

УДК 669.1.022

Шаповалов А.Н.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА АГЛОСПЕКА ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ

**Аннотация.** Представлены данные опытно-промышленного применения рекуперативного водонагревателя для подогрева воды, подаваемой в окомкователь в условиях агломерационной машины №1 АО «Уральская Сталь». Для подогрева воды в опытном водонагревателе используется тепло, излучаемое с поверхности спекаемой шихты. Изучена динамика температуры агломерационной шихты в процессе технологических этапов ее подготовки от окомкования до загрузки на паллеты в зависимости от изменения температуры воды, подаваемой для увлажнения в процессе окомкования.

Установлено, что для условий работы агломерационной машины №1 АО «Уральская Сталь» повышение температуры воды, подаваемой в окомкователь для увлажнения, на каждые 10 °С способствует росту температуры аглошихты, загружаемой на паллеты, на 1,5-1,6 °С.

Для стабильного получения аглошихты с температурой более 55 °С в условиях агломерационного цеха АО «Уральская Сталь» необходимо использовать воду, подаваемую в окомкователь для увлажнения, с температурой не менее 85 °С. Для реализации предлагаемой технологии необходимо оснастить агломашину водонагревательными рекуперативными теплообменниками, устанавливаемыми над аглоспеком за зажигательным горном и использующими тепло, излучаемое с поверхности спека.

**Ключевые слова:** окомкование, агломерационная шихта, температура агломерационной шихты, аглоспек, водонагреватель.

Известно, что температура агломерационной шихты во многом определяет её поведение в процессе спекания и оказывает существенное влияние на результаты аглопроцесса [1-5]. Спекание шихты с температурой выше «точки росы» происходит без образования зоны переувлажнения, что определяет высокую газопроницаемость слоя и производительность процесса, а также улучшает тепловые условия в спекаемом слое и качество агломерата. Поэтому подогрев аглошихты перед её загрузкой на спекательные является одним из обязательных элементов современной технологии производства агломерата.

Подогрев шихты на аглофабриках осуществляется подачей горячего возврата в шихту, подогревом продуктами сгорания газов (природного, доменного и пр.) или паром, подаваемых в окомкователь, а также использованием свежесожженной извести [1-5].

В агломерационном цехе АО «Уральская Сталь» подогрев аглошихты осуществляется горячим возвратом, отсеиваемым на стадии грохочения агломерата перед чашевым охладителем. Возврат с температурой до 400 °С подается в аглошихту на стадии смешивания. Дополнительным источником тепла является физическое и химическое тепло свежесожженной извести, подаваемой в аглошихту с расходом до 30 кг/т с целью улучшения окомкования. В итоге, температура шихты при загрузке на агломерационную машину составляет 52-61 °С летом и 41-52 °С в зимний период (при среднем значении

47 °С). Последнее, при ограниченной мощности эксгаустеров и низкой газоплотности вакуумной системы, вынуждает в зимний период ограничивать высоту спекаемого слоя (до 250 мм) и долю тонкозернистых концентратов в шихте (до 60 %), что неблагоприятно сказывается как на производительности аглоцеха, так и на качестве агломерата [6-8]. Поэтому организация дополнительного подогрева агломерационной шихты является резервом для повышения технико-экономических показателей агломерационного производства АО «Уральская Сталь» в существующих условиях, особенно в зимний период. Это позволит не только улучшить показатели работы по сезонам, но и обеспечить возможность увеличения высоты спекаемого слоя или доли тонкозернистых концентратов в аглошихте.

