



## Петрографический анализ самовосстанавливающихся окатышей, полученных на холодной связке из шламов доменного и конвертерного цехов

Приведены морфологические аспекты сырых СВО, а также микроструктуры после восстановительной обработки. На микрофотографиях показано множество дискретных частиц различного размера покрытых кальциевыми силикатами. В результате термообработки СВО сформировалась плотная микроструктура, включающая металлическую фазу, рассеянную в шлакообразующей фазе, а в поверхностном слое образуется металлическая оболочка, определяющая прочность СВО в интервале температур 900-1100 °С. Ил. 4. Библиогр.: 7 назв.

**Ключевые слова:** самовосстанавливающиеся окатыши, петрография, восстановленные образцы, структура

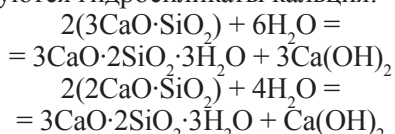
*Presents morphological aspects raw SVR and microstructure after reduction treatment . In micrographs showing a plurality of discrete particles of different sizes coated with calcium silicates. In the heat treatment to form a dense SVO microstructure comprising a metal phase dispersed within the slagging stage and a surface layer formed by the metal shell defining the strength SVR at temperatures 900-1100 ° C.*

**Keywords:** self-healing pellets, petrography , recovered samples , the structure

Традиционно большая часть образующихся отходов в виде пылей, шламов и окалины, не содержащей масла, возвращается в доменную печь путем агломерации. Гранулометрический состав отходов представлен тонкими частицами и поэтому их использование в агломерационном процессе ограничено. В последние годы возвращение в производство железосодержащих отходов путем их окускования на холодной связке в виде окатышей и брикетов приобретает практическое значение.

В связи с этим важно установить исходную структуру этих продуктов и ее изменение в процессе восстановительно-тепловой обработки. Для их получения используют колошниковую пыль и шламы доменных печей, и содержащийся в них углерод существенно изменяет их металлургические свойства.

В качестве холодной связки для получения окатышей и брикетов используется портландцемент. Металлургические свойства окатышей и брикетов определяются составом рудной части и новообразований, возникающих при гидратации цементной связки. Хорошо известны составляющие цемента трехкальциевый и двухкальциевый силикат (С3S), (С2S), трехкальциевый алюминат (С3А) и четырехкальциевый алюмоферрит [1]. При гидратации цемента образуются гидросиликаты кальция:



Эффекты этих новообразований прослеживаются в течение всего периода гидратации. Состав новообразований в окатышах обеспечивает высокую исход-

ную прочность и получение окатышей из грубозернистых железосодержащих отходов.

При нагреве окатышей и брикетов выше 500 °С происходит термическое разложение гидратных фаз и восстановление оксидов железа до магнетита, вюститита и металлического железа за счет углерода, содержащегося в окатышах [2, 3]. В результате термообработки брикетов, полученных из смеси шламов и пылей доменного и конвертерного производств, в восстановительной атмосфере формируется плотная микроструктура из вюститита и железистых оливинов. В поверхностном слое такого брикета образуется металлический каркас толщиной 3-5 мм [4].

В настоящей работе представлены результаты петрографического исследования микроструктуры СВО полученных из смеси шламов доменного и сталеплавильного производств. Химический состав СВО был следующим, %: 37,8 Fe; 9,1 FeO<sub>общ.</sub>; 43,5 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 14,3 CaO; 8,5 SiO<sub>2</sub>; 1,4 MgO; 9,5 C; CaO/SiO<sub>2</sub> = 1,68. Насыпная масса 1,403 г/см<sup>3</sup>; среднее значение прочности окатышей диаметром 15 мм в холодном состоянии на сопротивление сжатию 88,8 кг/ок., что соответствует значению прочности окатышей на цементной связке из магнетитового концентрата – 80 кг/ок. [5].

В восстановительной атмосфере первоначальная прочность окатышей уменьшается до 26,1 кг/ок. (500-700 °С), а затем в температурном интервале 900-1100 °С увеличивается до 42,7 кг/ок., а степень восстановления составляет 75-94,2 % (Fe<sub>мет.</sub> 42,5-55,1 %).

Петрографическое исследование выполнено с применением методов рудной микроскопии и углепетрографии, используя рудный поляризационный микроскоп МИН-9 с микрофотометрическим

устройством ФМЭ-1. Рудные, шлакообразующие и углеродсодержащие компоненты определялись по ряду оптических признаков: отражательной способности, цвету, двуотражению, эффекту поляризации, внутренним рефлексом, а также микротвердости.

