

УДК 669.162

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОХРОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОНОШИХТОВЫХ БРИКЕТОВ**Шабанов Е.Ж.**¹, Ph.D, заведующий лабораторией ферросплавов и процессов восстановления (ye.shabanov@gmail.com)**Избембетов Д.Д.**², к.т.н., профессор, зам. директора по науке**Байсанов С.О.**¹, д.т.н., профессор, заведующий лабораторией «Металлургические расплавы»**Шадиев М.Ф.**², директор¹Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева

(100009, Республика Казахстан, Караганда, ул. Ермакова, 63)

²ТОО «НТП «Инновационные технологии»

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

Аннотация. Представлены результаты крупнотоннажно-лабораторных исследований на базе Химико-металлургического института им. Ж. Абишева по установлению возможности применения моношихты для выплавки стандартного углеродистого феррохрома. Крупнотоннажно-лабораторные исследования проводились в руднотермической печи с мощностью трансформатора 200 КВА. Продолжительность опытной кампании составила девять суток. Были проведены испытания трех вариантов брикетов, содержащих в своем составе различные восстановители, в том числе: традиционная шихта (кокс Китайской Народной Республики (КНР) + спецкокс + борлинский уголь); 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 проведена 41 плавка. Испытания были начаты со сравнительного варианта, в качестве которого была выбрана технология, максимально приближенная к технологии на Актюбинском заводе ферросплавов. На традиционной шихте колошник работал без свищей с равномерным газовыделением по всей поверхности колошника. Извлечение хрома в славе составило 79,3 %. Переход на брикеты с шубаркольским углем в целом привел к интенсификации процесса с более устойчивой токовой нагрузкой. Увеличилась производительность печи до 165,9 кг Ст/сут за счет увеличения поверхности контакта реагирующих фаз в брикетах. При использовании брикетов с борлинском углем также были получены удовлетворительные технологические параметры процесса выплавки высокоуглеродистого феррохрома, извлечение хрома в металл составило 84,91 %. При использовании в шихте брикетов из руды фракции 0 – 10 мм и кокса КНР работа печи и состояние колошника не отличались от предыдущих периодов. Шихта 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.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-9-702-707

Окускование измельченной рудно-углеродистой шихты осуществляется путем брикетирования или гранулирования. Способы получения брикетов и гранул можно разделить на две основные группы:

– в состав шихты вводят только часть оксидов, необходимых для плавки, а другую часть подают непосредственно в ферросплавную печь;

– в состав шихты вводят все компоненты, необходимые для получения ферросплавов для улучшения условий восстановления оксидов и изменения механизма реакций (получение моношихты) [1 – 6].

В начале прошлого века на основе технологии брикетирования шихты с органическими связующими веществами разработаны способы получения брикетов и коксбрикетов с использованием хромовой руды, кремнеземсодержащих материалов, извести, железной руды и др. Получаемые брикеты имели высокую восстановимость и их применение привело к сокращению расхода кокса, а также повышению производительности печей [7 – 20].

Например, по результатам нескольких работ 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 агломерации этот метод не смог конкурировать с данной 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 XXI в.

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 [5].

На базе Химико-металлургического института им. Ж. Абишева (ХМИ) 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 отсеvy (менее 10 мм) материалов, составы которых приведены в табл. 1.

В качестве рудного сырья использовалась богатая хромовая руда фракции 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 табл. 2.

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

Продолжительность опытной кампании с учетом разогрева печи составила четверо суток. Были прове-

дены 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 проведена 41 плавка.

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

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

Ниже приводится следующее последовательное описание технологий:

- 1 – традиционная шихта (кокс КНР + спецкокс + борлинский уголь);
- 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 были начаты со сравнительного варианта, в качестве которого была выбрана технология, максимально приближенная к технологии на Актюбинском заводе фер-

Таблица 1

Химический состав углеродистых восстановителей, применяемых для брикетирования

Table 1. Chemical composition of carbonaceous reductants which are used for briquetting

Материал	Технический состав, %					Химический состав золы, %				
	A	V	S	P	W	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Кокс Китайской Народной Республики (КНР) фракции 0 – 10 мм	16,62	5,68	0,46	0,039	3,94	43,0	14,7	19,77	9,4	4,25
Уголь борлинский фракции 0 – 10 мм	30,2	18,1	0,40	0,010	9,66	59,1	32,9	8,26	0,55	0,39
Уголь шубаркольский фракции 0 – 10 мм	5,8	41,5	0,46	0,009	15,1	–	–	–	–	–
Спецкокс шубаркольский фракции 0 – 10 мм (использован в составе традиционной шихты без брикетирования)	9,5	10,4	0,25	0,012	8,53	47,7	17,8	19,22	4,66	3,15

