

УДК 669.168

МРНТИ 53.31.21.

<https://doi.org/10.31643/2018/6445.28>Комплексное использование  
минерального сырья. № 4. 2018.

ISSN 2616-6445 (Online), ISSN 2224-5243 (Print)

*С. Т. ГАБДУЛЛИН\**, *С. БАЙСАНОВ*, *Е. Ж. ШАБАНОВ*, *Р.Т. ТОЛЕУКАДЫР*, *Д.Р. МУЗДЫБАЕВ**Филиал РГП Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан "Химико-металлургический институт им. Ж.Абишева", Караганда, Казахстан**\*e-mail: hmi-ferro@mail.ru*

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОЗОЛЬНЫХ УГЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСПЛАВОВ

*Received: 5 August 2018 / Peer reviewed: 5 September 2018 / Accepted: 15 September 2018*

**Резюме:** В лабораторных условиях проведены исследования по изучению металлургических свойств высокозольных восстановителей на примере каменных углей месторождения Борлы. Определены физико-химические характеристики изучаемых углей: прочность, плотность, пористость, удельное электрическое сопротивление и реакционная способность. Проведен сравнительный анализ свойств угля с известными восстановителями ферросплавного производства: магнитогорским и китайским коксами, ангарским и ленинск-кузнецким полукоксами. Установлено, что исследуемые угли имеют высокие значения удельного электрического сопротивления и высокие значения реакционной способности, обеспечивающие интенсивное восстановление оксидов шихтовых материалов, а также способствующее более полному использованию мощности печи. Показания механической прочности исследуемого угля соответствуют требованиям, предъявляемым к углесодержащему сырью, используемому для производства ферросплавов и составляют 50-60 %. Основной прочностной характеристикой углеродистых восстановителей, применяемых в ферросплавной промышленности, является их структурная прочность, значения которой должны находиться в пределах 45-55 %. Структурная прочность исследуемого нами угля достаточно высока и составляет 81,35 % и близка по значению к магнитогорскому коксу 87,5 %. Показатель реакционной способности высокозольного угля составляет 8,61 мл/г·с и сравнимо с величинами ленинск-кузнецкого 8,02 мл/г·с, а также ангарского 9,80 мл/г·с полукоксов. В целом, показатели металлургических свойств высокозольных борлинских углей находятся в допустимых пределах и вполне соответствуют требованиям, предъявляемым к восстановителям, используемым при производстве ферросплавов.

**Ключевые слова:** высокозольный уголь, восстановитель, ферросплав, полукокк, удельное электросопротивление, прочность.

**Введение.** Различные углеродистые материалы, используемые в рудной электротермии в качестве восстановителя, должны иметь высокие значения удельного электросопротивления и реакционной способности, достаточную механическую прочность, хорошие газопроницаемость и термостойкость, низкое содержание вредных и повышенное полезных примесей. В настоящее время известно применение различных углеродистых восстановителей для электротермии ферросплавов. Показана возможность использования полукоксов из различных углей и полученных разными методами [1], спецкоксов [2] (пекового, нефтяного, торфяного, лигнинового и др.), минеральных углей [3-14] (бурых, каменных, тощих и жирных) с небольшим содержанием летучих веществ, специальных смесей углеродистых восстановителей с различными материалами. Однако восстановители, используемые при получении ферросплавов,

либо нестабильны по своим физико-химическим свойствам и поэтому не удовлетворяют специфике процесса, либо ограничены по объему производства. Обычно ферросплавные заводы покрывают свои потребности в восстановителе за счет дефицитного доменного кокса и образующегося при его сортировке отхода - коксового орешка, являющегося основным видом углеродистого восстановителя, используемого в производстве ферросплавов. Тем не менее, тот и другой, обладая высокой механической прочностью, имеют низкие реакционную способность и удельное электросопротивление. Применение углеродистых восстановителей, позволяющих заменить коксик для ферросплавной промышленности, по-прежнему актуально. В связи с возрастающим дефицитом и дороговизной доменного кокса и, как следствие, увеличивающейся сложностью обеспечения ферросплавных предприятий коксиком-орешком обостряется проблема поиска перспективных

природных углеродистых восстановителей, способных удовлетворить технологические требования выплавки ферросплавов наряду с улучшением экономических показателей за счет низкой стоимости сырья. Ранее широкое использование получили ангарский и ленинско-кузнецкий полукокс [2]. В практике производства ферросплавов широко известны случаи использования различных каменных углей в качестве восстановителя. В связи с необходимостью расширения номенклатуры применяемых в настоящее время восстановителей для производства ферросплавов необходим поиск качественно новых видов топлива. Ранее проведенными исследованиями показано, что угли Борлинского месторождения относятся к высокозольным ( $\geq 30\%$ ) и характеризуются высоким содержанием оксидов алюминия и кремния, а также пониженным содержанием фосфора и серы. Эти факторы весьма полезны и важны для карботермического получения ферросиликомарганца и высокоуглеродистого феррохрома. Однако наряду с этим, угли должны обладать комплексом физико-механических свойств отвечающих требованиям, предъявляемым к восстановителям для получения металлопродукции, в частности ферросплавов.

