

## ПОДГОТОВКА И СПЕКАНИЕ МЕЛКОФРАКЦИОННОГО ОКИСНО-ЗЕРНИСТОГО МАРГАНЦЕВОГО КОНЦЕНТРАТА

*Проведено аналіз існуючих методів огрудкування дрібнодисперсних концентратів. Результати дослідження міцності дослідних спеків підтверджують позитивний вплив заміни частини коксика торфом при спільному введенні в вихідну шихту перед огрудкуванням тонкодисперсних марганцевих концентратів. Торф виконує функцію сполучного компонента. Підвищення показників процесу і металургійної цінності агломерату обумовлено зміною механізму спікання. Це пов'язано з різною реакційною спроможністю вуглецю коксика і паливних складових теплової деградації торфу. Використання торфу призводить до розширення зони високотемпературного спікання і до утворення оптимальної кількості рідкої оксидної фази, яка бере участь у створенні досить міцного спека.*

*Ключові слова: огрудкування, спікання, марганцевий концентрат, сполучне.*

*Проведен анализ существующих методов окомкования мелкодисперсных концентратов. Результаты исследования прочности опытных спеков подтверждают положительное влияние замены части коксика торфом при совместном вводе в исходную шихту перед окомкованием тонкодисперсных марганцевых концентратов. Торф выполняет функцию связующего компонента. Повышение показателей процесса и металлургической ценности агломерата обусловлено изменением механизма спекания. Это связано с различной реакционной способностью углерода коксика и топливных составляющих тепловой деградации торфа. Использование торфа приводит к расширению зоны высокотемпературного спекания и к образованию оптимального количества жидкой оксидной фазы, участвующей в создании достаточно прочного спека.*

*Ключевые слова: окомкование, спекание, марганцевый концентрат, связующее.*

*The analysis of existing methods for pelletizing fine concentrates. The results of the study confirm the strength of experienced specs positive impact of the replacement of peat coke fines when co-administered in the initial charge before the pelletizing of fine manganese concentrates. Peat performs the function of a binder component. Improving the process parameters and metallurgical value of agglomerate due to changes in the sintering mechanism. This is due to the different reaction of carbon coke fines and the ability of the fuel components of the thermal degradation of peat. The use of peat leads to expansion of the high temperature sintering zone and to form an optimum amount of liquid oxide phases involved in the creation of a sufficiently strong cake*

*Keywords: pelletization, sintering, manganese concentrate, binder.*

### Постановка проблемы

Для современного производства марганцевых ферросплавов характерно использование различных видов марганецсодержащего сырья, которое имеет сложный минералогический состав. Наличие в них карбонатов, непрочных оксидов, гидратной и кристаллизационной влаги приводит к протеканию эндотермических реакций, что вызывает повышенный расход теплоты и рост потребления электроэнергии в процессе выплавки.

Снижение качества добываемой руды и вовлечение в производство карбонатных руд потребовало от обогатителей перехода к более глубокому обогащению марганцевого сырья, что связано с их значительным измельчением. Тонкие концентраты флотационного и магнито-гравитационного обогащения имеют мелкий гранулометрический состав, что требует предварительно их окусковывать тем или иным способом [1, 2].

Для современных электропечей, выплавляющих ферромарганец, доля использования которого в производстве стали составляет около 45-48%, требуется хорошо подготовленное окускованное сырье. Вопросы технологии окускования тонкодисперсных марганцевых концентратов и других техногенных материалов в литературе рассмотрены недостаточно полно, что, по-видимому, и является причиной их ограниченного использования. Повышение степени использования тонкодисперсных марганцевых концентратов ограничено снижением прочности сырых окатышей после проведения предварительного окомкования всех компонентов исходной аглошихты. Образование прочных гранул в процессе окомкования определяется рядом одновременно действующих факторов. Прежде всего, это гранулометрический состав материала и его химико-минералогическая характеристика. Опыт показывает, что эффективная работа печей, производящих ферромарганец и силикомарганец достигается при использовании однородного по размеру сырья. Сырье должно обладать хорошей газопроницаемостью по всей поверхности колоши шихты.

Особенно нежелательными в шихте являются тонкоизмельченные фракции, которые снижают пористость шихты, что приводит к увеличению энергопотребления на тонну сплава, повышенному задымлению и запылению. В связи с этим, у производителей предпочтение имеют кусковая и агломерированная руды. Тонкоизмельченные фракции преимущественно агломерируются путем спекания. Теория спекания, применяемая к железным рудам, может быть использована и для марганцевых руд [3].

