

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. ректора Государственного  
образовательного учреждения выс-  
шего образования  
Луганской Народной Республики  
«Донбасский государственный  
технический институт»  
канд. техн. наук, профессор



С.В. Куберский

« 17 » ноября 2020 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Асламовой Яны Юрьевны на тему «Обоснование параметров слоя высокоофлюсованной шихты и технологии его формирования на агломерационной машине», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

### Актуальность для науки и практики

*Актуальность темы* заключается в следующем.

В условиях постоянных изменений сырьевой базы для производства кокса и железорудного сырья возрастает актуальность решения проблемы повышения качества твердого топлива и улучшения металлургических свойств железорудной части доменной шихты, позволяющих достичь высоких технико-экономических показателей работы доменных печей.

В современных условиях металлургических предприятий увеличивается доля низкоосновных окатышей в доменной шихте и с целью вывода из нее сырого известняка получило широкое распространение применение высокоосновного агломерата основностью по отношению  $\text{CaO}$  к  $\text{SiO}_2$  более 1,6 усл. ед.

В области производства высокоосновного агломерата проведено большое количество научных исследований, в которых изучались особенности его спекания из различных шихт, металлургические свойства полученного железорудного материала, поведение агломерата в доменной печи и его влияние на технико-экономические показатели плавки. При этом особенностям формирования слоя шихты по высоте и ширине спекательной тележки достаточного внимания не уделено.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Вх. № 167/230  
« 03 » 12 2020 г.



На основании выше сказанного обоснование параметров слоя высокоофлюсованной шихты и разработка технологии его формирования на агломерационной ленте с целью повышения качества агломерата и увеличения производительности агломашины, являются актуальными для науки и практики.

## **Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

*Основные научные результаты, полученные автором:*

1. Получили дальнейшее развитие представления о распределении гранулометрического состава высокоофлюсованной шихты по ширине загрузочной воронки бесчелнокового загрузочного устройства и, соответственно, по ширине агломашины. Показано, что в загрузочной воронке агломашины происходит нежелательная сегрегация шихты по двум, относительно поперечной оси воронки, наклонным криволинейным поверхностям, сформированным окомкованной полидисперсной шихтой при её перегрузке из барабана-окомкователя в центр загрузочной воронки. Содержание фракций более 5 мм в шихте у боковых стенок загрузочной воронки на 55-60% (отн.) выше, чем в центре. Зависимость расчётного изменения газодинамического сопротивления слоя шихты высотой 350 мм по ширине воронки представляет собой подобие выпуклой параболы. Экспериментально установлено, что структура слоя, образовавшегося в загрузочной воронке, синхронно передается на агломашину, что ведет к формированию на ней слоя, газопроницаемость которого в направлении от центра к периферии увеличивается минимум на 12-15%.

2. Получили дальнейшее развитие представления о механизме выравнивания скорости спекания высокоофлюсованной шихты по ширине агломашины за счёт выравнивания газодинамического сопротивления слоя шихты по его ширине. Плавное увеличение высоты слоя от 350-380 мм в центральной зоне агломашины до 400-430 мм у её бортов обеспечивает формирование слоя с вогнуто-параболической поверхностью, благодаря чему удельное газодинамическое сопротивление прибортовой части слоя шихты увеличивается на 400-500 Па/м и приближается к значению газодинамического сопротивления слоя центральной зоны. Вертикальная скорость спекания в прибортовой зоне агломашины уменьшается на 5,0-5,5 мм/мин, обеспечивая, вместе с тем, общее увеличение скорости процесса спекания. Происходит рациональное перераспределение всасываемого воздуха по ширине спекаемого слоя шихты на агломашине.

3. Получили дальнейшее развитие представления о влиянии насыпной плотности верхнего горизонта слоя высокоофлюсованной шихты на параметры процесса спекания и прочность агломерата. Показано, что при рациональном увеличении насыпной плотности на 150-160 кг/м<sup>3</sup> удельный расход тепла на зажигание топлива шихты сокращается на 7,0-7,5%, изменение скорости фильтрации газа по ширине слоя при спекании не превышает 0,05-0,07 м/с, темпера-



тура отходящих газов в конце зоны спекания по ширине агломашины отличается не более чем на  $50^{\circ}\text{C}$ . Содержание в агломерате фракции менее 5 мм сокращается на 1,0-1,5% (абс.).

4. Получили дальнейшее развитие представления о влиянии скорости фильтрации газов и, следовательно, скорости спекания шихты на прочность высокоосновного агломерата. При аномально низкой скорости спекания шихты 8-9 мм/мин содержание фракции менее 5 мм в агломерате основностью 2-5 абс. ед. может достигать 12,8-17,5%. Объясняется это улучшением газодинамического режима спекания, при котором даже при замедленном горении топлива обеспечивается уровень температур  $1200-1230^{\circ}\text{C}$ , достаточный для плавления высокоофлюсованной шихты. Замедление в два раза скорости фильтрации газов увеличивает время пребывания расплава при высоких температурах, способствует более полному переходу расплава в спек, снижению межфазовых напряжений и, в итоге, уменьшению содержания в агломерате фракции менее 5 мм на 1,0-1,5% (абс.).

