

**ТЕХНИКА ҒЫЛЫМДАРЫ**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**  
**TECHNICAL SCIENCES**

**МРНТИ 53.31.21**

**ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ШЛАКА ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОГО  
ФЕРРОХРОМА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФЛЮСОВ**

**А.М. Акуов**<sup>[0000-0002-5163-5378],\*</sup>, **Е.Б. Жумашев**<sup>[0000-0002-6013-0603]</sup>,  
**Д.В. Зязев**<sup>[0000-0001-5997-5433]</sup>, **А.М. Әбдірашит**<sup>[0000-0003-0718-3041]</sup>

Актюбинский региональный университет им.К.Жубанова, Ақтөбе, Қазақстан

\*e-mail: akuov.am@mail.ru

**Аннотация.** Как известно промышленные шлаки производства высокоуглеродистого феррохрома представляют собой сложный состав, состоящих из оксидов  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , а также запутавшихся корольков сплава, которые являются потерями ( $\text{C}_{\text{гмет}}$ ). С целью снижения потерь в виде корольков сплава проведены эксперименты в лабораторных условиях. В статье представлены результаты изучения свойств шлака производства высокоуглеродистого феррохрома путем применения эффективных, доступных и распространенных материалов в качестве флюсовой добавки в соответствии с принятыми их навесками в смеси. Эксперименты проведены в высокотемпературной печи сопротивления Таммана с использованием следующих флюсующих материалов – керамзита, бората кальция и шлака рафинированного феррохрома. В результате проведенных экспериментов, выявлено, что из вышеуказанных материалов керамзит является наиболее технологичным и подходящим материалом, который снизил температуру размягчения, плавления шлака и содержание  $\text{C}_{\text{гмет}}$  в исходном шлаке, что в перспективе подлежит опробованию в качестве флюса в промышленных условиях.

Анализируя полученные данные можно было бы прийти к выводу, что предпочтительнее использовать борсодержащие флюсы (борат кальция, стабилизированный бором шлак РФХ). Однако, учитывая стоимость бората кальция (500 000-600 000 тенге за 1 тонну) его применение экономически нецелесообразно. Кроме этого, как показывает производственная практика, борат кальция в объеме шлака распределяется неравномерно, что также снижает эффективность его использования.

**Ключевые слова:** феррохром, шлак, корольки сплава, флюсующие материалы, хромовых руд, керамзит.

**Введение.** Выбор рационального состава шлаков при выплавке углеродистого феррохрома зависит от природы хромовых руд, точнее от содержания оксидов железа и хрома, а также шлакообразующих -  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Поэтому состав шлаков при выплавке углеродистого феррохрома выбирается по системе  $\text{SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3$  (Рисунок 1) [1].

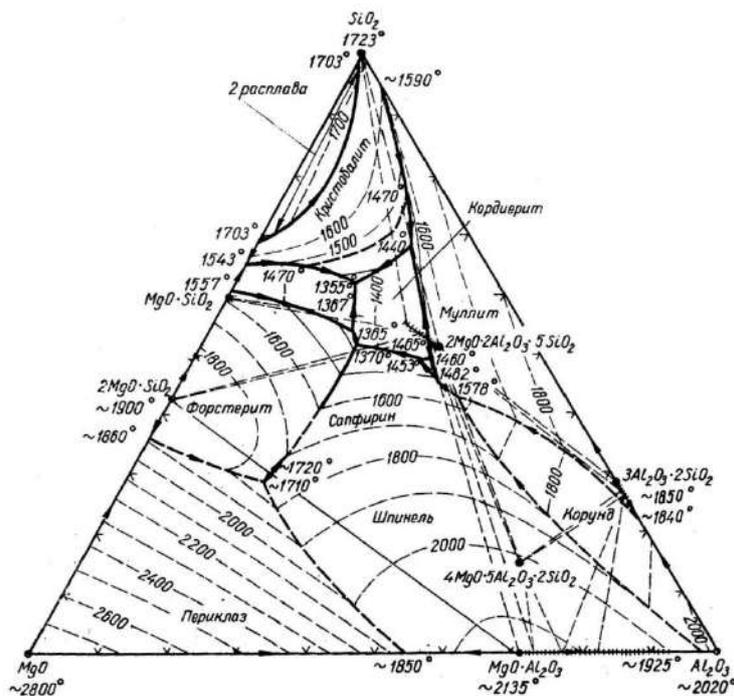


Рисунок 1. Диаграмма состояния системы  $\text{SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3$ [1]