Таблица 2

Химический состав руды, %

Table 2. Chemical composition of the ore, %

Материал	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	FeO	P	S
Богатая хромовая руда 0 – 10 ДХ-2	50,0	7,70	12,2	0,002	0,020

Составы опытных вариантов брикетов из хромовой руды и углеродистых восстановителей

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

Номер варианта	Вид технологии	Материал	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	82,00
		Кокс КНР	18,00

росплавов. По этому варианту работа продолжалась в течение 0,92 сут, проведено 11 плавов. 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 сходилась самосходом. Производительность печи составила 155,0 кг Cr/сут, извлечение хрома – 79,3 %.

Этап № 2 (брикеты с шубаркольским углем). На данном этапе плавка осуществлялась с использованием в шихте брикетов с шубаркольским углем в количестве 42,4 кг на колошу. По этому варианту работа продолжалась в течение 0,75 сут, проведено 9 плавов. 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 плавка осуществлялась с исполь-

зованием в шихте брикетов с борлинским углем в количестве 42,0 кг на колошу. По этому варианту работа продолжалась в течение 0,5 сут, проведено 6 плавов. 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 сходилась самосходом. Производительность печи составила 158,6 кг Cr/сут, извлечение хрома – 84,91 %.

Этап № 4 (брикеты с коксом КНР). На данном этапе испытаний плавка осуществлялась с использованием в шихте брикетов из руды фракции 0 – 10 мм и кокса КНР в количестве 30 кг на колошу. По этому варианту работа продолжалась в течение 1,25 сут, проведено 15 плавов. 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 отличались от предыдущего периода. Шихта также сходилась равномерно, без обвалов, разрушения брикетов на колошнике не наблюдалось (рис. 1). Токовая нагрузка отличалась высокой устойчивостью, процесс шел 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 1000 км (рис. 2).



Рис. 1. Внешний вид брикетов из руды и кокса КНР на колошнике печи

Fig. 1. Appearance of briquettes from the PRC ore and coke on the furnace top

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

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



Рис. 2 Начальный внешний вид брикетов из руды и кокса КНР

Fig. 2. Initial appearance of briquettes from the PRC ore and coke

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

Разработанная технология позволяет вовлечь в производство мелочь хромистых руд и мелкодисперсных отсеков углеродистых восстановителей путем брикетирования в виде моношихты.

В процессе разработки технологии стандартизована шихтовка, снижено влияние человеческого фактора на конечные результаты выплавки сплава в печи и достиг-

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

Показатель	Период			
	традиционная без брикетирования	брикеты с 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, кг/ т Cr:				
хромовая руда 50% Cr ₂ O ₃	3685,9	3224,73	3315,2	3442,7
восстановитель	1031,2	806,18	1306,9	1311,1
кокс КНР	397,0	806,18	–	–
спецкокс	239,3	–	–	–
уголь шубаркольский	–	–	1306,9	–
уголь борлинский	394,9	–	–	1311,1
кварцит	–	–	112,5	–
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т Cr	11 824	11 470,69	11 317	11 635