В связи с этим **целью** настоящей работы было проведение исследований свойств высокозольных каменных углей месторождения Борлы для установления возможности его использования в качестве восстановителя при производстве ферросплавов.

**Экспериментальная часть.** Кажущийся удельный вес углей был определен методом парафинирования (Груздева Н.А., Кожевников О.П. Определение истинного и кажущегося удельных весов и пористости кокса. 1957). Пробы угля тщательно очищали кистью от выкрошивающихся зерен и пыли. Образец взвешивали на аналитических весах, находя его вес на воздухе (В), затем опускали на 1-2 секунды в расплавленный при 343 К парафин. Образующиеся на поверхности образца воздушные пузыри прокалывали и заглаживали нагретой иглой. Данный образец вновь взвешивали, находя его вес с парафином (А). Вес парафинированного образца в воде (С) определяли по потере веса при погружении его в воду посредством корзины из тонкой проволоки, взвешивая на аналитических весах. Кажущийся удельный вес определяли по формуле:

$$\gamma_{\kappa} = \frac{0,9 \cdot B}{B - 0,1 \cdot A - 0,9 \cdot C} \quad (1)$$

где 0,9 – удельный вес парафина ( $\text{г}/\text{см}^3$ ).

Действительный удельный вес проб углей определяли пикнометрическим способом (Ильинский Г.П. Определение плотности минералов. 1975). Для этого чистые пронумерованные пикнометры с пробками взвешивали по три раза каждый, находя среднее значение веса пустого пикнометра ( $d_1$ ). Затем пикнометры наполняли до метки толуолом и опускали в ванну с водой, нагретой до 293 К, и выдерживали 15-20 минут, после чего досуха обтирали и вновь взвешивали по три раза каждый.

Из этих трех результатов находили среднее значение веса пикнометра с толуолом – ( $d_3$ ). Толуол выливали, пикнометры высушивали и засыпали в них истертую пробу, взвешивали и находили среднее значение веса пикнометра с истертой пробой – ( $d_2$ ).

В пикнометры с навеской наливали толуол, тщательно перемешивали и доливали толуол до метки. Затем пикнометры опускали в ванну с нагретой до 293 К водой на 15-20 минут, после чего пикнометры с навеской и толуолом досуха обтирали и взвешивали, находя среднее значение веса пикнометра с навеской и толуолом – ( $d_4$ ).

После нахождения вышеуказанных параметров находили действительный удельный вес углей ( $\gamma_d$ ) по формуле:

$$\gamma_d = \frac{(d_2 - d_1) \cdot 0,866}{(d_2 - d_1) + d_3 - d_4} \quad (2)$$

где 0,866 – удельный вес толуола.

По значениям кажущегося и действительного удельных весов определена пористость образцов (Р общ).

$$P_{\text{общ}} = \frac{\gamma_d - \gamma_{\kappa}}{\gamma_d} \cdot 100\% \quad (3)$$

Полученные результаты по действительным, кажущимся удельным весам и пористости углей представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 - Значения удельных весов и пористости углей.

№ проб	Действительная плотность $\gamma_d$ , $\text{г}/\text{см}^3$	Кажущаяся плотность $\gamma_{\kappa}$ , $\text{г}/\text{см}^3$	Пористость Р, %
1	1,68	1,49	11,31
2	1,68	1,50	10,71
3	1,67	1,51	9,58
4	1,68	1,52	9,52
5	1,69	1,53	9,47

Показатели пористости сравниваемых восстановителей приведены на рисунке 1.

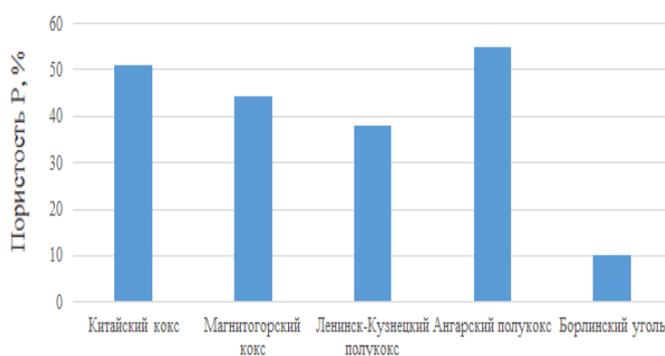


Рисунок 1 - Показатели пористости восстановителей

Реакционную способность углей определяли по стандартной методике по ГОСТ 10089-89. Суть этого метода заключается в определении константы скорости реакции взаимодействия углерода кокса с углекислым газом при температуре 1223-1323 К в течение 15 минут по формуле:

$$K = \frac{V \cdot T}{q \cdot T_1} \cdot R \quad (5)$$

где V – скорость подачи CO<sub>2</sub> при температуре помещения T<sub>1</sub> и атмосферном давлении, см<sup>3</sup>/сек.; T – заданная и поддерживаемая температура; R – степень преобразования газ-реагента; q – содержание углерода в горючей массе восстановителя.