#### **Актуальность исследования**

Агломерация заняла одно из ведущих мест среди известных способов окускования, что основывается на низкой стоимости передела. Использование марганцевого агломерата в шихте электропечей изучалось многими авторами и имеет экономическую целесообразность. Положительный опыт использования агломерата в процессах производства электроферросплавов имеет и недостатки. При транспортировке и многочисленных перегрузках агломерат образует значительное количество мелочи, что ухудшает работу электропечей. В некоторых работах отмечают также низкую температуру плавления агломерата и важность удельного электросопротивления шихт из окускованного марганецсодержащего материала. Увеличение прочности агломерата является одним из важных его свойств, а кроме того, он должен обладать рациональными величинами

основности, восстановимости, температур размягчения. Такой набор его свойств определяет поведение агломерата в ферросплавной печи.

Опыт производства железорудного агломерата показывает, что температурный режим спекания определяет возможность получения агломератов с различным содержанием кристаллических и стекловидных фаз. Кристаллические минералы обладают повышенной механической прочностью и восстановимостью по сравнению со стеклами подобного химического состава. Соотношение кристаллических материалов и стекол будет влиять на металлургические свойства агломерата. На свойства агломерата влияет и также ввод различных флюсующих добавок, и при этом получают агломераты с отличающимися физико-химическими свойствами. Поэтому в работе ставилась задача установления связи технологических параметров получения агломерата в зависимости от вида флюса, основности и температурных режимов спекания.

### Анализ литературных данных

Снижение производительности агломерационных машин и увеличение расхода топлива, наблюдаемое при использовании в качестве одного из компонентов мелкодисперсного марганцевого концентрата, в основном, вызвано нестабильностью окомкования аглошихты. Это приводит к уменьшению порозности слоя предварительно окомкованной аглошихты. Достижение рациональной порозности определяет энергозатраты для создания заданных скоростей фильтрации газов, удельную поверхность теплообмена в слое и во многом - успешное протекание агломерационного процесса [3, 4]. Эти важные, с точки зрения организации интенсивного спекания, параметры определяются совместным влиянием таких характеристик аглошихты, как ее влажность, соотношение количеств комкующей и комкуемой фракций, вид и количество связующего, а также их физическими свойствами [3, 5, 6].

Для марганцевых руд характерен ряд особенностей состава и строения, влияющих на их качество и поведение в слое спекаемого материала, куда они входят в качестве одного из компонентов исходной шихты. Это связано со сложным полиминеральным составом руд, присутствием в них минералов как непрерывных, так и дискретных изоморфных рядов, нередко высокой дисперсностью рудных минералов и различными формами присутствия в руде вредных примесей, прежде всего фосфора [1]. Снижение качества агломерата обусловлено изменением химического, минералогического и гранулометрического состава марганцевых концентратов.

Особенностью процесса агломерации марганцевых руд является то, что оксиды, присутствующие в исходной руде ( $MnO_2$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $Mn_3O_4$ ), являются непрочными и их восстановление, как показывают расчеты термодинамических характеристик, начинается при невысоких температурах. Однородный по химическому составу и прочности агломерат

может быть получен только при точной дозировке и при тщательном перемешивании компонентов шихты.

**Актуальность исследований окомования тонкодисперсных материалов**

Скорость горения углерода в слое шихты, зависящая от удельной интенсивности подачи в зону горения кислорода, которая, в свою очередь, определяется газопроницаемостью спекаемого слоя, в значительной степени зависит от прочности сырых окатышей. Повышение этого показателя может быть достигнуто путем ввода в исходную шихту эффективного связующего. Эти факторы, а также крупность исходных частиц и их физико-химические свойства, состав, вид топлива и его количество, в значительной степени определяют температуры размягчения и плавления частиц минеральной основы шихты, количество жидкой фазы и время ее существования и в итоге прочность готового агломерата и производительность агломашины.

Известно, что процесс формирования сырого окатыша зависит от многих факторов: пластических свойств смеси, ее дисперсности и гранулометрического состава, влажности, вида связующих добавок и др. [3-6]. Увеличение доли тонкодисперсных концентратов возможно на основе дальнейшего экспериментального изучения физико-химического взаимодействия тонкоизмельченных частиц с другими компонентами исходной аглошихты, установления особенностей формирования окатыша при введении в состав шихты различных связующих. Эти процессы определяют механическую прочность сырых окатышей и в итоге спеченного агломерата.

