**Технология производства высокоуглеродистого феррохрома с использованием моношихтовых брикетов**

Шабанов Е.Ж., Избембетов Д.Д., Байсанов С.О., Шадиев М.Ф.

**1Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева**

(100009, Республика Казахстан, г.Караганда, ул. Ермекова, 63)

**2ТОО «НТП «Инновационные технологии»**

(030005, Республика Казахстан, г.Актобе, проспект Абылхаир хана 2, офис 44)

**Шабанов Е.Ж.1**, доктор Ph.D, заведующий лабораторей «Ферросплавов и процессов восстановления» (ye.shabanov.@gmail.com)

**Избембетов Д.Д.2**, профессор, к.т.н, заместитель директора по науке (izbembetov-dd@mail.ru)

**Байсанов С.О.1**, д.т.н., профессор, лауреат Государственной премии РК, заведующий лабораторей металлургических расплавов (splav\_sailaubai@mail.ru)

 **Шадиев М.Ф.2**, директор ТОО «НТП «Инновационные технологии» (manfazhad@gmail.ru)

Окускование измельченной рудно-углеродистой шихты осуществляется путем брикетирования или гранулирования. Способы получения брикетов и гранул можно разделить на две основные группы: 1) в состав шихты вводят только часть оксидов, необходимых для плавки, а другую часть подают непосредственно в ферросплавную печь 2) в состав шихты вводят все компоненты, необходимые для получения ферросплавов для улучшения условий восстановления оксидов и изменения механизма реакций (получение моношихты) [1-3,5,6].

В начале прошлого века на основе технологии брикетирования шихты с органическими связующими веществами разработаны способы получения брикетов и коксобрикетов с использованием хромовой руды, кремнеземсодержащих материалов, извести, железной руды и т.д.. Получаемые брикеты имели высокую восстановимость, и их применение привело к сокращению расхода кокса, а также повышению производительности печей [7-18]. Например, в работах [19,20] установлено, что при получении брикетов с хромовой рудой ее содержание в шихте может составлять 80-85 %. Опытные плавки на таких брикетах показали, что расход электроэнергии снижается на 2,4 %, а производительность печи увеличивается на 3,7 %.

Однако с появлением и развитием высокопроизводительной агломерации этот метод не смог конкурировать с этой новой технологией из-за низкой производительности применяемого оборудования. В настоящее время окускование природных металлосодержащих материалов методом брикетирования с получением безобжиговых брикетов на минеральной или органической связке вновь находит все более широкое применение, в том числе и в ферросплавном производстве. Применяются три технологии брикетирования прессование в валках, вибропрессование и жесткая вакуумная экструзия. Применение жесткой вакуумной экструзии для окускования мелкой руды и дисперсных металлургических отходов в начале ХХI века освоила компания J.C.Steele & Sons, Inc. (США), основанная в 1889 г. В настоящее время экструзионные брикеты на цементной связке, имеющие оптимальные и регулируемые размеры и управляемый химический состав, являются шихтовым материалом нового поколения. Этот материал получил официальное название БРЭКС (BREX), зарегистрированное в ФИПС [4].

На базе Химико-металлургического института им. Ж. Абишева были проведены укрупненно-лабораторные испытания, направленные на установление возможности применения моношихты для выплавки стандартного углеродистого феррохрома. Укрупненно-лабораторные исследования проводились в руднотермической печи с мощностью трансформатора 200 КВА. Для производства брикетов моношихты в качестве углеродистых восстановителей были выбраны отсевы (менее 10 мм) следующих материалов, составы которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав углеродистых восстановителей, применявшихся для брикетирования

Table 1 – Chemical composition of carbonaceous reductants used for briquetting

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Материал | Технический состав, % | Химический состав золы, % |
| A | V | S | P | W | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | CaO | MgO |
| Кокс КНРфракции 0-10 мм | 16,62 | 5,68 | 0,46 | 0,039 | 3,94 | 43,0 | 14,7 | 19,77 | 9,4 | 4,25 |
| Спецкокс шубаркольскийфракции 0-10 мм | 9,5 | 10,4 | 0,25 | 0,012 | 8,53 | 47,7 | 17,8 | 19,22 | 4,66 | 3,15 |
| Уголь борлинскийфракции 0-10 мм | 30,2 | 18,1 | 0,40 | 0,010 | 9,66 | 59,1 | 32,9 | 8,26 | 0,55 | 0,39 |
| Уголь Шубаркольскийфракции 0-10 мм | 5,8 | 41,5 | 0,46 | 0,009 | 15,1 | - | - | - | - | - |