Данные исследований реакционной способности углей приведены на рисунке 2. Там же приведены результаты исследования других восстановителей.

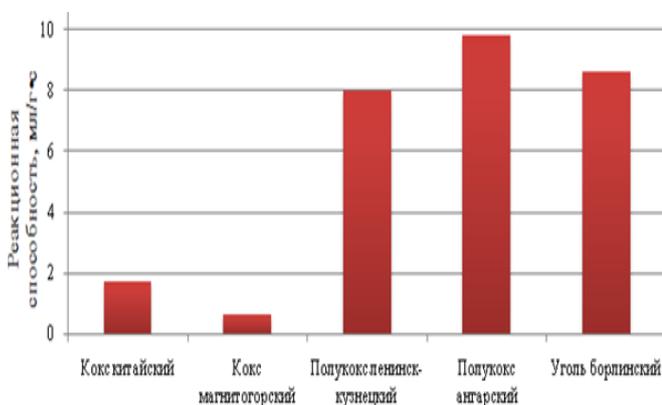


Рисунок 2 – Показатели реакционной способности восстановителей

Для определения удельного электросопротивления (УЭС) углей применялась

лабораторная установка (Жило Г.М., Александров В.И. и др. 1986) схема которой приведена на рисунке 3. Экспериментальная установка состоит из нагревательной печи (1), вмещающей в себя цилиндр (2) из электроизоляционного материала, рабочее пространство которого было заполнено исследуемым углем (3) высотой слоя 40 мм и крупностью 3-6 мм. Рабочий объем цилиндра ограничивался снизу неподвижными молибденовыми токоподводящими электродами (4), напряжение к которым подавалось от трансформатора с фиксированием тока амперметром (6). На верхний подвижный электрод, выполненный из молибдена (5), и исследуемый материал оказывалось через груз (9) давление, равное 0,4 кг/см<sup>2</sup>, и методом амперметра-вольтметра измеряли его сопротивление. Сопротивление переходных контактных соединений исключается путем использования потенциометрического способа измерения падения напряжения на исследуемом участке, ограниченном потенциометрическими кольцами, с подключенным к ним вольтметром. С целью предотвращения появления микродуг между частицами, подаваемое напряжение должно составлять не более 1,5-2,0 В.

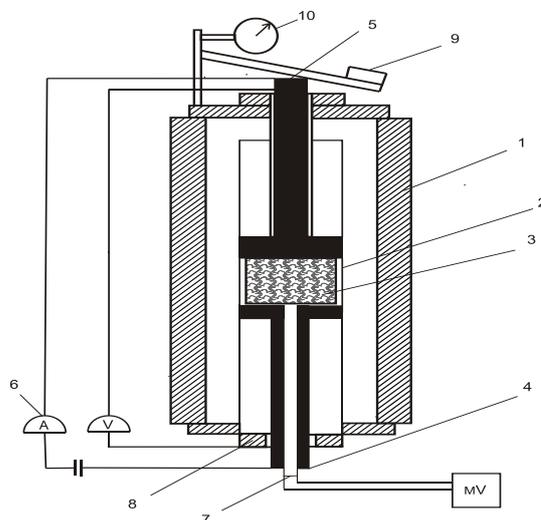


Рисунок 3 – Установка для определения УЭС материалов

Удельное электрическое сопротивление рассчитывается по формуле:

$$\rho = \frac{\Delta U \cdot S}{I \cdot H} \quad (4)$$

где ΔU – падение напряжения на исследуемом участке; S – площадь поперечного сечения

цилиндра; Н – расстояние между верхним и нижним электродами.

Температура исследуемого материала замерялась через каждые 323 К термопарой (7) типа ВР-5/20, помещенной в отверстие цилиндра через нижний электрод. Функция водоохлаждения корпуса печи осуществлялась посредством холодильника (8). Скорость повышения температуры составляет 17-20 град/мин, что соответствует скорости нагрева шихты в электропечах. Изменение высоты слоя восстановителя фиксировалось индикатором (10). Сравнительные значения УЭС различных видов углеродистого сырья приведены в таблице 2. Показатели механической М40 и структурной прочности  $P_c$  борлинского угля определялись стандартными методами по ГОСТ 8929-75 и ГОСТ 9521-2017 соответственно.

**Результаты и их обсуждение.** Сравнение результатов испытаний прочности, проведенных по вышеуказанным ГОСТам со свойствами других углеродистых восстановителей (рисунок 4), показало, что значения механической прочности борлинского угля несколько ниже показателей китайского и магнитогорского коксов. Данные исследовани механической М40 и структурной прочности  $P_c$  исследуемых высокозольных углей и сранимых коксов и полукоксов приведены на рисунке 4.