По действующей в АО «Уральская Сталь» технологии в процессе окомкования агломерационной шихты осуществляют ее увлажнение с 3,5-4,5 % (после смешивания) до 7,0-8,5 % технической водой, температура которой изменяется от 5 °С зимой до 25-30 °С в летний период. При производительности окомкователя 150 т/ч расход воды на увлажнение шихты составляет до 6 т/ч или 40 л/т. Поэтому вода, имеющая достаточно высокую теплоемкость – 4,187 кДж/(кг·К), потенциально является источником тепла для нагрева аглошихты. Расчет теплового баланса аглошихты в процессе ее подготовки, выполненный при расходе воды в окомкователь 40 л/т, показал, что для стабильного подогрева аглошихты в окомкователе до 55 °С необходимо использовать воду с температурой не ниже 85 °С

(кроме горячего возврата и извести с расходом 30 кг/т). При этом увеличение температуры воды, подаваемой в окомкователь для увлажнения шихты, на каждые 10 °С обеспечивает повышение температуры агломерационной шихты на 1,5-2,0 °С. То есть для работы агломерационного цеха в текущих условиях этот вариант подогрева агломерационной шихты возможен.

С учетом имеющихся технических возможностей, для нагрева воды, подаваемой в окомкователь, целесообразно использовать тепло агломерата, излучаемое с поверхности спекаемого слоя на рабочей части агломашин или уносимое охлаждающим воздухом на охладителях. Учитывая территориальное расположение потенциальных источников тепловой энергии и их параметры, для нагрева воды наиболее предпочтительным вариантом является использование тепла, излучаемого с поверхности аглоспека после зажигательного горна [9], на выходе из которого температура поверхности спекаемой шихты максимальна и соответствует температуре зажигания 1200-1250 °С.

Для утилизации тепла излучения от аглоспека необходимо оснащение агломерационных машин рекуперативными водонагревателями трубчатой конструкции, располагающимися над поверхностью спека сразу за зажигательным горном. Схема расположения опытного рекуперативного водонагревателя над поверхностью спекаемой шихты представлена на рис. 1.

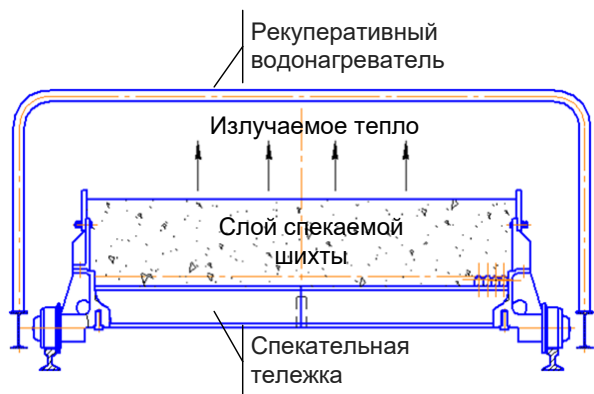


Рис. 1. Схема расположения водонагревателя над поверхностью спекаемой шихты

Тепловоспринимающая поверхность опытного водонагревателя выполнена из стальных труб диаметром 76,1 мм (условный проход 65 мм), по которым проходит вода, направляемая в окомкователь. Опытный водонагреватель представляет собой змеевиковый теплообменник, имеющий один контур движения воды, состоящий из 21 витка. Опытный водонагреватель был установлен на агломашине №1 на место «теплого

экрана» - сразу за зажигательным горном. Кроме снижения строительно-монтажных издержек такой вариант установки обеспечил максимальный поток теплового излучения с поверхности аглоспека. В итоге, габаритные размеры водонагревателя составили 3,4 м в ширину (при ширине спекательных тележек 2,8 м) и 2,0 м в длину (с учетом толщины сварных швов), а расстояние от тепловоспринимающей (рабочей) поверхности водонагревателя до уровня бортов тележек – 800 мм.

После изготовления и монтажа опытного водонагревателя на агломашину были проведены замеры температуры воды при её рабочем расходе 6 т/ч. При начальной температуре воды на входе в водонагреватель 15-17 °С температура на выходе составляла 85-90 °С. При теплоемкости воды 4,187 кДж/(кг·К) количество дополнительно поступающего в окомкователь тепла (с водой) составляет 1,71-1,88 ГДж/ч. Тогда при производительности окомкователя 150 т/ч и теплоемкости агломерационной шихты в нем 0,85-0,90 кДж/(кг·К) [1] дополнительное тепло с водой (1,71-1,88 ГДж/час) позволит повысить температуру агломерационной шихты на 12,7-14,8 °С (без учета тепловых потерь).