Выбранный состав шлаков должен обеспечивать нагрев и перегрев углеродистого феррохрома; создавать условия для успешного «капельного» (при движении капель металла через рудный слой) и «донного» (на контакте металл-шлак на подине печи) рафинирования от С и Si; шлак должен быть достаточно подвижным и «длинным» для осаждения королек металла, особенно в ковше при выпуске из печи, хорошо отделяться от слитка металла, обладать достаточным электросопротивлением, чтобы обеспечить глубокую посадку электродов в шихте, обеспечивать получение стандартного металла по содержанию серы и фосфора.

Температурный режим металла и шлака при выплавке углеродистого феррохрома определяется соотношением между содержанием хрома и углерода в сплаве, концентрацией  $\text{SiO}_2$  и отношением  $\text{MgO/Al}_2\text{O}_3$  - в шлаке. Температура плавления выбранного шлака должна быть выше температуры плавления металла на 100-150°C, так как нагрев металла при выплавке углеродистого феррохрома идет через шлак, печь работает в режиме сопротивления. Шлак, полученный из оксидов хромовой руды, имеет высокую температуру плавления и вязкость. Такой шлак плохо выходит из ванны печи и способствует перегреву металла. Для снижения температуры плавления и вязкости шлака в шихту добавляют кремнезем (флюсы) в виде отсевов кварцита или высокозольных восстановителей [1].

За долгие годы эксплуатации Кемпирсайского месторождения по мере заглубления карьеров и шахт в добычу начали вовлекаться руды из нижних горизонтов, которые не были

подвержены процессам древнего выветривания, что сильно изменило состав вмещающей породы в сторону увеличения содержания оксида магния и уменьшения оксида алюминия. Поэтому значительно изменился и состав хромовых руд, получаемых в последние годы заводами.

Так как состав шлаков определяется главным образом составом хромовых руд, соответственно претерпели изменения и их составы в сторону увеличения содержания оксида магния (с 28-32 до 45-48%) и уменьшения оксида алюминия (с 28-29 до 14-15%), в то время как содержание диоксида кремния осталось на необходимом уровне (29-34%). Это подтверждается динамикой изменения состава конечных шлаков электротермии высокоуглеродистого феррохрома, из которой видим, что отношение  $MgO/Al_2O_3$  за последние десятилетия увеличилось с 1,8 до 3,0 и выше [2].

В соответствии с химическим составом значительные изменения претерпел и фазовый состав шлаков производства углеродистого феррохрома, который был смещен из поля магнезиальной шпинели ( $MgO \cdot Al_2O_3$ ) в поле форстерита ( $2MgO \cdot SiO_2$ ). Причем количество последнего в шлаках с момента пуска рудника и по настоящее время возросло с 35 до 70%, т.е. практически вдвое. Повышение содержания магнезии в шлаках в основном произошло за счет поставки более бедных хромовых руд и начала эксплуатации новых месторождений с повышенным содержанием магнезии.

Таким образом, дальнейшее наращивание объема производства хромистых ферросплавов обуславливает необходимость широкого вовлечения наиболее распространенных высокомагнезиальных хромовых руд с содержанием 18-22%  $MgO$  при концентрациях 7-9%  $Al_2O_3$ . Известно, что определенному составу сплава по содержанию хрома и углерода соответствует определенный состав шлака.