В узкой высокотемпературной зоне горения, которая инициируется сжиганием топлива в поверхностном слое, температура поверхности оксидных частиц системы ( $Mn_xO_y - CaO - SiO_2 - Fe_xO_y$ ) вначале достигает температуры их размягчения и в дальнейшем плавления, что приводит к образованию вязкой шлаковой фазы. Дальнейшее «связывание» частиц происходит за счет роста зерен и дальнейшего разжижения шлака на их поверхности. Выделение летучих веществ из топлива и флюса, на что указано в [4], обеспечивает пенистое состояние жидкой оксидной фазы, которое переходит в твердое за счет резкого охлаждающего эффекта поступающего воздуха. Получаемая при этом продукция представляет собой ячеистую массу руды, связанную в шлаковой матрице.

Использование тонкодисперсного марганцевого концентрата 2 сорта в исходной шихте промышленных спеканий, в связи с практически нулевой смачиваемостью водой концентрата и частиц коксика, приводит к значительному разрушению сырых окатышей с образованием мелочи, что существенно снижает газопроницаемость спекаемого слоя, производительность спекательной машины, а в некоторых случаях приводит к затуханию процесса [7].

Различно мнение специалистов о выборе оптимальной основности агломерата. Основность неофлюсованных агломератов, полученных из

концентратов окисных марганцевых руд, сохраняется на уровне природной и находится в пределах 0,1-0,2. Для улучшения условий их восстановления при выплавке ферросплавов и в технологии прямого легирования стали марганцем, основность ( $\text{CaO}+\text{MgO}/\text{SiO}_2$ ) повышают путем ввода значительного количества добавок шлакообразующих, например, извести до значений 1,3-2,5. При прямом легировании стали это приводит к разрушению прочных соединений  $\text{SiO}_2$  с оксидами марганца в марганцеворудных материалах, повышению активности марганца и ускорению процесса его восстановления. Однако повышение содержания  $\text{CaO}$  для получения материала с такой основностью приводит к увеличению расхода электроэнергии, например, добавка 7 кг извести на одну тонну стали снижает температуру металла в сталеразливочном ковше на 15С [8].

Увеличение в исходной шихте доли концентрата тонкодисперсной фракции определяется из условий получения достаточно прочного, хорошо восстановимого агломерата, оптимизированного по количественному и качественному составу. В производственных условиях это может быть достигнуто за счет одновременного ввода в исходную аглошихту карбонатного и оксидного сырья в оптимальном их соотношении, обеспечивающем получение агломерата основностью  $\leq 1,0$  при минимальном количестве свободной  $\text{CaO}$  [9]. Повышение основности агломерата, до величин значительно превышающих природную активность карбонатных руд, не дает положительных результатов при выплавке ферромарганца, так как агломерат с основностью более 1,4 самопроизвольно рассыпается на воздухе в течение нескольких суток, а свежий агломерат полностью разрушается уже в загрузочных воронках электропечи [10].

#### **Экспериментальные спекания марганцевого агломерата**

С целью обоснования рационального количественного и качественного состава аглошихты и определения их влияния на прочность сырых окатышей, оптимизации технологических параметров спекания шихты с добавками тонкоизмельченных концентратов и альтернативных видов топлива исследованы влияние вида связующего материала на прочность сырых окатышей, особенности спеканий опытных шихт и скоростные показатели процесса агломерации, а также прочностные показатели опытных спеков.

#### **Оценка нового связующего в процессах окомкования**

Основным методом гранулирования марганцевого сырья является окатывание, при котором происходит формирование гранул в процессе их агрегации или послойного роста с последующим уплотнением структуры. Перед проведением исследований, с целью обоснованного выбора наиболее эффективных связующих, увеличивающих слипаемость частиц исходных компонентов шихты и повышающих прочность сырых окатышей, проанализированы результаты многочисленных исследований по теории и

практике окомкования тонкоизмельченных рудных и других материалов. В исследованиях [5, 6, 11-14] рассмотрены требования к наиболее часто используемым связующим (бентонит, гашенная известь, каолин и др.), которые обеспечивают достаточную технологическую прочность сырых окатышей перед спеканием, проанализированы их достоинства и недостатки. Интересным, с точки зрения своей многофункциональности, является использование предварительно подготовленного торфа [15].

Известно [5, 15-17], что растворимые гуматы обеспечивают высокую прочность гранул. Их нахождение в слое мелкозернистого материала способствует образованию коагуляционной структуры, лучшей уплотняемости и возрастанию прочности гранул. Это обусловлено коллоидными свойствами гуматов и равномерностью распределения в гранулируемом материале, что положительно отличается от использования бентонита и трудностями его равномерного перемешивания.