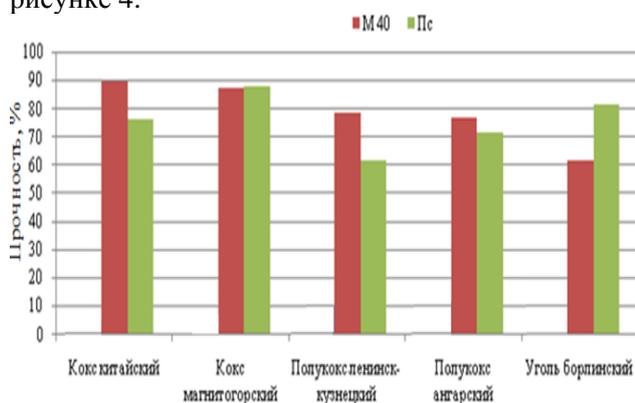


Рисунок 4 – Показатели прочности восстановителей

Из рисунка 4 видно, что механическая прочность восстановителей убывает в последовательности: магнитогорский и китайский коксы – ленинско-кузнецкий и ангарский полукоксы – борлинский уголь. Показания механической прочности исследуемого угля соответствуют требованиям ГОСТ 8929-75, предъявляемым к углеродистому сырью, используемому для

производства ферросплавов - М 40: 50-60 %. Основной прочностной характеристикой углеродистых восстановителей, применяемых в ферросплавной промышленности, является их структурная прочность  $P_c$ , значения которой должны находиться в пределах 45-55 % по ГОСТ 9521-2017. Наиболее высоким показателем по сравнению с китайским коксом 76,4 %, ангарским 71,5 % и ленинско-кузнецким 61,8 % полукоксами обладает магнитогорский кокс. Структурная прочность исследуемого нами угля достаточно высока 81,35 % и близка по значению к магнитогорскому коксу 87,5 %.

В целом, значения прочностных характеристик изучаемого топлива вполне сравнимы с аналогичными углеродосодержащим сырьем, применяемого для выплавки феррохрома в условиях Актюбинского завода ферросплавов.

Плотность углеродосодержащего материала оказывает большое влияние на распределение мощности в ванне печи, скорость схода шихты и газопроницаемость колошника. При восстановительных процессах в условиях выплавки ферросплавов в руднотермических печах, где основным источником тепла является электроэнергия, рекомендуется использовать сырье с более низкой плотностью. Низкие значения пористости борлинского угля 10-11 % обусловлены его повышенной плотностью (удельным весом) по сравнению с магнитогорским и китайским коксами, а также с ангарским и ленинско-кузнецким полукоксами. Плотность угля составляет 1,51 г/см<sup>3</sup>, а плотность коксов и полукоксов равна 0,82-1,05 г/см<sup>3</sup>. Низкая плотность (удельный вес) обеспечивает высокую пористость, что, в свою очередь, способствует проникновению газообразного восстановителя вглубь кускового материала и увеличению степени восстановления руды.

Из таблицы 2 видно, что значения удельного электросопротивления восстановителей резко отличаются при сравнительно низких температурах до 1100 К и близки при более высоких начиная с 1300 К. При высоких температурах ( $\geq 1473$  К) электросопротивление всех углеродистых восстановителей резко падает, но тем не менее исследуемый нами уголь сохраняет высокое значение удельного электросопротивления по сравнению с восстановителями более высокой степени метаморфизма. Таким образом, прослеживается влияние природы

Таблица 2 – Значения удельного электрического сопротивления восстановителей, ом · см

Температура, К	Наименование восстановителя				
	Ангарский полукокс	Ленинск-кузнецкий полукокс	Магнитогорский кокс	Китайский кокс	Борлинский уголь
20	37,83	$9,30 \cdot 10^4$	4,06	5,53	$4,37 \cdot 10^{10}$
100	42,18	$1,95 \cdot 10^4$	3,73	5,02	$6,46 \cdot 10^{10}$
200	37,15	$5,87 \cdot 10^3$	3,50	4,89	$7,94 \cdot 10^{10}$
300	34,67	$2,43 \cdot 10^3$	3,30	4,82	$1,29 \cdot 10^{10}$
400	30,20	$1,31 \cdot 10^3$	3,25	4,70	$1,71 \cdot 10^8$
500	25,12	$5,45 \cdot 10^2$	3,23	4,69	$4,07 \cdot 10^6$
600	18,20	$1,03 \cdot 10^2$	3,23	4,51	$8,71 \cdot 10^4$
700	14,79	1,23 · 10	3,20	4,41	$4,68 \cdot 10^3$
800	10,00	4,72	3,12	4,37	$1,70 \cdot 10^2$
900	8,51	3,77	2,86	3,91	43,65
1000	6,61	3,12	2,57	3,89	20,89
1100	5,62	2,71	2,48	3,86	9,33
1200	4,17	2,42	2,30	3,82	5,25
1300	2,82	2,13	2,20	3,74	3,47
1400	2,09	1,95	2,00	3,65	3,23
1500	1,91	1,78	1,85	3,60	2,34