Температура поверхности аглоспека по длине водонагревателя в ходе эксперимента изменялась от 1200 до 680 °С (в среднем 940 °С). Таким образом, при степени черноты поверхности аглоспека под водонагревателем 0,95 и площади поверхности излучения 5,6 м<sup>2</sup> (при ширине тележки 2,8 м) количество излучаемого с поверхности аглоспека тепла составит 2,35 ГДж/ч. При часовом теплосъеме с водонагревателя 1,71-1,88 ГДж степень усвоения излучаемого с поверхности аглоспека тепла составляет 72-80 %.

Для оценки количественного влияния температуры воды на подогрев агломерационной шихты в ходе опытно-промышленных испытаний проводились измерения температуры аглошихты в четырех точках на технологической линии подготовки шихты агломашини №1 (рис. 2):

- первая точка – на конвейере перед барабаном-окомкователем;
- вторая точка – на выходе из барабана-окомкователя;
- третья точка – в промежуточном бункере распределителя шихты;
- четвертая точка – на паллетах агломерационной машины.

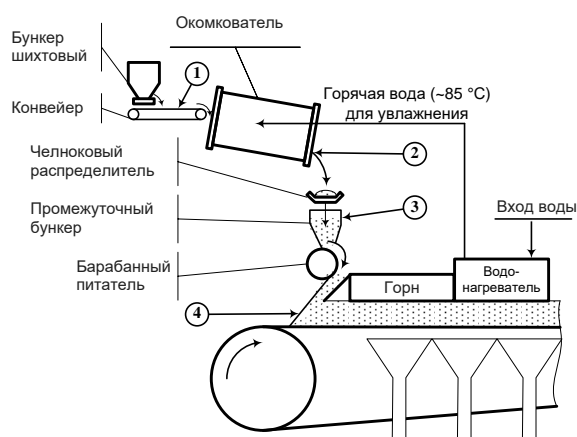


Рис. 2. Схема расположения водонагревателя и точек замера температуры аглошихты  
Измерения температуры аглошихты

проводились тепловизором Flir T640, работающем в температурном диапазоне от  $-50$  до  $2000$  °C. Для повышения адекватности полученных данных перед началом эксперимента была выполнена настройка тепловизора, заключающаяся в подборе величины коэффициента излучения, обеспечивающего соответствие измеряемой и фактической температуры агломерационной шихты. Для этого в лабораторных условиях измерялась температура поверхности окомкованной агломерационной шихты с влажностью 8 %, которую предварительно нагревали в камерной печи СНОЛ 12/16 до  $60$  °C, и подбирались экспериментальная величина коэффициента излучения влажной шихты.

Таблица 1

Усредненные данные о влажности, температуре и гранулометрическом составе агломерационной шихты в период проведения эксперимента

Параметры шихтовых материалов		Базовый период	Опытный период
Температура воды, подаваемой на увлажнение, °C		17,6	86,9
Состав шихты перед окомкованием	+10 мм	5,16	4,88
	5-10 мм	8,15	10,11
	3-5 мм	9,35	10,02
	1-3 мм	24,13	25,60
	0-1 мм	53,21	49,39
Влажность шихты, %		3,50	3,70
Температура шихты (перед окомкованием), °C		51,6	51,9
Средний диаметр гранул окомкованной шихты, мм		2,38	2,53
Состав шихты после окомкования	+10 мм	12,30	11,80
	5-10 мм	12,70	11,96
	3-5 мм	19,34	18,62
	1-3 мм	35,69	39,15
	0-1 мм	19,97	18,47
Влажность шихты, %		7,60	7,30
Температура шихты (из окомкователя), °C		52,0	62,5
Средний диаметр гранул окомкованной шихты, мм		4,08	3,99
Снижение содержания мелочи (0-1 мм), % (отн.)		62,47	62,60

Полученные в ходе эксперимента опытные данные сравнивались с «базовыми», в качестве которых использовались данные, собранные за время работы агломашины №1 до установки опытного водонагревателя.