Введение этого материала, для которого характерно минимальное содержание вредных примесей, в качестве одного из компонентов аглошихты, приведет к некоторому увеличению прочности сырых окатышей, позволит заменить часть коксика, использовать при этом энергетический потенциал торфа (углерода и горючих газов) и повысить металлургическую ценность агломерата. Кроме того, при оптимальном количестве связующих 5 – 10%, вводимых в состав исходной шихты, они должны соответствовать и другим не менее важным требованиям: обладать высокими адгезионными свойствами, определяющими прочность сцепления частиц. Это обеспечивает достаточную холодную прочность при указанных расходах связующего; быструю схватываемость компонентов шихты; вносит минимальное количество вредных, балластных и других примесей; не ухудшает условий спекания аглошихты. Торф достаточно распространенный материал, обладает невысокой стоимостью и не требует сложных приемов и операций по его подготовке к использованию.

На тарельчатом лабораторном грануляторе проведено окомкование исходной аглошихты следующего состава: концентрат (-1 мм) - 1400 г; возврат (5-10 мм) - 400 г; марганцевая руда (0-10 мм) - 350 г; топливо (коксик + антрацит) - 250 г. При окомковании использовали ряд известных связующих. Их количества, вводимые сверх 100% шихты без учета воды, составляли около 8%. При проведении ряда опытных спеканий использовали торф гидрооксидный [3, 13], взамен части коксика. Перед окомкованием предварительно перемешанной аглошихты вводили сверх 100% шихты 100 г воды.

При изучении влияния на прочность сырых окатышей выбранных видов связующих при постоянном соотношении коксик/торф (1,6:1,0) установлено, что наиболее крупные частицы исходной шихты (кусочки марганцевой руды +10 мм) при грануляции являлись наиболее вероятными центрами их окатывания другими, более дисперсными, компонентами исходной шихты. Это привело к значительному разбросу окомкованного

материала по фракционному составу с преобладанием мелкой фракции, что могло бы привести к уменьшению порозности слоя спекаемой шихты и снижению показателей процесса агломерации. Поэтому в дальнейшем для улучшения условий накатывания исходных компонентов и более равномерного их распределения в окатышах (кокшика, торфа, тонкодисперсного концентрата и связующего) использовали фракцию (+8 мм). Исследование прочности опытных окатышей показало следующее. Прочность окатышей-сырцов после суточной выдержки на воздухе (+15С) определяли методом сбрасывания с высоты 300 мм 5-8 раз [13].

Степень окомкования марганцевых концентратов 2-го сорта по обычной технологии при дополнительном увлажнении составляет 1,62, а прочность гранул менее 1 кг/на образец. Спекания такого материала практически не происходит, что ограничивает возможности их использования в шихте для агломерации.

Нами установлено, что ввод реагента торфгидроксидный в количестве 5% повысил степень окомкования с 1,62 до 3,27. При окатывании на тарельчатом грануляторе с диаметром тарелки 3 м с частотой вращения 12 об/мин была достигнута производительность 1,0-1,2 т/ч с получением прочных окатышей. Гранулы были высушены в обычных условиях в течении 12 часов, что повысило их прочность и целостность при перегрузках.

В лабораторных условиях НМетАУ реагент торфгидроксидный испытан при получении агломерата из шихты, содержащей концентрат 2-го сорта обогащения марганцевой руды. Шихта для агломерации состояла: концентрат 2-го сорта - 73,53%; кокшик - 7,35%; РТГ (реагент торфгидроксидный) - 4,41%; возврат - 14,71%. Спекание производили при следующих условиях: высота слоя шихты - 300мм; разрежение - 1000 мм вод.ст.; время зажигания - 1,5 мин.; температура зажигания - 1220<sup>0</sup>С; время спекания - 14,5 мин.; максимальная температура спекания - 1360<sup>0</sup>С; усадка - 80 мм. Качество полученного агломерата: выход годного - 81,3%; прочность на удар - 3,0%; прочность на истирание - 1,5%; химический состав готового агломерата: Mn<sub>общ</sub> - 28,72%, S - 0,211, C - 0,91%. При использовании в качестве связующего других материалов (ССБ, раствор муки, бентонит и др.) высоких показателей механической прочности и повышения содержания Mn<sub>общ</sub> не отмечено.

