

УДК 669.1.004.82

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЙ МЕТОД
ОКУСКОВАНИЯ МЕЛОЧИ СПЕЦКОКСА ДЛЯ
ФЕРРОСПЛАВНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

В.А. Родимин, Е.С. Торохова, Е.А. Яковлев

Карагандинский государственный
индустриальный университет, г. Темиртау
E-mail: carridi@mail.ru**Родимин Вадим Александрович,** магистрант кафедры химической технологии и экологии Карагандинского государственного индустриального университета, г. Темиртау.
E-mail: carridi@mail.ru

Область научных интересов: теплоэнергетика, брикетирование угольной мелочи.

Торохова Елена Сергеевна, магистр кафедры химической технологии и экологии Карагандинского государственного индустриального университета, г. Темиртау.
E-mail: torohova_elena@mail.ru

Область научных интересов: взрывы угольной пыли, брикетирование угольной мелочи, промышленная безопасность.

Яковлев Евгений Анатольевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник кафедры химической технологии и экологии Карагандинского государственного индустриального университета, г. Темиртау.
E-mail: jenia2001@mail.ru

Область научных интересов: физика и химия низкотемпературной плазмы, металлургия, энергетика, горение и взрывы угольной пыли.

Показана возможность термомеханического окускования мелочи полукокса (спецкокса) путем электронагрева его в смеси с длиннопламенным и коксовым углями под давлением.

Ключевые слова:

Ферросплавы, производство, спецкокс, мелочь, термомеханическое окускование, удельное электрическое сопротивление, электронагрев под давлением, механическая прочность, влагостойкость, энергозатраты.

Keywords:

Ferroalloys, production, coke, fines, thermomechanical agglomeration, electric resistivity, electric heating under pressure, mechanical strength, moisture resistance, energy costs.

В настоящее время Казахстан в силу ряда причин стал одним из центров мировой ферросплавной промышленности. Наряду с заводами, построенными в СССР – Аксуским (Ермаковским) и Актюбинским – в настоящее время функционируют Темиртауский электрометаллургический комбинат, Таразский металлургический завод, Экибастузский ферросплавный завод, Карагандинский завод металлургического кремния, Павлодарский ферросплавный завод. Проектируется еще ряд заводов. Ученые-металлурги из Химико-металлургического института (г. Караганда) занимают лидирующие позиции по разработке новых технологий в области производства ферросплавов. Рост производства ферросплавов вызвал потребность в производстве спецкокса. В настоящее время в республике кроме металлургического кокса производится 200 тыс. т спецкокса из углей Шубаркольского месторождения (УШМ). При этом

образуется около 50 тыс. т мелочи [1]. Поэтому цель данной работы состояла в поиске дешевого способа брикетирования мелочи спецкокса. В основу нового способа была проложена технология Института горючих ископаемых (Россия) по термомеханическому окускованию мелочи каменных углей. Она состояла в высокоскоростном нагреве мелочи (0...3 мм) слабоспекающихся каменных углей до температуры пластического состояния, выдержки при этой температуре в течение нескольких минут, прессовании под давлением около 40 МПа и охлаждении

термобрикетов [2, 3]. При брикетировании спеккокса необходимо добавить некоторое количество УШМ, а также коксового концентрата (КК) с обогатительной фабрики № 38. В табл. 1 представлены характеристики шихтовых материалов для брикетирования.

Таблица 1. Характеристики УШМ, КК и спеккокс АО «Казахстан Инвест Комир» («КИК») и АО «Сары Арка Спецкокс» («САС»)

Материал	УЭС*, Ом·см	Элементный состав, %					Технический анализ		
		C ^d	H ^d	N ^d	O ^d	S ^d	A ^d	W ^d	V ^d
УШМ	10 ⁹	76,9	4,0	0,6	9,6	0,5	12,0	14,5	43,5
КК	10 ⁹	68,6	3,1	0,8	3,1	0,5	12,8	9,4	25,6
Спецкокс «КИК»	1,86	91,5	1,35	1,59	1,5	0,31	8,0	0,8	3,0
Спецкокс «САС»	0,47	86,0	2,35	1,9	1,5	0,5	10,0	12,0	6,0

*Удельное электрическое сопротивление для сплошного куска

Так как спеккокс, в отличие от угля, хорошо проводит электрический ток, то высокоскоростной нагрев шихты для брикетирования происходил в пресс-форме при пропускании электрического тока. Это напоминает технологию нагрева в электротермическом кипящем слое [4]. Для гидравлического пресса были изготовлены специальные пресс-формы, предназначенные для формирования брикетов. Они состояли из поршня, цилиндра и днища, изготовленных из стали. Изнутри цилиндр покрывался электроизоляционным материалом. В цилиндр засыпалась порция шихты, состоящей из смеси спеккокс и углей. Диаметр поршня 20 мм, высота слоя шихты в цилиндре 50 мм. Затем сверху в цилиндр вдвигался поршень и пресс-форма помещалась под пресс. Давление прессования составляло 45 МПа. Электронагрев происходил при подаче напряжения в 60 В между поршнем и днищем пресс-формы. Для ограничения тока в цепь вводилось балластное сопротивление величиной 2,5 Ом. Время протекания тока через шихту выбиралось исходя из необходимости достижения углем температуры пластического состояния (~ 450 °C).