В качестве рудного сырья использовалась богатая хромовая руда фракций 0-10 мм. Брикеты изготавливались с использованием вакуумно-экструзионного промышленного пресса [1-8]. В качестве связующих применялись цемент и бентонит при суммарном расходе до 5 % от массы руды.

Химический состав руды представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав руды

Table 2 – Chemical composition of ore

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование материалов | Химический состав, % |
| Cr2O3 | SiO2 | FeO | P | S |
| Богатая хромовая руда 0-10 ДХ-2 | 50,0 | 7,70 | 12,2 | 0,002 | 0,020 |

С учетом приведенных в таблице 1 химических составов восстановителей были произведены по методике ХМИ расчеты составов брикетов трех вариантов. Результаты этих расчетов приводятся в таблице 3.

Таблица 3 – Составы опытных вариантов брикетов из хромовой руды и углеродистых восстановителей

Table 3 – Compositions of experimental variants of briquettes from chrome ore and carbonaceous reductants

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Видтехнологии | Материалы | Соотношение,% |
| 1 | Традиционная без брикетирования | Хромовая руда (0-10) | 77,24 |
| Кокс КНР | 18,03 |
| Спецкокс шубаркольский | 5,15 |
| Уголь борлинский | 8,58 |
| 2 | Брикеты с шубаркольским углем | Хромовая руда | 71,94 |
| Уголь шубаркольский | 28,06 |
| 3 | Брикеты с борлинским углем | Хромовая руда | 72,63 |
| Уголь борлинский | 27,37 |
| 4 | Брикеты с коксом КНР | Хромовая руда | 82,0 |
| Кокс КНР | 18,0 |

 Продолжительность опытной кампании составила 9 суток. Были проведены испытания трех вариантов брикетов, содержащих в своем составе различные восстановители. В качестве сравнительного варианта использована традиционная технология с шихтовыми материалами без брикетирования. В общей сложности проведено 98 плавок.

Печь футерована магнезитовым кирпичом. Подина печи выполнена из набивной подовой массы, подвергшейся коксованию в течение 11 часов под током с периодическим отключением печи. Трансформатор печи имеет четыре ступени напряжения. В период экспериментов работали на напряжении 36,6 В и 48,8 В. Печь имеет графитовый электрод диаметром 150 мм. Разогрев печи начали на традиционной шихте.

После проведения разогрева печи в течение 0,92 сутки на традиционной шихте перешли на шихту с использованием брикетов.

Ниже приводится следующее последовательное описание технологий:

1 – традиционная шихта (кокс КНР+спецкокс+уголь борлинский);

2 – брикеты с шубаркольским углем;

3 – брикеты с борлинским углем;

4 – брикеты с коксом КНР;

Результаты химического анализа, масса металла и шлака приведены в нижеследующем описании каждого варианта технологии.

Этап № 1 (традиционная шихта)

Испытания начали со сравнительного варианта, в качестве которого была выбрана технология максимально приближенная к технологии на Актюбинском заводе ферросплавов. По этому варианту проработали в течение 0,92 суток, провели 11 плавок. Средний химический анализ продуктов плавки в этот период составил: металл – 67,05%Cr; 1,23%Si; 9,30%C; 0,024%S; 0,012%P; шлак – 5,48%Cr2O3; 31,05%SiO2; 0,74%CaO; 44,20%MgO; 17,01%Al2O3; 1,12%FeO; 0,215%S; 0,010%P.

Колошник работал без свищей, с равномерным газовыделением по всей поверхности колошника. Шихта садится самоходом. Производительность печи составила 155,0 кг Cr/сут, извлечение хрома 79,3%.