Морфологический анализ спеченной смеси и исходных компонентов проводили с помощью растрового электронного микроскопа NeoScope II (фирмы Jeol, Япония) в режиме высокого вакуума при ускоряющем напряжении 15 кВ. Режим наблюдения - secondary electron image (вторичные электроны). Характерный вид структур смеси до спекания и после спекания показан на рис. 1 и 2.

Как видно из рис. 1 торф достаточно равномерно распределяется между зернами исходной шихтовой смеси и создает условия для окомкования мелкокристаллических фракций концентрата 2 сорта.

Согласно результатам фрактографического анализа выявлена тонкая структура излома спеченного образца (рис. 2).

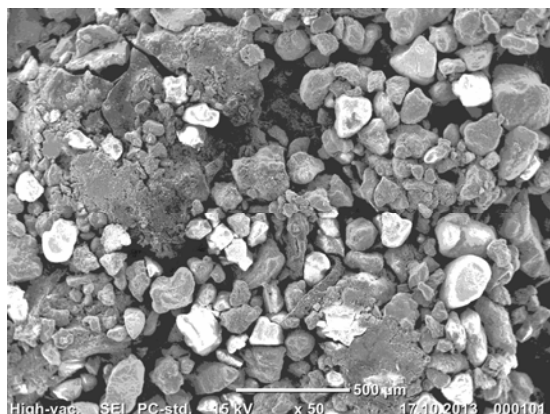


Рисунок 1 – Структура шихтовой смеси для агломерации до спекания: x24

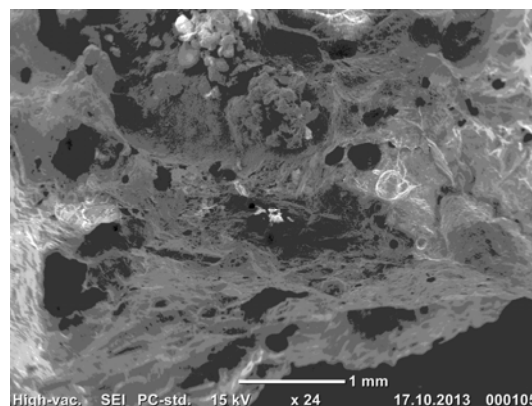


Рисунок 2 – Структура спеченной смеси: x24

Структура поверхности разрушения характеризуется ямочным микростроением. Характерный рельеф образуется совокупностью отдельных фасеток. Такое строение объясняется тем, что при достижении предельных состояний в локальных объемах на участках, представляющих собой препятствия для непрерывности деформации, зарождаются микропустоты. По мере увеличения напряжений микропустоты растут, сливаются, что приводит к полному разрушению с образованием на изломе углублений в виде ямок, соединенных между собой перемычками. Различный размер ямок свидетельствует о разном зернистости структуры, которая напрямую связана с различной дисперсностью исходных материалов смеси. Следует ожидать, что сближение частиц, увеличение межчастичных контактов компонентов, достигаемые при окомковании исходной аглошихты, приведет к активизации их взаимодействия при спекании.

#### Спекание опытного марганцевого агломерата.

При проведении опытных спеканий агломерата с использованием отсева обогащения марганцевой руды (-1мм) и марганцевой руды (0-10) при их соотношении 4:1, при введении в аглошихту торфа и смеси (коксык + антрацит) в соотношении (1:1,55) получены следующие результаты.

Для варианта с использованием торфа гидрооксидного, установлено образование двух зон спекания. Опережающее развитие (продвижение) первой зоны спекания, очевидно, обусловлено более высокой реакционной способностью пироуглерода, образующегося в процессе тепловой деструкции торфа активированного при данном соотношении видов топлива и их фракционного состава.

Подобный эффект впервые был обнаружен авторами работы [12], который, по их мнению вызван увеличением расхода углерода,



приводящим при общем снижении вертикальной скорости спекания к более быстрому перемещению зоны высоких температур и ее отрыву от зоны горения топлива. Нами установлено, что вторая зона спекания, образующаяся при горении углерода кокса одновременно с первой, отстает от нее в своем скоростном развитии.

Экспериментально установлено, что в более скоростной по своему развитию зоне максимально достигаемые температуры на 50 - 60С ниже, чем в отстающей более высокотемпературной зоне. Это приводит к образованию между ними «буферной» достаточно высокотемпературной зоны подогрева шихты, располагающейся ниже зоны горения основной массы углерода кокса. Следствием является изменение механизма физико-химических превращений, существенно отличающегося от процессов, характерных для спекания при введении в аглошихту только одного вида топлива – коксика.