В табл. 2 показана зависимость электросопротивления шихты фракции 0...1 мм от давления и содержания УШМ в шихте с двумя видами спеккокс – Казахстан Инвест Комир спеккокс (КИК) и Сары-Арка спеккокс (СА). С увеличением давления в пресс-форме электросопротивление шихты падает. Аналогично ведет себя электросопротивление при уменьшении концентрации УШМ в шихте. Здесь явно прослеживается аналогия с числом псевдооживления в электротермическом кипящем слое [4]: с ростом последнего растет удельное сопротивление.

Таблица 2. Электрическое сопротивление, Ом, и удельное сопротивление, Ом·см, шихты (в скобках) для брикетирования

Состав шихты	Давление, кг/см ²				
	0	45	90	135	180
100 % УШМ	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹
100 % СА	8(4)	2(1)	1(0,5)	0,06(0,03)	0,06(0,03)
100 % КИК	1,0(0,5)	0,8(0,4)	0,4(0,2)	0,6(0,3)	0,5(0,25)
95 % УШМ + 5 % СА	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹
90 % УШМ + 10 % СА	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹
80 % УШМ + 20 % СА	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹
70 % УШМ + 30 % СА	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹
60 % УШМ + 40 % СА	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	69(36)	68(35)
50 % УШМ + 50 % СА	84(44)	30(16)	21(11)	14(7)	10(5)
95 % УШМ + 5 % КИК	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹
90 % УШМ + 10 % КИК	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹
85 % УШМ + 15 % КИК	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹
80 % УШМ + 20 % КИК	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹	52(27)	36(19)
70 % УШМ + 30 % КИК	79(41)	34(18)	22(11)	16(8)	11(6)
60 % УШМ + 40 % КИК	25(13)	9(5)	7(4)	5(3)	4(2)
50 % УШМ + 50 % КИК	9(5)	4(2)	2(1)	2(1)	2(1)

Уменьшение сопротивления при увеличении давления объясняется увеличением площади контакта между коксовыми частицами, то есть уменьшением контактного сопротивления ($R_{\text{конт}}$). При уменьшении концентрации УШМ площадь контактов между частицами спеккокса в составе шихты увеличивается, что приводит к уменьшению сопротивления. Также видно, что сопротивление спеккокса СА в 3...7 раз выше чем спеккокса КИК при низких давлениях и в 8...10 раз ниже при высоких. По-видимому, это связано с различными технологиями производства: спеккоксы на АО «Сары-Арка спеккоксы» производятся в S-образных печах производства КНР по технологии пиролиза, а спеккоксы на АО «Казахстан Инвест Комир» – в реакторах окислительного пиролиза [2].

При пропускании тока через шихту ее сопротивление резко падает. Объясняется это, скорее всего, тем, что значительную долю (98 %) сопротивления шихты составляет контактное сопротивление. При пропускании тока через шихту почти вся энергия выделяется в точках контакта частиц спеккокса. Под действием высокой температуры происходит спекание частиц спеккокса в местах контакта. Контактное сопротивление исчезает, и остается только сопротивление самих частиц спеккокса (2 % от общего). Ток резко возрастает, поэтому необходимо установить балластное сопротивление для его стабилизации.

Опыты по электробрикетированию проводились следующим образом: шихта помещалась в пресс-форму, в которой проводилось повышение давления до величины, при которой сопротивление шихты $R_{\text{шихты}}$ составляло величину близкую к 5 Ом. После этого на поршень и днище подавалось напряжение; через шихту протекал электрический ток $I_{\text{бр}}$, нагревавший ее и переводивший в пластичное состояние за время $t_{\text{бр}}$. Под действием давления $P_{\text{бр}}$ формировался прочный брикет. Объем брикета составлял около 10 см³. Удельный расход энергии на брикетирование $W_{\text{бр}}$ составил от 1620 до 18720 Дж/см³. Результаты электрофизического брикетирования спеккоксов представлены в табл. 3.