5. Получили дальнейшее развитие представления о сегрегации твёрдого топлива в слое высокоофлюсованной шихты при её загрузке на агломашину. Установлено, что степень сегрегации твёрдого топлива шихты в верхние горизонты слоя возрастает на 0,2-0,3% (абс.) по мере повышения основности шихты на 1,0-1,5 абс. ед. от исходной 1,3-1,4 абс.ед. Это, в частности, обусловлено увеличением в шихте в 1,5-2,5 раза массовой доли частиц известняка, которые по сравнению с частицами твёрдого топлива обладают большей плотностью, массой и скоростью движения по плоскости загрузочного лотка к откосу формируемого на агломашине слоя шихты.

*Значимость для науки результатов исследований заключается в том, что:*

1. Выявлены причины и определены зоны слоя с неравномерным распределением скорости спекания высокоофлюсованной шихты на агломашине площадью спекания  $62,5 \text{ м}^2$ . Неблагоприятный характер сегрегации высокоофлюсованной шихты в загрузочной воронке приводит к неравномерному спеканию шихты по ширине слоя на агломашине.

2. Показано, что предложенный в работе способ формирования слоя позволяет выровнять скорость спекания шихты по ширине агломашины путём плавного увеличения высоты слоя в периферийных зонах и придания профилю слоя такой формы, которая соответствует кривой, отражающей изменение газодинамического сопротивления слоя шихты по ширине загрузочной воронки.

3. Обоснована возможность получения в агломерационном цехе Енакиевского металлургического завода (ЕМЗ) достаточно прочного агломерата основностью 2-5 абс. ед. при низкой скорости спекания. При малой скорости фильтрации газов, медленном горении топлива в слое достигаются температуры и продолжительность процессов, которые являются достаточными для плавления высокоофлюсованной шихты и более полной кристаллизации расплава при



медленном его охлаждении, что снижает внутренние напряжения в спеке и способствует повышению прочности агломерата.

*Практическое значение результатов работы* определяется в следующем:

1. Разработаны и переданы ЕМЗ рекомендации по совершенствованию технологии загрузки высокоофлюсованной шихты на агломашину, направленные на обеспечение формирования слоя с рациональными технологическими параметрами.

Суть рекомендаций состоит в следующем:

а) формирование на агломашине слоя с вогнутопараболической поверхностью, высотой в центральной зоне 350-380 мм и плавным увеличением высоты в направлении бортов на 50-70 мм;

б) создание условий для сегрегации шихты, обеспечивающей рациональное распределение по высоте слоя грансостава, твёрдого топлива и основности;

в) уплотнение верхних горизонтов и заглаживание поверхности слоя шихты с целью рационального увеличения её насыпной плотности на 150-160 кг/м<sup>3</sup> и повышения прочности верхней части аглоспека.

Внедрение рекомендаций на ЕМЗ позволяет сократить расход твёрдого топлива на процесс спекания на 3-5 кг/т агломерата, снизить содержание в агломерате фракции менее 5 мм на 1-2% (абс.); возможно повышение производительности агломашин на 7-10%. Ожидаемый экономический эффект составляет 11,35 млн. руб./год. Долевое участие соискателя – 5%, то есть 567,5 тыс. руб.

2. Разработана усовершенствованная конструкция и обоснованы параметры элементов загрузочного комплекса шихты на агломашину. Предусмотрены установка в барабане-окомкователе направляющих элементов, оснащение загрузочной воронки качающимся распределителем шихты; применение двухступенчатого загрузочного лотка модернизированной конструкции и специальной гладилки, что в совокупности обеспечивает формирование слоя с заданными рациональными параметрами и достижение необходимых показателей процесса спекания.

3. На основе статистической обработки данных о показателях работы агломашин получены эмпирические уравнения для прогнозирования содержания фракции менее 5 мм в агломерате.

4. Научные результаты, полученные в диссертационной работе, используются в курсе «Технология подготовки железорудного сырья» при подготовке магистров по направлению подготовки 22.04.02 «Металлургия», магистерская программа «Металлургия чугуна».



## Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в диссертационной работе результаты могут быть в дальнейшем использованы для производства высокоосновных агломератов, в том числе при повышенном содержании в составе шихты железосодержащих отходов металлургических предприятий, что актуально при существующем дефиците железорудного сырья.

Внедрением выполненных разработок могут быть заинтересованы металлургические предприятия, в состав которых входят агломерационные цеха, имеющие агломашины, оборудованные системой загрузки агломерационной шихты на спекательные тележки аналогичной системе применяемой на ЕМЗ.