восстановителя, его структуры и кристаллического строения. Высокое удельное электросопротивление обеспечивает технологичность процесса, повышает рост активного сопротивления ванны печи, увеличивая мощность печного агрегата печи и снижая энергетические затраты на нагрев шихты. Показатели реакционной способности сравниваемых видов восстановителей указывают на повышенную химическую активность борлинского угля. Значение вышеупомянутой характеристики изучаемого сырья довольно высоко 8,61 мл/г·с и сравнимо с величинами ленинск-кузнецкого 8,02 мл/г·с и ангарского 9,80 мл/г·с полукоксов. Китайский и магнитогорский коксы обладают гораздо меньшей реакционной способностью – 1,70 и 0,65 мл/г·с, соответственно. Процесс термического разложения угля способствует разогреву шихты и поступлению его в реакционную зону печи в виде полукокса, что в свою очередь приводит к улучшению электрического режима процесса.

Таким образом, по своим физико-химическим свойствам исследуемое углеродосодержащее сырье пригодно в качестве восстановителя, так как обладает оптимальными: прочностными характеристиками, пористостью, удельным электросопротивлением и реакционной способностью.

**Выводы.** Результаты испытаний показали, что показания механической прочности угля месторождения Борлы соответствуют

параметрам, предусмотренным ГОСТ 8929-75 для углеродистых восстановителей, используемых для выплавки ферросплавов. Структурная прочность испытуемого материала составляет 81,35 % и вполне отвечает требованиям ГОСТ 9521-2017. Установленные параметры показали, что исследуемый материал отвечает требованиям, предъявляемым к восстановителям для электротермического производства ферросплавов, поскольку имеет высокие: удельное электрическое сопротивление, способствующее более полному использованию мощности печи, и реакционную способность, обеспечивающую интенсивное восстановление оксидов шихтовых материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Святлов Б.А., Головачев Н., Платонов В. Привалов О., Ким В., Ефимец А., Худов С., Нурмуханбетов Ж. Опытная кампания по использованию Ленинск-Кузнецкого полукокса при производстве высококремнистого ферросилиция. Физико-химические и технологические вопросы металлургического производства Казахстана: сб. науч. тр. ХМИ им.Ж.Абишева. – Алматы, 2002. Т. 30, кн.2. – С. 325-329.

2 Ким В. А., Толымбеков М.Ж., Привалов О.Е., Осипова Л.В., Кударин С.Х. Использование углеродистых восстановителей в ферросплавном производстве Казахстана. // Москва. Сталь. – 2010. – №10. – С. 33-37.

3 Мусина И.Б., Такенов Т.Д., Толымбеков М.Ж. Привалов О.Е., Головачев Н.П. Оценка

высокозольного низкофосфористого угля в качестве восстановителя при выплавке высокоуглеродистого феррохрома. // Тезисы докл. IV Межд. науч.-практ. конф. «Проблемы и пути устойчивого развития горно-добывающих отраслей промышленности». Казахстан, Хромтау, 2007. – С. 691-694.

4 Толымбеков М.Ж., Мусина И.Б., Акуов А.М., Такенов Т.Д., Осипова Л.В. Разработка технологии получения комплексного сплава АХС (алюминий-хром-кремний) из кемпирсайских хромовых руд и экибастухского угля. // Комплексное использование минерального сырья. Алматы. – 2008. – №5. – С. 105-109.

5 Мусина И.Б., Толымбеков М.Ж., Байсанов С.О., Привалов О.Е., Осипова Л. Использование высокозольных каменных углей при производстве углеродистого феррохрома и ферросиликомарганца. // Теория и практика ферросплавного производства: сб. науч. тр. – АО «Серовский завод ферросплавов». Нижний Тагил, 2008. – С. 62-65.

6 Шабанов Е.Ж., Байсанов С.О., Чекимбаев А.Ф., Жаксылыков Д.А., Мухамбеталиев Е.К. Исследования по измерению удельного электросопротивления и температуры начала размягчения шихтовых материалов алюмосиликохрома при термическом воздействии. // Труды VI Межд. науч.-практ. конф. «Научно-технический прогресс в металлургии». –Темиртау, – 2011. – С. 78-82.

7 Фрейдина Е.В., Ботвинник А.А., Дворникова А.Н. Основные принципы использования угля. // Горная наука. – 2011. – Т. 47. № 5. – С. 593-605.

8 Шабанов Е., Байсанов С., Исагулов А., Байсанов А., Чекимбаев А., Жаксылыков Д. Получение комплексного сплава алюмосиликохрома // Промышленность Казахстана. Алматы, – 2013. – № 5. – С. 44-45.

9 Раздобреев В.Г. Получение комплексных углеродистых восстановителей из высокозольных углей. // Научное и творческое наследие академика Е.А.Букетова. – Караганда. 2015, Т.1. – С.427-430.