Этап №2 (брикеты с шубаркольским углем)

На данном этапе проводили выплавку с использованием в шихте брикетов с шубаркольским углем в количестве 42,4 кг на колошу. По этому варианту проработали в течении 0,75 суток, провели 9 плавок. Средний химический анализ продуктов плавки в этот период составил: металл – 69,12%Cr; 0,85%Si; 9,71%C; 0,020%S; 0,011%P; шлак – 5,33%Cr2O3; 32,16%SiO2; 1,09%CaO; 42,36%MgO; 17,29%Al2O3; 1,28%FeO; 0,206%S; 0,011%P.

Переход на брикеты с шубаркольским углем в целом привел к интенсификации процесса с более устойчивой токовой нагрузкой. Колошник работал без свищей, с равномерным газовыделением по всей поверхности колошника. Производительность печи составила 165,9 кг Cr/сут, извлечение хрома 88,17%. Налицо повышение производительности за счет увеличения поверхности контакта реагирующих фаз в брикетах.

Этап №3 (брикеты с борлинским углем)

На данном этапе испытаний проводили выплавку с использованием в шихте брикетов с борлинским углем в количестве 42,0 кг на колошу. По этому варианту проработали в течении 0,5 суток, провели 6 плавок. Средний химический анализ продуктов плавки в этот период составил: металл – 70,28%Cr; 1,21%Si; 9,22%C; 0,027%S; 0,015%P; шлак – 4,63%Cr2O3; 34,03%SiO2; 1,10%CaO; 36,08%MgO; 20,57%Al2O3; 0,35%FeO; 0,210%S; 0,011%P.

Колошник работал без свищей, с равномерным газовыделением по всей поверхности колошника. Шихта садится самоходом. Производительность печи составила 158,6 кг Cr/сут, извлечение хрома 84,91%.

Этап №4 (брикеты с коксом КНР)

В этом периоде испытаний использовали в шихте брикеты из руды фракции 0-10 мм и кокса КНР в количестве 30 кг на колошу. По этому варианту проработали в течении 1,25 суток, провели 15 плавок. Средний химический анализ продуктов плавки в этот период составил: металл – 69,4 %Cr; 0,85%Si; 5,83%C; 0,018%S; 0,042%P; шлак – 8,29%Cr2O3; 27,77%SiO2; 3,03%CaO; 36,25%MgO; 8,41%Al2O3; 1,64%FeO; 0,011%P. Работа печи и состояние колошника в этот период не отличалась от предыдущего периода. Шихта также сходила равномерно, без обвалов, разрушения брикетов на колошнике не наблюдалось (рисунок 2). Токовая нагрузка отличается высокой устойчивостью, процесс идет интенсивно. Производительность составила 170,36 кг Cr/сут. Извлечение хрома 90,0%.

Прочность брикетов на сжатие по всем вариантам колебалась в пределах 154-238 кг на брикет. Такая высокая прочность обеспечила сохранность их в процессе транспортировки на расстояние около тысячи км. (рисунок 1).



Рисунок 1 – Начальный внешний вид брикетов из руды и кокса КНР

Figure 1 – Initial appearance of briquettes from ore and coke of the PRC



Рисунок 2 – Внешний вид брикетов из руды и кокса КНР на колошнике печи

Figure 2 – Appearance of briquettes from the PRC ore and coke on the furnace top

Ниже представлены основные технико-экономические показатели моношихтовых технологий, которые, на наш взгляд, могут быть рекомендованы для промышленного опробования, так как обладают существенными преимуществами по сравнению с традиционной технологией (таблица 4).

Таблица 4 – Технико-экономические показатели выплавки углеродистого феррохрома с применением брикетированной моношихты

Table 4 – Technical and economic parameters of smelting of carbon ferrochrome with the use of a briquetted mono-charge