При использовании такой доли торфа в общем количестве топлива механизм спекания обусловлен превращениями в двух характерных и «буферной» зонах. Установлено, что каждый элементарный слой шихты при его спекании подвергается последовательной тепловой обработке вначале в более низкотемпературной зоне, нагревающей его до температуры размягчения, и в дальнейшем (с незначительным отставанием, обусловленным, в основном, различной реакционной способностью восстановителей) в более высокотемпературной зоне. С учетом расширения общей зоны спекания оксидного материала, для которого характерны достаточно высокие температуры размягчения (~ 1200С), образуется достаточное количество жидкой оксидной фазы, которая за более длительное время своего существования полнее обтекает кусочки нерасплавившейся шихты. В последующем, после интенсивного охлаждения потоком просасываемого воздуха, это привело к увеличению прочности спека. Установленное повышение пористости агломерата на 5-7%, очевидно, объясняется выделением пирогазов, образующихся при тепловой деструкции торфа, горение которых ускоряется благодаря наличию в составе торфа собственного кислорода.

Можно предположить, что изменением соотношения торф/коксик, можно регулировать протяженность буферной зоны, увеличивая или уменьшая опережение первой зоны, где происходит размягчения шихты. При определенной, минимальной доле торфа следует ожидать наложение двух зон. В этом случае спекание будет происходить в одной общей термической зоне. Этот эффект, вероятно, может быть достигнут и при уменьшении фракционного состава коксика (до пределов, не снижающих прочность сырых гранул и доставку кислорода к «закомкованному» углероду), что приведет к выравниванию реакционной способности обеих видов топлива.

Следует отметить, что образование двух зон позволит более эффективно провести удаление серы. В опережающей зоне, где достигаются

более низкие температуры и где происходит сгорание пирогазов и только части углерода коксика, возникает более окислительная атмосфера. В этой зоне создаются более благоприятные, с точки зрения термодинамики, условия для удаления сульфидной серы, а в другой с более высокими температурами – для перевода в газовую фазу сульфатной серы.

Таким образом, положительная роль буферной зоны, где создаются достаточно высокие температуры, сводится к расширению временного интервала термической обработки шихты, что в итоге приводит к увеличению прочности агломерата.

При проведении спеканий в условиях ПАО НЗФ были получены опытные агломераты. Навеска аглотоплива составляла 8,5% при высоте слоя шихты 340-350 мм, температура зажигания 1000С. Температура в коллекторе получистого газа составила 120-130С. разрежение 730-780 кг/м<sup>2</sup>. В разгрузочной части агломашины пирог агломерата имел выраженную зону горения перед колосниковой решеткой высотой до 1/5 пирога. На изломе пирога агломерата не наблюдалось очагов горения. Производительность агломашины составила 60-66 т/час, выход возврата 40%.

Таблица 1

Химический состав и прочность опытных агломератов

№ пробы	Химический состав, %								Прочность
	Mn	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe	C	P	Основ-ность	MgO	
1	40.2	22.7	6.5	3.2	0.5	0.19	0.38	2.2	78.3
2	41.1	22.4	6.5	3.7	0.4	0.2	0.39	2.1	77.7
3	40.5	24.2	6.7	3.7	0.5	0.18	0.35	1.85	78.9
4	40	23.5	6.8	3.5	0.3	0.2	0.38	2	78.6
5	39.1	23.6	7.1	3.9	0.4	0.17	0.4	2.2	79.1

Полученный в ходе экспериментов агломерат при использовании в шихте 70% окисно-зернистого концентрата 2 сорта фракции 0-1мм удовлетворяет требованиям технологической инструкции и стандарта предприятия по прочности и химическому составу.

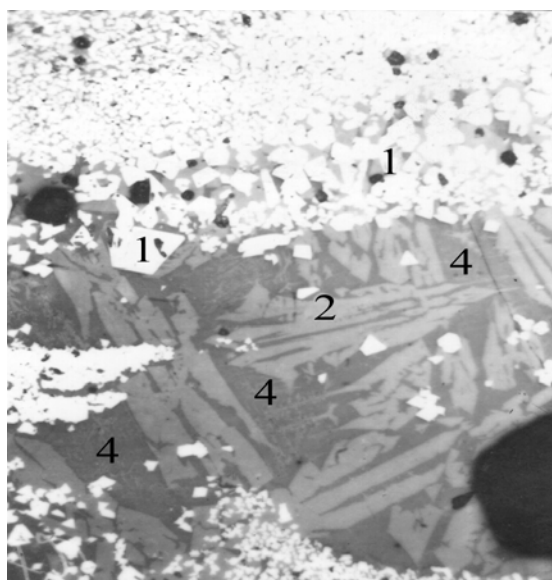
#### Минералогический состав исследуемых агломератов.