Увеличение концентрации магнезии в шлаках приводит к увеличению потерь хрома со шлаками. Значительное количество хрома теряется в виде металлической фазы. Это связано с ухудшением физико-химических свойств образующихся высокомагнезиальных шлаков.

**Материалы и методы.** Согласно трудам исследователей [3-6] заметно о роли, свойствах и составе шлаков высокоуглеродистого феррохрома путем применения различных флюсующих добавок можно достичь оптимальных технологичных параметров процесса его плавки. Установлено, что введение в шихту высокоуглеродистого феррохрома неорганических и углеродсодержащих материалов способствует снижению тугоплавкости и снижению температуры кристаллизации шлаков производства высокоуглеродистого феррохрома, позволяющие сократить потери хрома со шлаком в виде запутавшихся корольков металла.

Проведены лабораторные опыты по расширению интервала кристаллизации шлаков от выплавки высокоуглеродистого феррохрома (в/у ФХ) путем присадки различных флюсов для осаждения запутавшихся корольков металла. В качестве флюсующих материалов использовали борат кальция, керамзит и стабилизированный шлак рафинированного феррохрома (РФХ). В виду крупности керамзита и шлака рафинированного феррохрома, указанные материалы подвергли дроблению до фракции 0-3 мм. Крупность исходного шлака высокоуглеродистого феррохрома составляла 0-1мм. Химические составы использованных флюсующих материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Химические составы использованных материалов, %

Материал	С <sub>Гмет</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Керамзит	-	0,1	3,01	2,59	15,27	7,38	62,3	-
Борат кальция	-	-	37,2	0,5	0,05	-	-	43,8
Шлак РФХ	1,3	8,6	46,8	12,8	5,8	1,9	22,9	0,3
Шлак в/у ФХ	4,9	9,4	1,7	42,0	16,8	2,3	26,0	-

Расход флюсов составлял 0-10% от веса исходного шлака с шагом 2% согласно табл.2. По каждому варианту шихтовки проведено не менее двух плавов.

Таблица 2. Расход флюса по отношению к исходному шлаку

№ навески	Расход материалов		
	флюс		Исходный шлак в/у ФХ, г
	г	% от массы шлака	
1	6	2	300
2	12	4	300
3	18	6	300
4	24	8	300
5	30	10	300

**Результаты и обсуждение.** Экспериментальные плавки проводили в высокотемпературной печи сопротивления Таммана. Техническая характеристика печи представлена в табл.3.

Таблица 3. **Техническая характеристика печи сопротивления Таммана**

Показатель	Ед. изм.	Значение
Потребляемая мощность	кВт	40
Напряжение сети	В	380
Максимальное напряжение на шинах печи	В	15
Максимально допустимая температура	°С	1800
Время разогрева до макс. температуры	мин	30
Габаритные размеры	мм	930×630×1000

Плавки проводили в графитовых тиглях диаметром 50 мм и высотой 150 мм. Предварительно сдозированную смесь шлака и флюса засыпали в тигель, затем тигель помещали в печь и постепенно нагревали со скоростью 10-15°С/мин. Замер температуры осуществляли вольфрам-рениевой термопарой (ВР 5/20).

Далее приведены краткие описания плавок шлаков высокоуглеродистого феррохрома с использованием флюсов, представленных в таблице 1.

Средние значения температуры размягчения и плавления шлака при применении вышеперечисленных флюсов представлены в таблице 4.

Таблица 4. **Средние значения температуры размягчения и плавления шлака при применении различных флюсов**

Флюсы	Температура	Расход, % (от массы шлака)					
		0	2	4	6	8	10
Керамзит	Размягчения	1582	1570	1574,5	1556,5	1538	1543
	Плавления	1705	1647	1634	1633	1630	1625
Борат кальция	Размягчения	1582	1548	1537,5	1532,5	1443,5	1316,5
	Плавления	1705	1650	1624	1600	1591,5	1570
Шлак РФХ	Размягчения	1582	1568	1559	1556	1547,5	1584
	Плавления	1705	1668	1656,5	1657,5	1638,5	1632,5