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Показатели | Ед. | Периоды |
| изм. | Традиционнаябез брикетиро-вания | Брикетыс коксом КНР | Брикеты с шубаркольским углем | Брикеты с борлинским углем |
| Производительность | кг Cr/сут | 155,0 | 170,36 | 165,9 | 158,6 |
| Средний вес плавки | кг Cr | 12,92 | 14,19 | 13,82 | 12,72 |
| Извлечение хрома | % | 79,30 | 90,0 | 88,17 | 84,91 |
| Удельный расход материалов |
| Хром. руда 50% Cr2O3 | кг/ т Cr | 3685,9 | 3224,73 | 3315,2 | 3442,7 |
| Восстановитель | кг/ т Cr | 1031,2 | 806,18 | 1306,9 | 1311,1 |
| Кокс КНР | кг/ т Cr | 397,0 | 806,18 |  |  |
| Спецкокс | кг/ т Cr | 239,3 |  |  |  |
| Уголь шубарколь | кг/ т Cr |  |  | 1306,9 |  |
| Уголь борлинский | кг/ т Cr | 394,9 |  |  | 1311,1 |
| Кварцит | кг/ т Cr |  |  | 112,5 |  |
| Уд. расход эл.энергии | кВт·ч/т Cr | 11824 | 11470,69 | 11317 | 11635 |

Таким образом, по результатам исследований:

1. Показана принципиальная возможность выплавки углеродистого феррохрома с использованием моношихтовых брикетов с углеродистыми восстановителями в своем составе.

2. Установлено, что сравнительные технико-экономические показатели по всем технологиям применения моношихтовых брикетов значительно выше традиционной технологии.

3. Показана принципиальная возможность снижения зависимости от сторонних поставок (Китай, Россия) дорогого кокса путем его замены на дешевые угли отечественных месторождения Шубарколь и Борлы;

4. Разработанная технология позволяет вовлечь в производство мелочи хромистых руд, мелкодисперсных отсевов углеродистых восстановителей путем брикетирования в виде моношихты.

5. В процессе окускования материалов используются низкотемпературной малоэнергоемкий процесс брикетирования с минимальным пылевыделением и хорошо поддающимся автоматизации;

6. В процессе разработки технологии стандартизована шихтовка, снижено влияние человеческого фактора на конечные результаты выплавки сплава в печи и достигнута высокая степень готовности к автоматизации процесса в целом.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Pietsch W. Agglomeration in Industry. Occurrence and Applications Wiley-VCN. 2005.

2. Бижанов А.М., Курунов И.Ф., Подгородецкий Г.С. и др. Брикеты экструзии (брэксы) для производства ферросплавов // Металлург. 2012. № 12. С. 52.

3. Бижанов А.М., Курунов И.Ф., Дашевский В.Я. О механической прочности брикетов экструзии. I. Металлы. №2, 2015, с. 19-25.

4. Курунов И.Ф., Бижанов А.М., Тихонов Д.Н., Мансурова Н.Р. Металлургические свойства брэксов // Металлург. 2012. № 6. С. 44–48

5. БРЭКС. Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания), заявка от Правообладатель А.М.Бижанов.

6. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия [Текст] / В. Г. Воскобойников, В. А. Кудрин, А. М. Якушев. – М.: Металлургия, 2000. – 768 с.

7. Абдулабеков, Е.Э., Каскин К.К., Нурумгалиев А.Х. Теория и технология производства хромистых сплавов. - 2010.- 273 с. 2.

8. Гриненко В.И., Петлюх П.С., Такенов Т.Д., Жакибеков Т.Б., Толымбеков М.Ж. Освоение технологии выплавки высокоуглеродистого феррохрома с использованием брикетированной мелочи хромитовой руды // Сталь. - 2001. - № 12.

9. [Magdziarz A.,](http://www.ingentaconnect.com/search?option2=author&value2=Magdziarz+Aneta) [Kuźnia M.,](http://www.ingentaconnect.com/search?option2=author&value2=Ku%C5%BAnia+Monika) [Bembenek M.,](http://www.ingentaconnect.com/search?option2=author&value2=Bembenek+Micha%C5%82" \o "Search for articles by this author) [Gara P](http://www.ingentaconnect.com/search?option2=author&value2=Gara+Pawe%C5%82" \o "Search for articles by this author)., [Hryniewicz M.](http://www.ingentaconnect.com/search?option2=author&value2=Hryniewicz+Marek" \o "Search for articles by this author) / Briquetting of EAF dust for its utilisation in metallurgical processes / [Chemical and Process Engineering](http://www.ingentaconnect.com/content/doaj/23001925), Volume 36, Number 2, 2015, pp. 263-271(9)

10. Рывкин И.Ю., Еремин А.Я., Литвин Е.М., Бабанин В.И. Брикетирование мелкозернистых и тонкодисперсных материалов со связующим // Кокс и химия. - 2000. - №10 - с.36-43

11. Еремин А.Я., Бабанин В.И. Изменение физико-механических свойств смесей мелкозернистых материалов со связующими на стадиях подготовки и прессования в процессе брикетирования // Кокс и химия. - 2003. - №4. - с.17-26.