10 Толымбеков М.Ж., Орлов А.С., Святлов Б.А., Мусина И.Б., Габдуллин С.Т. Получение комплексного сплава на базе алюминия, кремния и хрома с использованием брикетированного сырья. // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 90 летию выдающегося ученого, академика АН КазССР, лауреата государственной премии СССР Букетова Евнея Арстановича. "Химия и металлургия комплексной переработки минерального сырья". Караганда, 2015. – С. 302-307.

11 Мусина И.Б., Толымбеков М.Ж., Габдуллин С.Т., Агисова А.К., Мухтарова Г.М., Орлов А.С. Перспективы использования карбонатно-силикатно-оксидных марганцевых руд и высокозольных углей для получения комплексного кальцийсодержащего сплава. // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 90 летию выдающегося ученого,

академика АН КазССР, лауреата государственной премии СССР Букетова Евнея Арстановича. "Химия и металлургия комплексной переработки минерального сырья". Караганда, 2015. – С. 298-301.

12 Самуратов Е.К., Абииков С.Б., Акуов А.М., Жумагалиев Е.У., Келаманов Б.С., Изучение физико-химических превращений углей в неизотермических условиях. // Технические науки – 2016. – № 8-9. – С. 54-55.

13 Мухамбеталиев Е.К., Байсанов С.О., Роцин В.Е. Высокозольный уголь – комплексное сырье для получения ферросплава. // Материалы VI Межд. науч.-техн. конф. «Переработка минерального сырья. Инновационные технологии и оборудование». – Минск: ОАО «НПО Центр», 04-05 октября 2016. – С. 31-33.

14 Толымбеков М.Ж., Габдуллин С.Т. Получение комплексного кальцийсодержащего сплава. // Труды университета. Караганда. – 2017. – № 5. – С. 33-36.

## REFERENCES

1 Svyatov B. A., Golovachov, N., Platonov V. Privalov O., Kim V., Efimets A., Khudov S., Nurmukhanbetov Zh. *Opytnaja kampanija po ispol'zovaniju Leninsk-Kuzneckogo polukoksa pri proizvodstve vysokokremnistogo ferrosilicija* (Experienced campaign on the use of Leninsk-Kuznetsk of semi-coke in the production of high-silicon ferrosilicon). *Fiziko khimicheskiyei tekhnologicheskiye voprosy metallurgicheskogo proizvodstva Kazakhstana: sb. nauch. tr. KhMIm. Zh. Abisheva* (Physico-chemical and technological issues of metallurgical production of Kazakhstan: collection of scientific works. Tr. Of CMI them. J. Abisheva.) **Almaty, 2002. 30, 2. 325-329.** (in Russ.)

2 Kim V.A., Tolymbekov M.Zh., Privalova O.E., Osipova L.V., Kudarinova S.H. *Ispol'zovanie uglerodistykh vosstanovitelej v ferrosplavnom proizvodstve Kazakhstana* (Use of carbonaceous reducing agents in ferroalloy production in Kazakhstan). *Stal=Steel. Moscow, 2010. 10. 33-37.* (in Russ.)

3 Mussina I.B., Takenov, T. D., Tolymbekov M.Zh., Privalov O.E., Golovachev N.P. *Otcenka vysokozol'nogo nizkofosforistogo uglja v kachestve vosstanovitelja pri vyplavke vysokouglerodistogo ferrohroma* (Assessment low phosphorous high-ash coal as a reductant in the smelting of high-carbon ferrochrome). *Abstracts. IV Mezhd. science. practice. Conf. "Problems and ways of sustainable development of mining industries". Khromtau, 2007. 691-694.* (in Russ.)

4 Tolymbekov M.Zh., Musina I.B., Aкуov A.М., Takenov T.D., Osipova L.V. *Razrabotka tekhnologii polucheniya kompleksnogo splava AHS (alyuminij-hrom-kremnij) iz kempirsajskih hromovykh rud i ehkibastuhkogo uglja* (Development of technology for obtaining a complex alloy of AHS (aluminum-chromium-silicon) from Kempirsai chrome ores and ekibastuhkogo coal). *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya=*

*Complex use of mineral resources*. Almaty. **2008**. 5. 105-109. (in Russ.)

5 Musina I. B., Tolymbekov M.Zh., Baisanov S. O., Privalov O.E., Osipova L. *Ispol'zovanie vysokozol'nyh kamennyh uglej pri proizvodstve uglomerodistogo ferrohroma i ferrosilikomarganca* (The use of high-ash coal in the production of carbon ferrochrome, and of ferrosilicomanganese in). *Teoriya i praktika ferrosplavnogo proizvodstva: sb. nauch. tr. AO «Serovskiy zavod ferrosplavov»* (Theory and practice of Ferroalloy production: collection of scientific works. Tr. JSC "Serov Ferroalloy plant"). Nizhny Tagil, **2008**. 62-65. (in Russ.)