С использованием керамзита размягчение смеси шлака и флюса наблюдалось при достижении температуры 1575°С с переходом в тестообразное состояние при 1598°С. Полное расплавление шлака произошло при 1647°С. При 1665°С шлак полностью расплавился. Шлак жидкотекучий. Слив шлака с тигля произвели при 1670°С. После кристаллизации шлака в его объеме обнаружены сконцентрированные корольки металла размерами 4-8 мм полусферической формы. Это косвенно подтверждает протекание процесса коагуляции разобщенных частиц металла в более крупные образования. При 10% керамзита наблюдается

процесс коагуляции с образованием частиц более крупного размера, чем в предыдущем варианте.

С использованием бората кальция в целом для всех вариантов применение бората кальция устойчивой коагуляции металлических частиц не наблюдается, рост корольков и их взаимное слияние носит неустойчивую связь с расходом бората кальция.

С использованием шлака РФХ значительное снижение температуры показано при его расходе 8% и плавление шлака при 10% что дало эффект 34,5°С и 72,5°С, соответственно.

Для сравнения проплавили шлак от производства высокоуглеродистого феррохрома без добавок флюсов. До температуры 1650°С изменений в состоянии шлака не наблюдается. Начиная с 1660°С шлак переходит в тестообразное состояние. При температуре 1677°С шлак представляет из себя густую вязкую массу. По достижении 1695°С шлак полностью расплавился. Слив шлака осуществили при 1700°С. Шлак менее жидкотекучий чем при вариантах обработки флюсами.

Из табл.4 видно, что наибольшее влияние на температуру размягчения и плавления шлака оказывает борат кальция. В меньшей степени воздействие на шлак оказывают керамзит и стабилизированный шлак РФХ. Наглядно это продемонстрировано на рис.2 и 3.

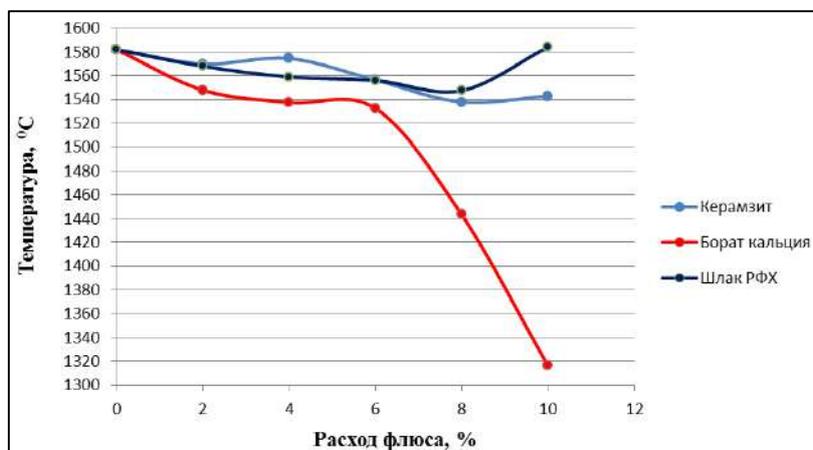


Рисунок 2. Зависимость температуры размягчения шлака от расхода флюса

При использовании бората кальция в количестве до 10% (от массы шлака) температура размягчения и плавления шлака снижается на 265°С и 135°С соответственно. В случае использования керамзита эти показатели составляют 39°С и 80°С. При добавках стабилизированного шлака РФХ в количестве до 10% температура размягчения шлака наоборот увеличивается в среднем на 2°С, температура плавления снижается на 72°С.