Известно, что в физико-химических свойствах агломератов минералогический анализ их занимает ведущее место, т.к. отражает конечное состояние продукта спекания. С этой целью из проб агломератов были изготовлены шлифы и аншлифы, которые анализировали в отраженном свете. Количественное содержание минеральных фаз оценивали приблизительно по суммарным площадям. Диагностика минеральных фаз производилась на основании измерения оптических констант в проходящем свете.

*Структура агломерата естественной основности 0,3* состоит из гаусманита, силикатной фазы, стекла и небольшого количества кристаллов

кварца и частиц угля. Гаусманит количественно преобладает (до 70%), присутствует в виде довольно крупных кристаллов правильной формы. Частично образует твердые растворы с CaO, что сопровождается изменением формы гаусманита и его оптических свойств (рис. 3). Силикатная фаза представлена крупными кристаллами тефроита  $2\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$  и твердого раствора с  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ . Стекловидная фаза окрашена в светло-зеленый и желтовато-коричневые цвета за счёт примеси окислов марганца.

При повышении основности до 0,6 в структуре готового агломерата окислы марганца присутствуют большей частью в виде твердых растворов  $\text{CaO}\cdot\text{Mn}_2\text{O}_3$  (рис.4). В составе силикатной фазы преобладают твердые растворы  $2\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ . Выделений чистого тефроита не наблюдалось. Введенный флюс полностью усвоился и вошел в состав твердых растворов и силикатов. Количество кристаллических фаз не изменилось.



1 – гаусманит; 2 – тефроит; 3 – твердый раствор  $2\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2 - 2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ;  
4 – стекло; 5 -  $\text{CaO}\cdot\text{MnO}$ ; 6 –  $\text{CaO}\cdot\text{Mn}_2\text{O}_3$ ; 6 –  $\text{CaO}\cdot\text{Mn}_2\text{O}_3$

Рисунок 3 – Минералогический состав агломерата естественной основности 0,3; свет отраженный, x210

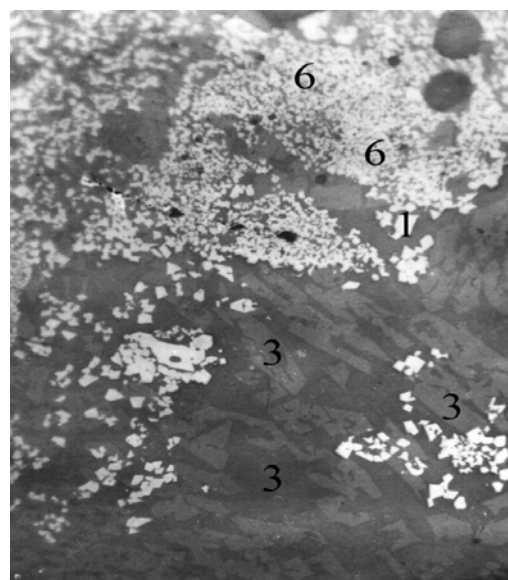


Рисунок 4 – Минералогический состав агломерата с подшихтовкой известняка, основность 0,6; свет отраженный, x210

### Выводы

Результаты исследования прочности опытных спеков подтверждают положительное влияние замены коксика частью торфа гидроксидного при совместном вводе в исходную шихту перед окомкованием тонкодисперсных марганцевых концентратов.

Повышение показателей процесса и металлургической ценности агломерата обусловлено изменением механизма спекания, которое связано с различной реакционной способностью углерода коксика и топливных составляющих тепловой деструкции торфа, приводящего к расширению

зоны высокотемпературного спекания и к образованию оптимального количества жидкой оксидной фазы, участвующей в создании достаточно прочного спека.

Целесообразно использовать коксик и марганцевую руду с несколько более низкими пределами фракций (-2,0 мм) и (-8 мм) соответственно, что стабилизирует условия окомкования исходной аглошихты и повысит прочность сырых окатышей.

Перспективным может быть и разработка комплексной схемы подготовки исходных компонентов и последующего окускования аглошихты на основе мелкодисперсных марганцевого концентрата, отходов производства извести, пыли газоочистки, торфа и сталеплавильного шлама с получением железомарганцевого агломерата для производства ферросплавов и использования в технологии прямого легирования стали марганцем.