6 Shabanov Ye.Zh., Baikanov S.O., Chekimbaev A.F. Zhaksylykov D.A., Mukhambetgaliev E.K. *Icledovaniya po izmereniyu udelnogo elektro soprotivleniya i temperatury nachala razmyagcheniya shixtovykh materialov alyumocilikoxroma pri tepmicheckom vozdeystvii* (The experiments on the measurement of advanced electrical power and temperature have begun to soften the shikhovyyh materials of the aluminum silicate in the case of thermal inclusions). Proceedings of VI Int. scientific-practical. Conf. "Scientific and technological progress in metallurgy". -Temirtau, **2011**. 78-82. (in Russ.)

7 Freidina E.V., Botvinnik A.A., Dvornikova A.N. *Osnovnyye printsipy ispol'zovaniya uglya* (Basic principles of coal classification by useful quality). *Gornaya nauka = Journal of Mining Science*. **2011**. 47.5. 593-605. (in Russ.)

8 Shabanov Ye., Baikanov C., Isgulov A., Baikanov A., Chukimbaev A., Zhaksylykov D. *Poluchenie kompleknogo cplava alyumocilikoxroma* (The accumulation of the chemical composition of the alumico-silicone). *Zhurnal "The thought of Kazzakstan"* Almaty, **2013**. 5. 44-45. (in Russ.)

9 Razdobreev V.G. *Poluchenie kompleksnyh uglomerodistykh vosstanovitelej iz vysokozol'nyh uglej* (Acquisition of complex carbonate recoverers from high-rise owl). Scientific and creative heritage of Academician EA Buketov. Karaganda. **2015**. 1. 427-430. (in Russ.)

10 Tolymbekov M.Zh., Orlov A.S., Svyatov B.A., Musina I.B., Gabdullin S.T. *Poluchenie kompleksnogo splava na baze alyuminiya, kremniya i khroma s ispol'zovaniyem briketirovannogo syria* (Obtaining a complex alloy based on aluminum, silicon and chromium using briquetted raw materials). *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 90 letiyu vydayushchegosya uchenogo, akademika AN KazSSR, laureata gosudarstvennoj premii SSSR Buketova Evneya Arstanovicha* (Materials

International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 90th anniversary of the outstanding scientist, academician of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, winner of the State Prize of the USSR Buketov Evnei Arstanovich). *"Himiya i metallurgiya kompleksnoj pererabotki mineral'nogo syr'ya"* (Chemistry and metallurgy of complex processing of mineral raw materials) Almaty. **2015**. 302-307. (in Russ.)

11 Musina I.B., Tolymbekov M.Zh., Gabdullin S.T., Agisova A.K., Mukhtarova G.M., Orlov A.S. *Perspektivy ispol'zovaniya karbonatno-silikatno-oksidnykh margantsevykh rud i vysokozolnykh uglej dlya polucheniya kompleksnogo kaltsiysoderzhashchego splava* (Prospects for the use of carbonate-silicate-oxide manganese ores and high-ash coals to produce a complex calcium-containing alloy). *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 90 letiyu vydayushchegosya uchenogo, akademika AN KazSSR, laureata gosudarstvennoj premii SSSR Buketova Evneya Arstanovicha* (Materials International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 90th anniversary of the outstanding scientist, academician of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, winner of the State Prize of the USSR Buketov Evnei Arstanovich). *"Himiya i metallurgiya kompleksnoj pererabotki mineral'nogo syr'ya"* (Chemistry and metallurgy of complex processing of mineral raw materials) Almaty. **2015**. 298-301. (in Russ.)

12 Samuratov E.K., Abikov S.B., Akuov A.M., Zhumagaliev E.U., Kelamanov B.S. *Izuchenie fiziko-himicheskikh prevrashhenij uglej v neizotermicheskikh usloviyah* (Study of physicochemical properties of the ugly in neizothermic conditions). *Tekhnicheskie nauki=Engineering* **2016**. 8-9. 54-55. (in Russ.)

13 Mukhambetgaliev E.K., Baissanov S.O., Roshchin V.Ye. *Vycokozolnyy ugol – kompleknoye cyrye dlya polucheniya ferroplava* (High-carbon coal is a complex raw material for obtaining ferroalloy). *Materialy VI Mezhd. nauch.-tekhn. konf. «Pererabotka mineralnogo syria. Innovatsionnyye tekhnologii i oborudovaniye»* (Materials VI Int. scientific-techn. Conf. "Processing of mineral raw materials. Innovative technologies and equipment"), Minsk: JSC "NGO Center", 04-05 October **2016**. 31-33. (in Bel). (in Russ.)

14 Tolymbekov M.Zh., Gabdullin S.T. *Poluchenie kompleksnogo kal'cijsoderzhashchego splava* (Preparation of complex calcium-containing alloy). *Trudy universiteta=Proceedings of the University*. Karaganda, **2017**. 5. 33-36. (in Russ.)