Исследованы три образца СВО: исходный и два восстановленных. Восстановленный образец № 15 нагревали до температуры 1000 °С в слое коксика и извлекали из печи, а образец № 13 также нагревали до 1000 °С и выдерживали при этой температуре в течение 150 мин. При изготовлении аншлифов - шлифовке, заполнении пор эпоксидной смолой – установлено, что в ряду исходная проба → образец № 15 → образец № 13, существенно возрастает устойчивость СВО к истиранию и параллельно уменьшается пористость. Макроскопически наблюдаемая на полированных срезах структура исходной пробы и восстановленного образца однородна. В образце № 13 диагностировали металлическую фазу, которую видно по металлическому блеску и светлой окраске (рис. 1).



Рис. 1. Аншлифы исходной пробы и образцы 15 и 13, подвергнутые восстановлению

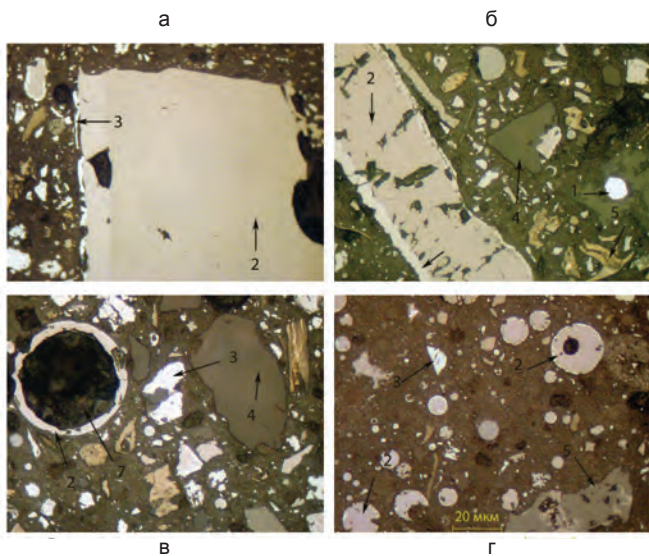


Рис. 2. Исходный образец. Оксиды железа: магнетит (2), гематит (3), корольки металла (1), кокс (5), уголь (6), шлакообразующие компоненты (4), поры (7)

**Характеристика исходного образца**

Установлены оксиды железа: магнетит ( $Fe_3O_4$ ), гематит ( $Fe_2O_3$ ), а также корольки металла, кокс, уголь, шлакообразующие компоненты. Магнетит представлен тремя разновидностями: сравнительно крупные обломки пластинчатого облика размером в десятые доли миллиметра, мелкие обломки непра-

вильной формы и сферические частицы, сплошные и полые (рис. 2). Большинство обломков магнетита с поверхности и внутри замещены гематитом. Кроме того, магнетит образует включения в стеклообразных частицах шлака. Гематит встречается и в виде самостоятельных обломков. Кокс и уголь представлены частицами размером от микрон до десятых долей миллиметра, как свежих, так и частично окисленных. Шлакообразующие компоненты разнообразны по форме, размерам и составу. Обломочный материал сцементирован скрытокристаллическим материалом субмикроскопических частиц.

**Характеристика восстановленного образца (№ 15)**

Восстановленный железоблюк пятнадцатого образца по составу компонентов практически не отличается от исходного, за исключением роли металла, доля которого значительно выросла. Последний образует тончайшие дендриты в стеклообразной массе шлакообразующих компонентов, которые тяготеют к частицам магнетита. Иногда он формирует более крупнозернистые структуры. Металл также рассеян в основной цементирующей массе в виде агрегатов частиц размером в единицы микрон, которые концентрируются на поверхности обломков кокса и шлакообразующих компонентов (рис. 3).

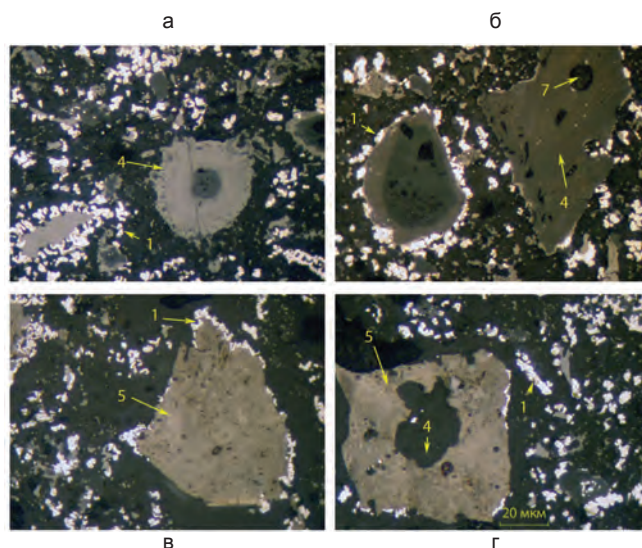


Рис. 3. Восстановленный железоблюк (обр. 15): дендриты металла (1) в стеклообразной массе шлакообразующих компонентов (4), кокс (5), поры (7)

**Характеристика восстановленного образца № 13 (рис. 4)**

Восстановленный СВО № 13 по составу компонентов отличается от пятнадцатого отсутствием кокса, который, очевидно, участвовал в восстановлении, а также повышенным содержанием металла. Структурные особенности так же резко отличаются. Более чем на треть СВО металлизированы; магнетит присутствует в виде отдельных реликтов. Дендриты металла более крупные. В остальном объеме железо представлено магнетитом ( $Fe_3O_4$ ).