12. Хорошавин, Л. Металлургические брикеты нового поколения сокращают продолжительность плавки металлов / Л. Хорошавин // Уральский рынок металлов. - 2006. - №7. - C. 39 - 42.

13. Ожогин, В.В. Брикетирование как полноправный метод окускования металлургического сырья / А.А.Томаш, И.А.Ковалевский // Металлургические процессы и оборудование. - 2005. - №2. - С. 54 - 58.

14. Котенев В. И, Барсукова Е. Ю. Технология и экономика производства брикетов из мелкодисперсных отходов металлургических и коксохимических производств для экономически выгодной замены ими традиционной шихты сталеплавильного, доменного и ферросплавного переделов и способ его производства // 7-й Международный Конгресс сталеплавильщиков. - Москва, 2002, 14 ноября.

15. Бабанин В.И., Еремин А.Я., Бездежский Г.Н. Разработка и внедрение новой технологии брикетирования мелкофракционных материалов с жидким стеклом. Часть 1. // Металлург. - 2007. - № 1. - с.68-71.

16. Бездежский Г.Н., Смоляков В.П., Бабанин В.И., Еремин А.Я., Тиль В.В., Шашкин В.Н. Освоение брикетирования хромитового концентрата на Донском горно-обогатительном комбинате // Цветная металлургия. - 2002. - №8-9. - с.7-10.

17. Озеров С.С., Портов А. Б., Цемехман Л. Ш. Брикетирование мелкозернистых материалов // Цветные металлы. - 2014. - №. 7 - с.26-31.

18. Ожогин В.В. Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья: монография. - Мариуполь: ПГТУ, 2010. - 442 с

19. Ray, C. R.; Sahoo, P. K.; Rao, S. S. / Strength of chromite briquettes and its effect on smelting of charge chrome / ferro chrome / Innovations in Ferro Alloys industry, INFACON XI. - 2007. - С. 63-66.

20. Толымбеков М.Ж., Байсанов С.О., Избембетов Д.Д., Абдулабеков Е.Е., Акуов А.М. / Плавильный высокоуглеродистый феррохром с равномерной брикетированной порцией / Сталь в пероводе. – 2010. № 40. – С. 556-557.

*Реферат*. В статье представлены результаты укрупненно-лабораторных исследований на базе Химико-металлургического института Ж.Абишева по установлению возможности применения моношихты для выплавки стандартного углеродистого феррохрома. Укрупненно-лабораторные исследования проводились в руднотермической печи с мощностью трансформатора 200 КВА. Продолжительность опытной кампании составила 9 суток. Были проведены испытания трех вариантов брикетов, содержащих в своем составе различные восстановители, в том числе: традиционная шихта (кокс КНР+спецкокс+уголь борлинский); брикеты с шубаркольским углем; брикеты с борлинским углем; брикеты с коксом КНР. В качестве сравнительного варианта использована традиционная технология с шихтовыми материалами без брикетирования. В общей сложности проведено укрупненно-лабораторных исследований составила 98 плавок. Испытания начали со сравнительного варианта, в качестве которого была выбрана технология максимально приближенная к технологии на Актюбинском заводе ферросплавов. На традиционный шихте колошник работал без свящей с равномерным газовыделением по всей поверхности колошника. Извлечение хрома в сплаве составила 79,3%. При переходе на брикеты с шубаркольским углем в целом привел к интенсификации процесса с более устойчивой токовой нагрузкой. Увеличилась производительность печи до 165,9 кг Cr/сут за счет увелечения поверхности контакта реагирующих фаз в брикетах. При использовании брикетов с борлинском углем также были получены удоволетворительные технологические параметры процесса выплавки высокоуглеродистого феррохрома, извлечение хрома в металл составила 84,91%. При использовании в шихте брикетов из руды фракции 0-10 мм и кокса КНР работа печи и состояние колошника не отличалась от предыдущих периодов. Шихта также сходила равномерно, без обвалов, разрушения брикетов на колошнике не наблюдалось, токовая нагрузка отличалась высокой устойчивостью. В работе также представлены сравнительные технико – экономические показатели по всем технологиям применения моношихтовых брикетов.