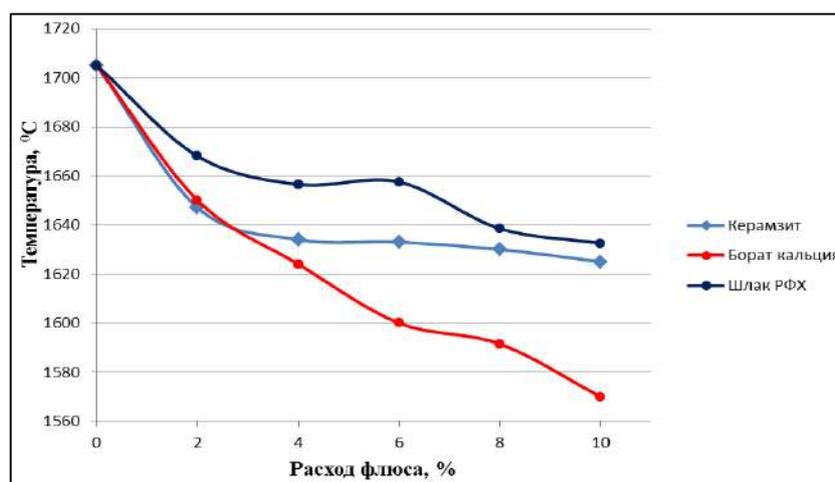


Рисунок 3. Зависимость температуры плавления шлака от расхода флюса

В таблице 5 приводятся результаты химического анализа шлаков после обработки флюсами. Наилучшие результаты по осаждению корольков получены при расходе бората кальция в количестве 4-6% (от массы шлака). Содержание  $C_{гмет}$  в шлаке снизилось на 83,7%. Для шлаков обработанных керамзитом эта цифра составляет 81,7% при его расходе 10% (от массы шлака). В шлаках обработанных стабилизированным шлаком РФХ (4% от массы шлака) содержание  $C_{гмет}$  снизилось на 85,7% (рис.4).

Таблица 5. Химический состав шлака при использовании различных флюсов

№	Материал	Флюс	Химический состав шлака, %							
			$Cr_2O_3$	$SiO_2$	$CaO$	$MgO$	$Al_2O_3$	$FeO$	$B_2O_3$	$C_{гмет}$
1	Шлак ВУФХ	без добавки	9,4	26,0	1,7	42,0	16,8	2,3	-	4,9
2	Шлак ВУФХ	2% керамзита	4,2	28,8	3,6	42,1	19,6	1,0	-	1,3
3	Шлак ВУФХ	4% керамзита	2,6	30,9	2,5	43,8	18,5	0,8	-	1,1
4	Шлак ВУФХ	6% керамзита	3,0	31,5	2,4	43,3	18,4	0,8	-	1,0
5	Шлак ВУФХ	8% керамзита	3,5	31,4	2,2	43,2	18,4	0,8	-	1,1
6	Шлак ВУФХ	10% керамзита	3,2	32,1	2,1	43,0	18,5	0,8	-	0,9
7	Шлак ВУФХ	2% бората кальция	3,2	28,5	2,5	45,7	18,5	0,6	0,5	1,0
8	Шлак ВУФХ	4% бората кальция	3,5	27,8	3,7	44,0	17,9	0,8	1,7	0,8
9	Шлак ВУФХ	6% бората кальция	3,2	28,7	3,5	45,1	17,9	0,4	1,2	0,8
10	Шлак ВУФХ	8% бората кальция	5,0	27,2	4,3	43,0	17,2	1,0	2,3	1,4
11	Шлак ВУФХ	10% бората кальция	5,0	26,7	4,9	41,9	17,2	0,9	2,6	1,4
12	Шлак ВУФХ	2% шлака РФХ	2,3	28,7	3,0	46,1	18,5	0,5	0,05	1,0
13	Шлак ВУФХ	4% шлака РФХ	1,7	28,8	4,0	45,8	18,2	0,5	0,05	0,7
14	Шлак ВУФХ	6% шлака РФХ	3,6	27,8	4,5	45,0	18,1	0,5	0,05	1,1
15	Шлак ВУФХ	8% шлака РФХ	2,3	29,4	5,7	44,5	17,1	0,6	0,01	0,9
16	Шлак ВУФХ	10% шлака РФХ	2,7	28,5	6,5	43,8	17,0	0,5	0,01	1,0