Опытный период характеризовался удовлетворительной работой оборудования на

относительно постоянной шихте. Шихта дозировалась из расчета получения агломерата основностью 1,7 с содержанием Fe – 50 %. В ходе проведения экспериментов отбирались пробы аглошихты до и после окомкователя и фиксировались параметры работы агломашины: разрежение в коллекторе и перед эксгаустером, температура в коллекторе, скорость движения аглоленты, высота спекаемого

слоя. Пробы агломерационной шихты весом 12-18 кг, отобранные до и после окомкователя, исследовались с целью определения влажности и гранулометрического состава.

Усредненные данные о влажности и

гранулометрическом составе агломерационной шихты, полученные в ходе эксперимента, а также параметры работы агломашины №1 и данные фиксации температуры шихты приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 2

Усредненные данные о температуре агломерационной шихты и параметрах спекания на агломашине №1 в период проведения эксперимента

Параметры дозирования шихтовых материалов	Период эксперимента		Изменение абс.
	базовый	опытный	
Температура воды, подаваемой на увлажнение, °С	17,6	86,9	69,3
Температура шихты на конвейере по прибору, °С	50,30	51,1	0,8
Температуры опытные, °С			
на конвейере	51,6	51,9	0,3
с окомкователя	52	62,5	10,5
в бункере распределителя	52,5	63,4	10,9
на паллетах	55,6	65,2	9,6
Разрежение в коллекторе, мм вод.ст.	572,0	544,0	-28
Температура в сборном коллекторе, °С	83,7	96,2	12,5
Фактическая скорость аглоленты, м/мин	1,80	1,80	0
Приведенная скорость аглоленты, м/мин*	1,72	1,78	0,06
* Скорость, приведенная к постоянной температуре в коллекторе (100 °С).			

Полученные данные показывают, что повышение температуры воды, подаваемой в окомкователь с 17,6 до 86,9 °С (на 69,3 °С по усредненным данным) позволило повысить температуру аглошихты на выходе из окомкователя в среднем на 10,5 °С, то есть увеличение температуры воды на каждые 10 °С дало повышение температуры шихты на 1,52 °С. Эта же разница в температурах шихты сохранилась и на других контрольных участках. При производительности окомкователя 150 т/ч и теплоемкости агломерационной шихты в нем 0,85-0,90 кДж/(кг·К) увеличение теплосодержания агломерационной шихты в опытный период составило 1,34-1,42 ГДж/ч. Дополнительное количество тепла с водой при её расходе 6 т/ч и теплоемкости 4,187 кДж/(кг·К) составляют 1,74 ГДж/ч. То есть усвоение дополнительного тепла, поступающего в окомкователь с нагретой водой, составило 76,9-81,4 %. Таким образом, полученные данные подтвердили возможность использования горячей воды для дополнительного подогрева шихты и показали эффективность этого способа при его использовании в дополнение к горячему возврату и свежесожженной извести.

Повышение температуры аглошихты в ходе эксперимента практически не отразилось на качестве окомкования – доля мелочи снизилась на 1,5 %,

однако за счет одновременного снижения крупной фракции (+10 мм), средний диаметр гранул окомкованной шихты уменьшился с 4,08 до 3,99 мм. При этом отмеченные изменения гранулометрического состава находятся в пределах погрешности измерений, то есть влияние дополнительного подогрева аглошихты на результаты окомкования выявлено не было.

Достигнутое в ходе опытного периода увеличение температуры аглошихты до 65,2 °С благоприятно отразилось на показателях спекания: разрежение в коллекторе снизилось на 28 мм вод.ст. (на 5 %), а температура в коллекторе выросла на 12,5 °С. Отмеченные факты свидетельствуют об улучшении газопроницаемости спекаемого слоя, что очевидно объясняется устранением зоны переувлажнения. Несмотря на постоянную фактическую скорость движения аглоленты в период проведения эксперимента (1,8 м/мин), приведенная скорость аглоленты, обеспечивающая постоянную температуру в коллекторе на уровне 100 °С, в опытный период выросла на 0,06 м/мин, то есть на 3,5 %.