*Ключевые слова*: моношихта, брикет, высокоуглеродистый феррохром, хромовая руда, кокс, восстановитель, уголь

*Сведения об авторах*

Шабанов Е.Ж. – доктор Ph.D, заведующий лабораторией ферросплавов и процессов восстановления Химико-металлургического института им. Ж. Абишева, г. Караганда, Республика Казахстан; ye.shabanov@gmail.com

Избембетов Д.Д. – к.т.н профессор, заместитель директора по науке ТОО «НТП «Иновационные технологии», г. Актобе, Республика Казахстан.

Байсанов С.О., д.т.н., профессор, лауреат Государственной премии РК, заведующий лабораторей металлургических расплавов Химико-металлургического института им Ж. Абишева, г. Караганда, Республика Казахстан;

Шадиев М.Ф. – директор ТОО «НТП «Иновационные технологии», г. Актобе, Республика Казахстан.

**Technology for the production of high-carbon ferrochromium using mono-briquettes**

**Shabanov Ye.Zh., Izbembetov D.D., Shadiev M.F.**

Abstract

The article presents the results of large-scale laboratory studies on the basis of the Abishev Chemical-Metallurgical Institute on establishing the possibility of using a mono-charge for smelting standard carbon ferrochromium. Enlarged-laboratory studies were carried out in an ore-thermal furnace with a transformer capacity of 200 kVA. The duration of the pilot campaign was 9 days. Three variants of briquettes containing various reducing agents were tested, including: traditional charge (coke PRC + special coke + Borolinsky coal); briquettes with coal from Shubarkol; briquettes with Borlinsky coal; briquettes with coke of China. As a comparative variant, the traditional technology with charge materials without briquetting was used. In total, when conducted large-scale laboratory studies was 98 swimming trunks. The tests began with a comparative version, which was chosen as the technology closest to the technology at the Aktobe ferroalloy plant. On the traditional charge, the spinner worked without the uniformly gassing over the entire surface of the top. The recovery of chromium in the alloy was 79.3%. When switching to briquettes with Shubarkol coal in general, the process intensified with a more stable current load. The furnace productivity increased to 165.9 kg Cr / day due to the increase in the contact surface of the reacting phases in briquettes. When using briquettes with Borlinsky coal, the satisfactory technological parameters of the smelting process for high-carbon ferrochrome were also obtained, the extraction of chromium into the metal was 84.91%. When using briquettes from 0-10 mm ore fraction ore and CPR coke in the charge, the furnace operation and the state of the top were not different from previous periods. The charge also went off evenly, without collapses, the briquettes on the top were not destroyed, the current load was highly stable.

The work also presents comparative technical and economic indicators for all technologies using monoblity briquettes.

*Key words*: monogram, briquette, high-carbon ferrochromium, chrome ore, coke, reducing agent, coal

Information about authors

*Shabanov Ye.Zh.,* Dr. Ph.D, head of the laboratory of ferroalloys and recovery processes of the Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda city, Republic of Kazakhstan; ye.shabanov@gmail.com

*Izbembetov D.D.,* Candidate of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Science, LLP «NTP «Innovative Technologies», Aktobe, Kazakhstan.

*Baisanov S.,* Doctor of Technical Sciences, professor, laureate of the State Prize of the RK, head of the laboratory of metallurgical melts of the Abishev Chemical and Metallurgical Institute, Karaganda, Republic of Kazakhstan;

*Shadiev M.F.,* Director of LLP "NTP" Innovative Technologies ", Aktobe, Kazakhstan.