Таким образом, при внедрении предлагаемых технологических решений будет достигнута более высокая доля вовлечения в производство агломерата мелкодисперсных трудноутилизируемых отходов при более полном функциональном использовании сырьевой и топливной составляющих вторичных ресурсов без снижения металлургической ценности агломерата при улучшении экологии промышленного региона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Металлургия марганца Украины. / Величко Б.Ф., Гаврилов В.А., Гасик М.И., Грищенко С.Г. и др. // Київ: Техніка, 1996. – 472 с.
2. Исследование газодинамики содержимого ванны электропечи РПЗ-48, выплавляющей силикомарганец. / Нежурин В.И., Карманов Э.С., Кучер И.Г. // Проблемы научно-технического прогресса электротермии неорганических материалов. Тезисы докл. республ. Научно-технической конференции. - Днепропетровск: 1989. - 30-31 с.
3. Majercak S., Karwan T. Theory of sintering fine materials. - Kosice, 1998. – 343 с.
4. Кривенко Ольга Викторовна. Разработка динамической модели окомкования и оптимизация на ее основе технологических параметров аглошихты: Диссертация канд. техн. наук: 05.16.02 / Приазовский гос. технический ун-т. - Мариуполь, 1998. – 151 с.
5. Процессы агломерации, окускования, брикетирования и обогащения полезных ископаемых /Филипенко Ю.Н., Скляр П.Т., Харлова Е.В., Моисеенко О.В.//Збагачення корисних копалин. 2012. Вип.50(91).
6. В.Б.Кусков, А.В.Корнев. О возможности холодного брикетирования богатых железных руд со связующими.// Збагачення корисних копалин. 2012. Вип.51(92).
7. Режим производства офлюсованного агломерата из концентрата месторождения Оброчище (Болгария) и сепарированного конвертерного шлама металлургического комбината Кремиковцы//Известия Вузов, Черная металлургия. №7, 1966. – С.40-47.
8. Патент № 2365639. RU C22B1/16. Агломерация с использованием усиливающего агента в агломерационной шихте / МАРГАН Мутхукумарасвами К. (SG), РОХАННА Марк А. (AU), ДАС Бинод К. (IN), КУМАР Ашок (IN), САНДХУ Харджит С. (IN). Опубликовано 27.08.2009.

9. Патент № 2365638. RU C22B1/14. Офлюсованный марганцевый агломерат для прямого легирования стали. Шихта для производства офлюсованного марганцевого, используемого для прямого легирования стали и способ производства офлюсованного агломерата для прямого легирования стали. Наконечный Анатолий Яковлевич (UA), Евдокимов Роман Викторович (RU). Опубликовано 27.08.2009.
10. Миллер В.Я., Молева Н.Г., Утков В.А. Влияние фазового состава и основности на качество марганцевых агломератов из руд Полуночного меторождения. Использование бедных марганцевых руд Северного Урала. АН СССР. Уральский филиал. Труды института металлургии. 1961. вып.7. С.79-84.
11. Фризен Виктор Генрихович. Исследование и разработка технологий брикетирования марганцевых и никелевых продуктов с учетом влияния тонких классов крупности: Диссертация, канд. техн. наук: 25.00.13 / Магнитогорск – Екатеринбург 2004. – 149 с.
12. Получение офлюсованного марганцевого агломерата и выплавка высокоуглеродистого ферромарганца. / Гасик М.Н., Зубанов В.Т., Щербицкий Б.В. и др. // Сталь. 1982. №9. - 51-53 с.
13. Утков В.А. Высокоосновной агломерат. М.: Металлургия, 1977. - 156 с.
14. Исследование механизма упрочнения железосодержащих окатышей из многокомпонентной шихты при добавках портландцемента /Д.А.Ковалев, А.В.Бабенко, Н.Д.Ванюкова, М.В.Ягольник//Системные технологии. №4. 2007. С.139-141.
15. Карпович А.Ф., Витюгин В.М. Влияние гуматов натрия на комкуемость маршалита/Известия Томского политехнического института. Т.196, 1969. С.112-114.
16. Карпович А.Ф., Витюгин В.М. Исследование влияния гуминовых кислот и нерастворимых гуматов на уплотнение и упрочнение гранул/Известия Томского политехнического института. Т.234. 1974. С.33-34
17. Иванов А.А., Юдина Н.в., Ильина А.А. Кислотные и ионообменные свойства гуминовых кислот механоактивированных торфов/ Химия растительного сырья. 2010. №4. С.145-150.