипулятор жестко крепится вблизи сталеплавильного агрегата с возможностью беспрепятственного разворачивания стрелы для горячего ремонта; обычно в электросталеплавильном цехе местом расположения оборудования является одна из свободных сторон от шлаковывпускного окна ДСП);

- *передвижной*: на рельсах, гусеницах, автошасси, электрических и дизельных приводах (для экономии места на рабочей площадке в отличие от стационарных манипуляторов, применяют выдвижные роботы на рельсовом, гусеничном или колесном ходу: оборудование выезжает к фиксированной точке рабочей площадки напротив сталеплавильного агрегата, расправляет телескопическую водоохлаждаемую стрелу, заводя распределительный наконечник в печное пространство, и осуществляет горячий ремонт. Данными операциями управляют с помощью дистанционного пульта, исключая нахождение оператора-сталеплавильщика в опасной зоне теплового излучения. Непосредственное движение торкрет-манипулятора осуществляется электрическим приводом со сменными аккумуляторами или дизельным приводом, предотвращающим взрыв оборудования под действием высоких температур от сталеплавильного агрегата);

- *с заходом стрелы в печное пространство через рабочее окно и с заходом стрелы через верх с отводом сферы печи* (их изготавливают с заходом стрелы через рабочее окно выпуска шлака или через верх печи с отводом ее сферы (см. таблицу).

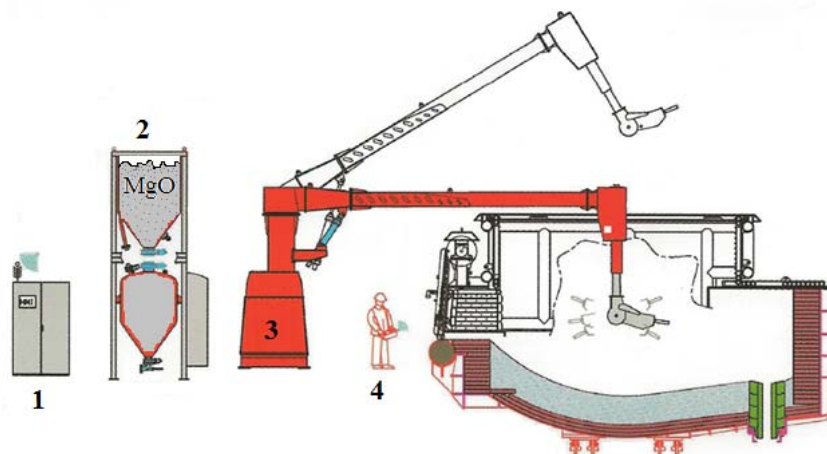


Рис. 1. Стационарный торкрет-манипулятор с заходом стрелы сверху (1 – шкаф управления, 2 – пневмоустановка, 3 – робот-манипулятор, 4 – дистанционный пульт управления)

Таблица

Работа торкрет-манипулятора с заходом стрелы через верх и с заходом стрелы через рабочее окно

Торкрет-робот:	Технологические операции печного участка ДСП при работе торкрет-манипулятора					
	Отвод сферы ДСП	Ввод и центрирование стрелы в печном пространстве	Вывод стрелы из печного пространства	Завалка лома в ДСП	Закрытие сферы	Чистка шлаковывпускного окна
с заходом стрелы через верх	Обязательно	Только после полного отвода сферы ДСП	Простой печи	Только после полной парковки робота	Только после выхода стрелы	Не требуется
с заходом стрелы через рабочее окно	Не требуется	Осуществляется при закрытой сфере ДСП	Осуществляется параллельно отводу сферы, до подхода корзины с ломом	Возможен подход корзины с ломом во время торкретирования	Не требуется	Обязательно, периодически

А также необходимо отметить, что торкрет-робот с заходом стрелы через рабочее окно экономит тепловые потери и время межплавочного простоя ДСП в отличие от его аналога с заходом стрелы сверху. Работа стрелы в печном пространстве может осуществляться в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах. При этом распределительная насадка вращается по горизонтали на 360° и вертикали $\pm 70^\circ$, обеспечивая доступность подачи огнеупорной смеси ко всем зонам электросталеплавильной печи. Это позволяет проводить точечные ремонты труднодоступных мест износа футеровки, что экономит расход огнеупорной смеси, снижает время на ремонты. Автоматизацию процесса торкретирования целесообразно дополнять операциями по заправке откосов ДСП, сканированию печного пространства, шоткретированию.

Обычно локальный износ футеровки сталеплавильного агрегата определяется технологом-сталеплави́льщиком «на глаз» в процессе плавки и из опыта перекладки огнеупорного кирпича при холодных ремонтах. Для автоматизации данного процесса

используют сканер анализа футеровки печного пространства, который сопоставляет исходное состояние печи с текущим, тем самым, выделяя общий и локальные износы кирпичной кладки [5]. Торкрет-манипулятор, используя информацию сканера, в автоматическом режиме самостоятельно расставляет приоритеты мест износа и рассчитывает необходимое количество массы для проведения горячего ремонта.