### Общие замечания

1. Автор считает, что резкое ослабление интереса и отказ от некогда популярной двухслойной загрузки шихты на агломашинах АКМ 312 явилось следствием выводов, подтверждающих ее невысокую эффективность по сравнению с однослойной загрузкой, в действительности же это явилось следствием увеличения доли низкоосновных окатышей в доменной шихте и переходом на производство высокоосновного агломерата.

2. Нельзя согласиться с утверждением автора, что отсутствуют примеры успешного преодоления такой неравномерности распределения и спекание шихты по ширине агломашины. За полувековой опыт производства высокоосновного агломерата на многих аглофабриках исследовались условия спекания агломерата и внедрялись устройства и технологии для улучшения условий спекания агломерата у бортов спекательных тележек.

3. К вопросу о распределении фракции менее 0,5 мм топлива по гранулам шихты и его крупности надо относиться с осторожностью, так как данные различных исследований противоречивы.

4. В автореферате отмечается, что характер формирования слоя высокоофлюсованной шихты в загрузочной воронке и газодинамические свойства слоя шихты изучались по общеизвестным методикам. Однако такие методики отсутствуют, поэтому в диссертации приводятся методики, разработанные автором.

5. Прочность агломерата в работе оценивается по содержанию фракции менее 5 мм в агломерате. По сути этот показатель обратный выходу годного и не может характеризовать прочность агломерата. О малой информативности содержания фракции менее 5 мм в агломерате свидетельствуют данные корреляционного анализа, представленные автором и иллюстрируемые графиками рис. 3.1 и 3.2. В связи с этим уравнения (3.3) и (3.4) не могут использоваться для прогнозирования прочности агломерата.

6. В табл. 4.2 приведен гранулометрический состав аглошихты до и после окомкования, в котором видно, что снижение фракции 0–3 мм на маши-



нах №№ 1, 2, 4 в результате окомкования составляет около 5, 7 и 3 % соответственно, и только на машине № 3 — 30 %. Однако в шихте обычно до окомкования содержание фракции размером менее 0,5 мм составляет 60–70 %, из которых 70–80 % и более расходуется на укрупнение фракционного состава шихты. Согласно данным табл. 4.2 окомкование отсутствовало практически полностью.

7. По приведенным в работе результатам окомкования агломерационной шихты вывод «о достаточных возможностях обеспечения необходимой газопроницаемости известкованной шихты в целях реализации процесса ее высокослойного спекания» сделать нельзя.

8. Согласно данным табл. 4.7 разница значений эквивалентного диаметра составляет не более 0,2 мм. Кроме того, на газодинамическое сопротивление слоя оказывает влияние порозность слоя, а не его насыпная плотность. Это дает повод для сомнений в правильности моделирования газодинамических условий в разных зонах спекательных тележек.

9. В работе предложена заслуживающая внимания оригинальная схема загрузочного комплекса шихты. К сожалению, даже на модели распределение материала по крупности оценено только визуально. Это не позволяет рекомендовать указанную схему для внедрения на других аглофабриках, в том числе и на тех, где загрузка бункеров осуществляется челноковыми распределителями шихты.

## Заключение

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой решены следующие актуальные научно-технические задачи, имеющие важное хозяйственное значение:

1. Определены закономерности распределения гранулометрического состава шихты по ширине загрузочной воронки и агломашины.
2. Выполнен анализ особенностей технологии спекания высокоофлюсованной шихты, в том числе с изменяемой насыпной плотностью.
3. Разработаны рекомендации для проектирования модернизированной конструкции загрузочного устройства и совершенствованию технологической операции загрузки шихты.
4. Разработан усовершенствованный технологический регламент регулирования (выравнивания) скорости спекания шихты по ширине агломашины.

Работа отвечает требованиям п. 2.2 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов (технические науки).

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Металлургия черных металлов» Государственного образовательного учреждения высшего образования Луганской Народной Республики «Донбасский государственный технический институт» «17» ноября 2020 г., протокол № 11.

Кандидат технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных и цветных металлов и специальных сплавов», доцент, доцент кафедры «Металлургия черных металлов» Государственного образовательного учреждения высшего образования Луганской Народной Республики «Донбасский государственный технический институт».

  
 \_\_\_\_\_ Диментьев Александр Олегович  
 подпись


94204, Луганская Народная Республика, г. Алчевск, пр. Ленина, 16  
 тел.: +38 (06442) 2-82-24  
 эл. почта: kaf.mchm.dongtu@yandex.ru

Я, Диментьев Александр Олегович, согласен на автоматизированную обработку персональных данных приведенных в этом документе \_\_\_\_\_  
 подпись

Подпись Диментьева Александра Олеговича подтверждаю:

Помощник ректора  
 по кадровой работе



  
 \_\_\_\_\_ Ткаченко Л.В.  
 подпись