нута высокая степень готовности к автоматизации процесса в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Pietsch W. *Agglomeration in Industry. Occurrence and Applications*. – Wiley-VCN, 2004. – 834 p.
- Бижанов А.М., Курунов И.Ф., Подгородецкий Г.С. и др. Брикеты экструзии (брэскы) для производства ферросплавов // *Металлург*. 2012. № 12. С. 52.
- Бижанов А.М., Курунов И.Ф., Дашевский В.Я. О механической прочности брикетов экструзии: I. Зависимость прочностных свойств брикетов экструзии от связующего // *Металлы*. 2015. № 2. С. 19 – 25.
- Курунов И.Ф., Бижанов А.М., Тихонов Д.Н., Мансурова Н.Р. *Металлургические свойства брэсков* // *Металлург*. 2012. № 6. С. 44 – 48.
- Steele R.B., Bizhanov A.M. Stiff extrusion agglomeration of arc furnace dust and ore fines for recovery at a ferroalloy smelter // Proc. 32nd Biennial Conf. (New Orleans, Louisiana, September, 2011). Institute for Briquetting and Agglomeration. Vol. 32. P. 41 – 53.
- Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. *Общая металлургия*. – М.: Металлургия, 2000. – 768 с.
- Абдулабеков Е.Э., Каскин К.К., Нурумгалиев А.Х. *Теория и технология производства хромистых сплавов*. – Актобе, 2010. – 280 с.
- Гриненко В.И., Петлюх П.С., Такенов Т.Д. и др. Освоение технологии выплавки высокоуглеродистого феррохрома с использованием брикетированной мелочи хромитовой руды // *Сталь*. 2001. № 12. С. 28 – 30.
- Magdziarz A., Kuźnia M., Bembek M. etc. Briquetting of EAF dust for its utilisation in metallurgical processes // *Chemical and Process Engineering*. 2015. Vol. 36. No. 2. P. 263 – 271(9).
- 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.
- 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.
- Хорошавин Л. *Металлургические брикеты нового поколения сокращают продолжительность плавки металлов* // *Уральский рынок металлов*. 2006. № 7. С. 39 – 42.
- Ожогин В.В., Томаш А.А., Ковалевский И.А. Брикетирование как полноправный метод окускования металлургического сырья // *Металлургические процессы и оборудование*. 2005. № 2. С. 54 – 58.
- 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 // VII Междунар. конгресс сталеплавильщиков. – М., 2002.
- Бабанин В.И., Еремин А.Я., Бездежский Г.Н. Разработка и внедрение новой технологии брикетирования мелкофракционных материалов с жидким стеклом. Часть I // *Металлург*. 2007. № 1. С. 68 – 71.
- Бездежский Г.Н., Смоляков В.П., Бабанин В.И. и др. Освоение брикетирования хромитового концентрата на Донском горно-обогатительном комбинате // *Цветная металлургия*. 2002. № 8 – 9. С. 7 – 10.
- Озеров С.С., Портов А.Б., Цемехман Л.Ш. Брикетирование мелкозернистых материалов // *Цветные металлы*. 2014. № 7. С. 26 – 31.
- Ожогин В.В. *Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья*. – Мариуполь: ПГТУ, 2010. – 442 с.
- 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. P. 63 – 66.
- Tolymbekov M.Zh., Baisanov S.O., Izbembetov D.D. etc. Smelting high-carbon ferrochrome with uniform briquetted batch // *Steel in Translation*. 2010. Vol. 40. No.6. P. 556 – 557.

Поступила 1 июня 2018 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. VOL. 61. NO. 9, pp. 702–707.

TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF HIGH-CARBON FERROCHROMIUM USING MONO-BRIQUETTES

E.Zh. Shabanov¹, D.D. Izbembetov², S.O. Baisanov¹, M.F. Shadiev²

¹Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Republic of Kazakhstan

²LLP “NTP “Innovative Technologies”, Aktobe, Republic of Kazakhstan

Abstract. The article presents results of large-scale laboratory studies on the basis of Chemical-Metallurgical Institute named after Zh. Abishev 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 transformer capacity of 200 kVA. Duration of the pilot campaign was 4 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, traditional technology with charge materials without briquetting was used. In total, when conducted large-scale laboratory studies it was 41 smeltings. The tests began with a comparative version, which was chosen as technology closest to the technology at Aktobe ferroalloy plant. On the traditional charge, top worked without

the uniformly gassing over entire surface of the top. Recovery rate of chromium in the alloy was 79.3 %. Change to briquettes with Shubarkol coal in general has led to the process intensification with more stable current load. The furnace productivity increased to 165.9 kg Cr/day due to increase in the contact surface of reacting phases in briquettes. When using briquettes with Borlinsky coal, satisfactory technological parameters of the smelting process for high-carbon ferrochrome were also obtained, extraction rate of chromium into the metal was 84.91 %. When using briquettes from 0 – 10 mm ore fraction ore and CPR coke in the charge, furnace operation and 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 and current load was highly stable. The work also presents comparative technical and economic indicators for all technologies using mono-charge briquettes.

Keywords: mono-charge, briquette, high-carbon ferrochromium, chrome ore, coke, reducing agent, coal.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-9-702-707

REFERENCES

- Pietsch W. *Agglomeration in Industry. Occurrence and Applications*. Wiley-VCN, 2004, 834 p.