В полуавтоматическом режиме торкрет-роботу доступна функция переключения на использование сырья из дополнительной пневмоустановки с запасом заправочной смеси, что позволяет в одном горячем ремонте совместить торкретирование стен и заправку откосов ДСП. Это экономит число горячих ремонтов, исключая технологические операции по передвижению сферы, входу и выходу заправочной машины в пространство печи.

В автоматическом режиме торкрет-роботу доступна функция шоткретирования [1], представляющая горячий ремонт кирпичной кладки, при котором огнеупорная паста послойно наносится на поверх-

ность футеровки под давлением сжатого воздуха при помощи пневмоустановки. Материалом для шоткретирования является предварительно подготовленная мелкозернистая смесь (зерно 0–1,5 мм) на основе Al_2O_3 или $MgO (+ H_2O)$, которая подается под высоким давлением в манипулятор и выдавливается на проблемную поверхность футеровки ДСП. Получение сухой пылеобразной огнеупорной массы (влажность менее 1 %) осуществляется в портативных пылеприготовительных мельницах в непосредственной близости от огнеупорного участка (до 50 м), которая затем смешивается с водой (не более 10 %) в рабочем бункере до получения однородной шоткрет-пасты. На рис. 2 показана огнеупорная кладка до и после шоткретирования.

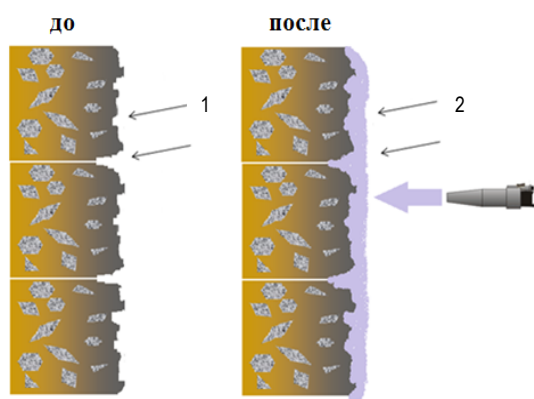


Рис. 2. Нанесение шоткрет-пасты в процессе горячего ремонта футеровки электросталеплавильной печи
1 – открытые поры, стыки кирпичной футеровки;
2 – нанесение мелкозернистого материала (шоткрет-пасты) с созданием изолирующего барьера

Опасный износ футеровки происходит в стыковых зонах между кирпичами, создавая возможность прохода металла и прогара кожуха печи. Чем меньше дисперсность массы, тем глубже она проникает в открытые поры и стыки кирпича, спекаясь, образует низко пористый слой. Регулярное шоткретирование позволяет предотвратить дальнейшее разъедание огнеупора, создавая изолирующий защитный барьер на длительный срок (15–20 плавов).

Итак, общая схема автоматизации процесса торкретирования огнеупорной футеровки ДСП представлена на рис. 3.

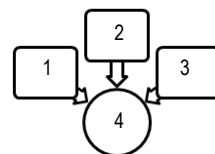


Рис. 3. Полная схема комплектации оборудования для автоматизации процесса торкретирования футеровки ДСП (1 – использование сканера для футеровки печи; 2 – использование дополнительного бункера для заправочной массы, 3 – использование портативной пылеприготовительной мельницы с рабочим бункером для шоткретирования; 4 – автоматизация процесса торкретирования (использование торкрет-робота)

Выводы.

Таким образом, автоматизация процесса торкретирования футеровки электросталеплавильной печи с помощью роботизированного торкрет-манипулятора обеспечивает надежность работы и высокую стойкость кирпичной кладки ДСП, снижение общего времени на ее горячие ремонты, уменьшение удельного расхода масс на тонну стали и безопасную работу технологов-сталеваров [4]. Апробация полученных результатов прошла в Российской Федерации и на Украине в различном техническом исполнении роботов-манипуляторов (с частичной комплектацией) в ЭСПЦ ОАО «ОЭМК» (г. Старый Оскол, пуск в 2006 г.), ОАО «Северский трубный завод» (г. Полеской, пуск в 2008 г.), ООО «Электросталь» (г. Курахово, пуск 2010 г.), ОАО «ОМК-Сталь» (г. Выкса, пуск в 2011 г.), ОАО «НТМК» (г. Нижний Тагил, пуск в 2013 г.). Акты и заключения о испытаниях предоставляются по официальному запросу.

Перспективами дальнейших изысканий по рассматриваемой тематике является автоматизация процесса торкретирования для конвертера, сталеразливочного и промежуточного ковшей.

Литература

1. Азовсталь сделал ставку на новые технологии. – URL: http://www.promvest.info/news/?ELEMENT_ID=19107, свободный.
2. Блинов, А. О. Производственный менеджмент / [А. О. Блинов и др.]. – М., 2014.
3. Корнилов С. М. Шоткретирование и торкретирование футеровки сталеплавильных агрегатов / С. М. Корнилов // Science and Education. – 2014. – Vol. 19. – С. 7–10.
4. Применение роботов-манипуляторов в производстве стальной продукции. – URL: <http://news.bau.ua/20110301/primenenie-robotov-manipuljatorov-v-proizvodstve>, свободный.
5. Increased EAF availability with automatic refractory thickness scanner and gunning robot // MILLENNIUM STEEL INDIA. – 2010. – С. 28–30.