Таблица 3. Показатели электрического брикетирования спеккоксов

Состав шихты, %	$W_{\text{бр}}$, Дж/ см ³	$t_{\text{бр}}$, с	$R_{\text{шихты}}$, Ом	$R_{\text{брикета}}$, Ом	$I_{\text{бр}}$, А	$P_{\text{разруш}}$, МПа	Влагоустойчивость**
30УШМ, 30КИК, 40КК	4500	60	5,2	5,2	12,00	6,30	+
60УШМ, 20КИК, 20КК		120	115,0	115,0	13,00	2,70	–
80СА, 20КК	1620	120	0,6	0,6	15,00	непрочный*	–
20КИК, 80КК		120	28,0	28,0	17,00	непрочный	–
30УШМ, 30КИК, 40КК	18800	240	4,00	4,00	14,00	14,40	+
30УШМ, 30КИК, 40КК	14515	240	4,20	28,0	12,00	3,60	+
30УШМ, 30КИК, 40КК	16243	240	4,70	15,0	12,00	8,10	+
30УШМ, 30КИК, 40КК	16590	240	4,80	30,0	12,00	11,70	+

*непрочный – разрушился при извлечении из цилиндра;

**«+» – влагоустойчив;

«–» – невлагоустойчив.

Из табл. 3 видно, что наиболее прочные брикеты получились при составе шихты 30 % УШМ, 30 % КИК, 40 % КК. При изменении удельного расхода электроэнергии на брикетирование от 4500 до 18800 Дж/ см³, т. е. в 4,2 раза, механическая прочность брикета повышалась от 6,3 МПа до 14,4 МПа, т. е. в 2,3 раза. Если же рассмотреть процесс электробрикетирования с точки зрения энергозатрат, то последние должны складываться из затраты на нагревание шихты до температуры пластического состояния (450 °С), затраты на удаление летучих веществ при этой температуре и тепловых потерь. Очевидно, что в данном случае львиную долю энергозатрат составляют тепловые потери, которые в дальнейшем должны быть минимизированы. В этом случае относительно высокая стоимость электроэнергии будет компенсирована высокой стоимостью конечного продукта спеккокса, в цене которого доля электроэнергии составит величину 7...10 %. Следует также иметь в виду

более простое оборудование для электронагрева по сравнению с системой вихревых камер по технологии, описанной в работе [3]. Для испытания на влагуустойчивость брикеты погружались в воду на 7 дней. Для сравнения прочностных характеристик в табл. 4 приведены значения показателей при брикетировании мелочи спецкокса с жидким стеклом.

Таблица 4. Технологические показатели брикетирования мелочи спецкокса с жидким стеклом при температуре сушки 120...150 °С

Жидкое стекло, %	$P_{бр}$, МПа	Фракция, мм	$P_{разруш}$, МПа	Влаго-поглощение, %	Примечание
10	20	0...5	0,8	–	
10	27	0...5	2,8	48	*Смачиватель 0,05 %
10	27	0...2	4,1	50	Смачиватель 0,13 %
10	27	0...2	2,3	48	
10	27	0...2	1,9	50	
10	27	0...2	2,6	52	Смачиватель 0,05 %
20	27	0...2	5,0	–	

*Применение смачивателя

При сравнении табл. 3 и 4 видно, что прочность термобрикетов выше прочности брикетов со связующим из жидкого стекла в 2 раза. В то же время цена коксового концентрата, который фактически используется в качестве связующего из-за своих высоких пластических свойств, в 10 раз ниже цены жидкого стекла. Кроме того зольность брикетов на жидком стекле составляет 30 %, в то время как зольность при электробрикетировании не превысила 15 %. После образования и остывания брикета необходим его прокатка с окислительным пиролизом [3], так как в его состав входит уголь, используемый в качестве связующего. При этом выход конечного продукта возрастет по сравнению с исходной мелочью спецкокса приблизительно в 2,5 раза.

Выводы

1. Проведены эксперименты по изучению удельного сопротивления шихты для термомеханического окучивания мелочи спецкокса в зависимости от состава и давления.
2. Проведены эксперименты по электробрикетированию шихты, состоящей из мелочи спецкокса, угля Шубаркольского месторождения и коксового концентрата обогатительной фабрики № 38.
3. Определен оптимальный состав шихты.
4. Получены брикеты с удовлетворительной механической прочностью и влагуостойкостью.
5. Рассмотрены вопросы практической целесообразности реализации данной разновидности термомеханического окучивания мелочи спецкокса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акшанашев С.К., Яковлев Е.А., Торохова Е.С. Производство кокса и спецкокса для металлургии на предприятиях Республики Казахстан // Сталь. – 2008. – № 11. – С. 68–70.
2. Цикарев Д.А., Филиппов Д.С., Кулик А.И. Термомеханическое окучивание мелочи каменных углей // Химия твердого топлива. – 1970. – № 6. – С. 75–79.
3. Крохин В.Н. Брикетирование углей. – М.: Недра, 1974. – 216 с.
4. Бородуля В.А. Высокотемпературные процессы в электротермическом кипящем слое. – Минск: Наука и техника, 1973. – 176 с.

Поступила 15.11.2011 г.