С. Т. ГАБДУЛЛИН\*, С. БАЙСАНОВ, Е. Ж. ШАБАНОВ, Р. Т. ТОЛЕУКАДЫР, Д. Р. МУЗДЫБАЕВ  
«Қазақстан Республикасының Минералды шикізатты кеуенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы»  
«Ж.Әбішев атындағы химия-металлургия институты» РМК филиалы, Қарағанды, Қазақстан,  
\*e-mail: hmi-ferro@mail.ru

### ФЕРРОКОРЫТПАЛАР ӨНДІРІСІНЕ АРНАЛҒАН ЖОҒАРЫ КҮЛДІ КӨМІРЛЕРДІҢ МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

**Түйіндеме.** Зертхана жағдайында Борлы кен орнының тас көмірінің мысалында жоғары күлді тотықсыздандырғыштардың металлургиялық қасиеттерін зерттеу жұмыстары жүргізілді. Зерттелетін көмірдің физика-химиялық сипаттамалары анықталды: беріктігі, тығыздығы, кеуектілігі, меншікті электр кедергісі және реакциялық қабілеті. Ферроқорытпа өндірісінде кең таралған тотықсыздандырғыштармен көмір қасиеттерінің салыстырмалы талдауы жасалды: магнитогорск және қытай кокстарымен, ангар және ленинск-кузнецк шалакокстарымен. Зерттелетін көмір жоғары меншікті электр кедергісі мен жоғары реакциялық қабілетке ие екені анықталды, ал бұл шикіқұрам материалдарының оксидтерінің қарқынды тотықсыздануын қамтамасыз етеді, сонымен қатар пеш қуатының толық қолданылуына мүмкіндік береді. Зерттелетін көмірдің механикалық беріктігінің көрсеткіші ферроқорытпа өндіруде қолданылатын көмірқұрамды шикізатқа қойылатын талапқа сәйкес келеді және 50-60% құрайды. Ферроқорытпа өндірісінде қолданылатын көміртекті тотықсыздандырғыштардың негізгі беріктік сипаттамасы оның құрылымдық беріктігі болып табылады, оның мәні 45-55% аралығында болуы тиіс. Зерттелетін көмірдің құрылымдық беріктігі едәуір жоғары және 81,35 % құрайды және мәні бойынша магнитогорск коксына жақын 87,5 %. Реакциялық қабілетінің мәні 8,61 мл/г·с құрайды және ленинск-кузнецк 8,02 мл/г·с пен ангар 9,80 мл/г·с шалакокстарының мәндеріне сәйкес келеді. Жалпы жоғары күлді борлы көмірінің металлургиялық қасиеттері ферроқорытпаның электротермиялық өндірісінде қолданылатын тотықсыздандырғыштарға қойылатын талаптарға толық сәйкес келеді.

**Түйін сөздер:** жоғары күлді көмір, тотықсыздандырғыш, ферроқорытпа, шалакок, меншікті электр кедергісі, беріктік.

S. T. GABDULLIN\*, S. BAISANOV, Ye. Zh. SHABANOV, R. T. TOLEUKADYR, D. R. MUZDYBAEV  
Branch of RSE of the National center for complex processing of mineral raw materials of the Republic of Kazakhstan  
"Chemical and metallurgical institute. Zh. Abishev", Karaganda, Kazakhstan  
\*e-mail: hmi-ferro@mail.ru

### RESEARCH OF METALLURGICAL PROPERTIES OF HIGH-ASH COAL FOR THE PRODUCTION OF FERRO-ALLOYS

**Abstract.** In laboratory conditions researches on studying of metallurgical properties of high-ash reducing agents on the example of stone coals of the Borly Deposit are carried out. Physical and chemical characteristics of the studied coals are determined: strength, density, porosity, electrical resistivity and reactivity. A comparative analysis of the properties of coal with known reducing agents of ferroalloy production: Magnitogorsk and Chinese cokes, Angarsk and Leninsk-Kuznetsk semi-coxes. It was found that the studied coals have high values of electrical resistivity and reactivity, providing intensive reduction of oxides of charge materials, as well as contributing to a more complete use of the furnace power. Indications of mechanical strength test coal meet the requirements for carbon-containing raw materials used for the production of ferroalloys according are 50-60%. The main strength characteristic of carbon reducing agents used in the Ferroalloy industry is their structural strength, the values of which should be within 45-55% according. The structural strength of the coal under study is quite high and is 81.35 % and close in value to the Magnitogorsk coke 87.5 %. Indicators of reactivity is of 8.61 ml/g·s and comparable with the values of Leninsk-Kuznetsk of 8.02 ml/g·s and the Angarsk 9,80 ml/g·s semi-coxes. In general, the metallurgical properties of high-ash Borlin coals are within acceptable limits and fully meet the requirements for reducing agents used in the production of ferroalloys.

**Key words:** high-ash coal, reducing agent, ferroalloy, semi-coke, specific electrical resistivity, strength.

Поступила 5.08.2018