Для использования СВО в доменной печи важно понять процессы восстановления оксидов железа твердым углеродом, содержащимся в структуре ис-

ходного окатыша, полученного из шламов доменного и сталеплавильного производств.

В литературе содержится значительное количество работ, относящихся к восстановлению различных композиционных структур, содержащих оксиды железа и углерод. Общее заключение в этих работах состоит в том, что скорость восстановления оксидов железа твердым углеродом контролируется реакцией газификации углерода. Основным механизмом реакции восстановления в СВО вызван прямым контактом между оксидами железа и углеродом, а затем после соответствующего разделения границы между оксидом и углеродом реакция продолжается с участием газовой фазы.

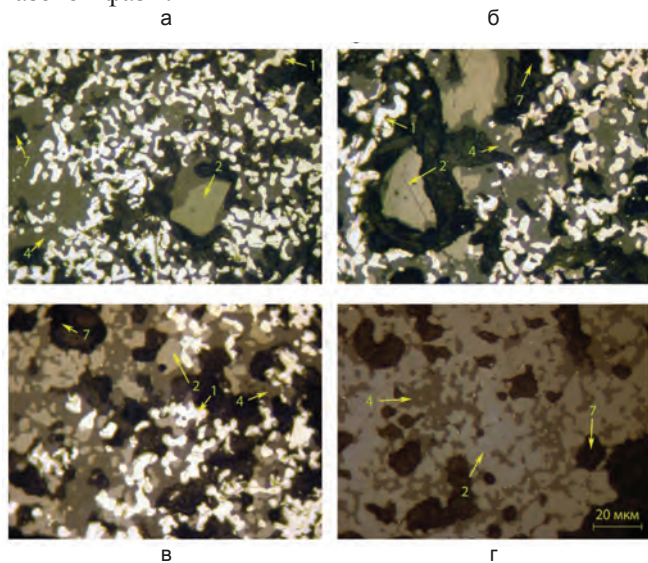


Рис. 4. Восстановленный железоблюк (обр. 13): дендриты металла (1) в стеклообразной массе шлакообразующих компонентов (4), магнетит (2), поры (7)

Важно отметить, что углерод, содержащийся в СВО, используется полностью в интервале температур 900-1100 °С, что подтверждается петрографическим анализом образцов, полученных при восстановительно-тепловой обработке.

Отмеченные превращения в СВО обеспечивают существенное повышение их прочности за счет образования металлической оболочки.

### Выводы

Исследована структура исходных и восстановленных в интервале температур 900-1100 °С образцов самовосстанавливающихся окатышей, полученных из шламов доменного и сталеплавильного цехов. Установлено, что содержащийся в структуре СВО углерод полностью используется в восстановительном процессе и обеспечивает получение металлического железа в термически-резервной зоне доменной печи. СВО сохраняют прочность благодаря образованию металлической оболочки на их поверхности.

### Библиографический список

1. Лотош В.Е., Меламуд С.Г. Исследование новообразований в безобжиговых железорудных окатышах нормального твердения // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. – 1976. - № 5. - С. 931-936.
2. Кинетика восстановления и морфологическая оценка самовосстанавливающихся брикетов на основе гематитовых и магнетитовых руд / Ж.Х. Нолдин, Ж.К. Д'Абре, К. де Мело Мартинз, К. Мейер // Сталь, 2005. - № 10. - С. 9-14.
3. Ryan Robinson. High temperature properties of by-product cold bonded pellets containing blast furnace dust // Thermochimica Acta, v.432 (2005). - P. 112-123.
4. Исследование металлургических свойств брикетов из техногенного и природного сырья и оценка эффективности их применения в доменной плавке / И.Ф. Курунов, Э.М. Щеглов, В.Л. Емельянов и др. // БНТИ Черная металлургия. – 2008. - № 1. – С. 8-16.
5. Дрожиков Л.А., Латков К.Ю. Поведение железорудных окатышей при нагреве и восстановлении. – В кн.: Сб. тр. ин-та Механообрчермет. - М.: Металлургия, 1970. - № 14. - С. 20-31.
6. Лотош В.Е., Окунев А.И. Безобжиговое окускование руд и концентратов. - М.: Наука, 1980. – 216 с.
7. Эффективность применения гранулированного углеродсодержащего железоблюка в доменной плавке / Ковалев Д.А., Крикунов Б.П., Ванюков А.А. и др. // БНТИ Черная металлургия. – 2012. - № 7. – С. 49-54.

Поступила 25.06.2013

Журнал «МГП», начиная с № 6, 2013 г.,  
будет размещен в интернете с использованием своего  
«старого» доменного имени

**www.metinfo.dp.ua**

вместо

www.metaljournal.com.ua