Таким образом, за счет дополнительного подогрева агломерационной шихты до температур выше «точки росы» с использованием горячей воды, подаваемой в окомкователь при увлажнении,

возможно увеличение производительности агломашины на 3-4 % в результате устранения зоны переувлажнения. Кроме того, этот способ дополнительного подогрева агломерационной шихты

можно использовать и для увеличения высоты спекаемого слоя. В результате можно ожидать повышения выхода годного, прочности агломерата и, как следствие, увеличения производительности.

#### Список литературы

1. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н. Агломерация рудных материалов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ – УПИ», 2003. – 400 с.
2. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации. – М.: Metallurgizdat, 1974. – 286 с.
3. Базилевич С.В., Вегман Е.Ф. Агломерация. – М.: Metallurgizdat, 1967. 368 с.
4. Петрушов С.Н. Современный агломерационный процесс. – Алчевск: ДонГТУ, 2006. – 357 с.
5. Смородинников А.В., Губанов В.И. Интенсификация процессов окускования железорудного сырья. – Свердловск: Ин-т Уралмеханообр, 1985. 84 с.
6. Шаповалов А.Н., Овчинникова Е.В., Майстренко Н.А. Качество подготовки агломерационной шихты к спеканию в условиях ОАО «Уральская сталь» // Теория и технология металлургического производства. - 2014. № 1 (14). - С. 6-9.
7. Шаповалов А.Н., Овчинникова Е.В., Майстренко Н.А. Повышение качества подготовки агломерационной шихты к спеканию в условиях ОАО «Уральская Сталь» // Металлург. - 2015. - №3. - С.30-36.
8. Повышение эффективности процесса агломерации при окомковании шихты с использованием ПАВ /Майстренко Н.А., Овчинникова Е.В., Шаповалов А.Н., Берсенев И.С. // Сталь. - 2016. - №1. - С.12-15.
9. Уваров В.В. Оценка эффективности различных способов подогрева агломерационной шихты для условий АО «Уральская Сталь» // Технологии металлургии, машиностроения и материалобработки. - 2017. - № 16. - С.4-10.

#### Сведения об авторах

**Шаповалов Алексей Николаевич** - канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой металлургических технологий и оборудования, Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС». г. Новотроицк, Россия. E-mail: alshapo@misis.ru

#### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

#### THE USE OF HEAT OF A SINTER CAKE FOR PREHEATING A SINTER MIX

**Shapovalov Alexey Nikolaevich** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Head Department of metallurgical technologies and equipment, Novotroitsk branch of NUST "MISIS". Novotroitsk, Russia. E-mail: alshapo@misis.ru

**Abstract.** The data of experimental-industrial application of a recuperative water heater for the water heating, which supplied to the pelletizer under the conditions of the sintering machine No. 1 of JSC «Ural Steel» are presented. For heating of water in the experimental water heater uses the heat radiated from the surface of the sintering mixture. The dynamics of the sinter mix temperature during the technological stages of its preparation from pelleting to loading on pallets was studied, depending on a water temperature change during pelletizing.

It was defined that for the conditions working of the sintering machine No. 1 of JSC «Ural Steel» the water temperature increase which supplied of the pelletizer to moistening, for every 10 °C, facilitates an increase in the temperature of the sinter mix on the pallets by 1.5-1,6 °C.

For the stable sinter mix production with a temperature of more than 55 °C, it is necessary to use water supplied to the pelletizer for moistening, with a temperature of at least 85°C. To implement the proposed technology, it is necessary to equip the sinter machines with water-heating recuperative heater, installed above the sintering machine behind the ignition hood and using heat, radiated from the surface of the sinter cake.

**Keywords:** pelletizing, sinter mix, sinter mix temperature, sinter cake, water heater.

#### Ссылка на статью

Шаповалов А.Н. Использование тепла аглоспека для дополнительного подогрева агломерационной шихты // Теория и технология металлургического производства. 2018. №4(27). С. 32-36.

Shapovalov A.N. The use of heat of a sinter cake for preheating a sinter mix. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2018, vol. 27, no. 4, pp.32-36.