2. Bizhanov A.M., Kurunov I.F., Podgorodetskii G.S., Dashevskii V.Ya., Farnasov G.A. Experience with the use of extrusion briquettes (brex) to make ferrosilicomanganese. *Metallurgist*. 2013, vol. 57, no. 1-2, p. 105–112.
3. Bizhanov A.M., Kurunov I.F., Dashevskii V.Ya. Mechanical strength of extrusion briquettes (brex) for blast-furnace and ferroalloy production: I. Dependence of the strength properties of extrusion briquettes on the binder. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2015, no. 3, p.185–190.
4. Kurunov I.F., Bizhanov A.M., Tikhonov D.N., Mansurova N.R. Metallurgical properties of brex. *Metallurgist*. 2012, vol. 56, no. 5-6, pp. 430–437.
5. Steele R.B., Bizhanov A.M. Stiff extrusion agglomeration of arc furnace dust and ore fines for recovery at a ferroalloy smelter. In: *Proc. 32nd Biennial Conf. (New Orleans, Louisiana, September, 2011)*. Institute for Briquetting and Agglomeration. Vol. 32, pp. 41–53.
6. Voskoboinikov V.G., Kudrin V.A., Yakushev A.M. *Obshchaya metallurgiya* [General metallurgy]. Moscow: Metallurgiya, 2000, 768 p. (In Russ.).
7. Abdulabekov E.E., Kaskin K.K., Nurumgaliev A.Kh. *Teoriya i tekhnologiya proizvodstva khromistykh splavov* [Theory and technology of production of chromium alloys]. Aktobe, 2010, 280 p. (In Russ.).
8. Grinenko V.I., Petlyukh P.S., Takenov T.D., Zhakibekov T.B., Tolymbekov M.Zh.. Mastering the technology of smelting high-carbon ferrochromium using briquetted chrome ore trifle. *Stal'*. 2001, no. 12, pp. 28–30. (In Russ.).
9. Magdziarz A., Kuźnia M., Bembenek M., Gara P., Hryniewicz M. Briquetting of EAF dust for its utilization in metallurgical processes. *Chemical and Process Engineering*. 2015, vol. 36, no. 2, pp. 263–271(9).
10. Ryvkin I.Yu., Eremin A.Ya., Litvin E.M., Babanin V.I. Briquetting of fine-grained and finely dispersed materials with a binder. *Koks i khimiya*. 2000, no. 10, pp. 36–43. (In Russ.).
11. Eremin A.Ya., Babanin V.I. Physical-mechanical properties of dispersed materials during briquetting. *Koks i khimiya*. 2003, no. 4, pp. 17–26. (In Russ.).
12. Khoroshavin L. Metallurgical briquettes of the new generation reduce the duration of metals smelting. *Ural'skii rynek metallov*. 2006, no. 7, pp. 39–42. (In Russ.).
13. Ozhogin V.V., Tomash A.A., Kovalevskii I.A. Briquetting as a full-fledged method of agglomeration of metallurgical raw materials. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie*. 2005, no. 2, pp. 54–58. (In Russ.).
14. Kotenev V.I., Barsukova E.Yu. Technology and economics of production of briquettes from fine-dispersed wastes of metallurgical and coke-chemical industries for economically advantageous replacement of the traditional burden of steelmaking, blast-furnace and ferroalloy processing and the method of its production. In: *7-i Mezhdunarodnyi Kongress staleplavil'shchikov. 14 noyabrya 2002. Moskva* [7th International Congress of Steel Makers. November 14, 2002, Moscow]. (In Russ.).
15. Babanin V.I., Eremin A.Ya., Bezdezhskii G.N. Development and introduction of a new technology for briquetting finely divided materials with sodium silicate. *Metallurgist*. 2007, vol. 51, no. 1-2, pp. 131–135.
16. Bezdezhskii G.N., Smolyakov V.P., Babanin V.I., Eremin A.Ya., Til' V.V., Shashkin V.N. Mastering the briquetting of chromite concentrate at the Don Mining and Processing Combine. *Tsvetnaya metallurgiya*. 2002, no. 8-9, pp. 7–10. (In Russ.).
17. Ozerov S.S., Portov A.B., Tsemekhman L.Sh. Briquetting of fine-grained materials. *Tsvetnye metally*. 2014, no. 7, pp. 26–31. (In Russ.).
18. Ozhogin V.V. *Osnovy teorii i tekhnologii briketirovaniya izmel'chennogo metallurgicheskogo syr'ya: monografiya* [The fundamentals of the theory and technology of briquetting of crushed metallurgical raw materials: monograph]. Mariupol: PGU, 2010, 442 p. (In Russ.).
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, pp. 63–66.
20. Tolymbekov M.Zh., Baisanov S.O., Izbembetov D.D., Abdulabekov E.E., Akuov A.M. Smelting high-carbon ferrochrome with uniform briquetted batch. *Steel in Translation*. 2010, vol. 40, no. 6, pp. 556–557.

Information about the authors:

E.Zh. Shabanov, Ph.D, Head of the Laboratory of Ferroalloys and Reduction Processes (ye.shabanov@gmail.com)

D.D. Izbembetov, Cand. Sci. (Eng.), Professor, Deputy Director for Research

S.O. Baisanov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Laboratory "Metallurgical Melts"

M.F. Shadiev, Director

Received June 1, 2018