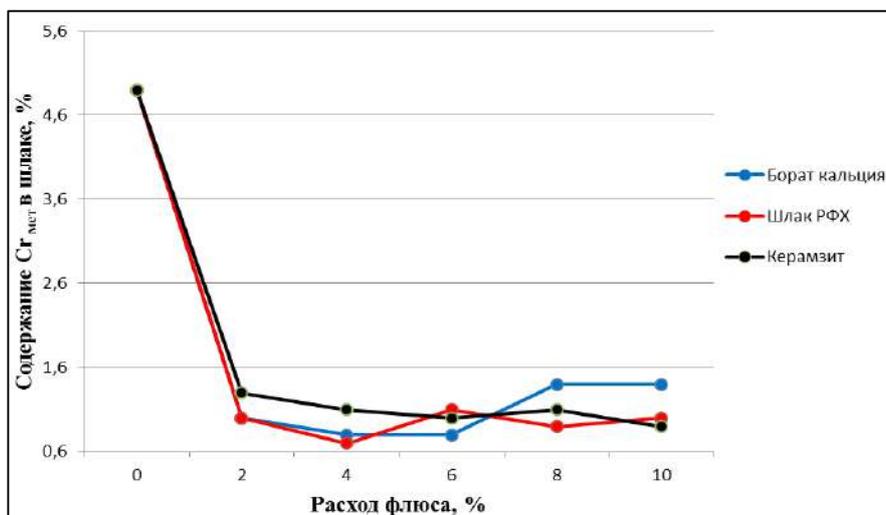


Рисунок 4. Зависимость содержания  $Cr_{мет}$  в шлаке от расхода флюса

Анализируя полученные данные можно было бы прийти к выводу, что предпочтительнее использовать борсодержащие флюсы (борат кальция, стабилизированный бором шлак РФХ). Однако, учитывая стоимость бората кальция (500 000-600 000 тенге за 1 тонну) его применение экономически нецелесообразно. Кроме этого, как показывает производственная практика, борат кальция в объеме шлака распределяется неравномерно, что также снижает эффективность его использования [7-10].

**Выводы.** Что касается стабилизированного шлака РФХ, себестоимость его практически нулевая, что выгодно отличает его от бората кальция. Высокая температура плавления стабилизированного шлака не позволяет использовать его вне печи. В случае присадок этого шлака непосредственно в печь придется считаться с ростом содержания  $CaO$  в конечном шлаке, что в конечном итоге отразится, как на футеровке печи, так и на самом технологическом процессе выплавки высокоуглеродистого феррохрома.

Из вышеуказанных материалов керамзит является наиболее технологичным и подходящим материалом, который снизил температуру размягчения, плавления шлака и содержание  $Cr_{мет}$  в исходном шлаке, что в перспективе подлежит опробованию в качестве флюса в промышленных условиях. Касательно вопроса цены - керамзит является в разы дешевле по сравнению с импортируемым боратом кальция.

#### Список литературы

1. Рысс М.А. Производство ферросплавов / М.А. Рысс. – М. Металлургия, 1985. – 344с.
2. Абдуллабеков Е.Э. Теория и технология производства хромистых сплавов / Е.Э. Абдуллабеков, К.К. Каскин, А.Х. Нурумгалиев – Алматы: Республиканский издательский

кабинет по учебной и методической литературе, 2010. – 280 с.

3. Жило Н.Л. Физико-химические свойства шлаков углеродистого феррохрома / Н.Л. Жило, И.С. Осрецова, В.Г. Мизин и др. // Сталь. – 1983. – №3. – С.35-39.

4. Гасик М.И. Выплавка высокоуглеродистого феррохрома на глиноземистых шлаках / М.И. Гасик, Н.В. Новиков, Т.Б. Жакибекови др. // Сталь. – 1988. – №8. – С.48-52.

5. Гриненко В.И. Опыт использования в производстве высокоуглеродистого феррохрома низкофосфористых фракционированных углей / В.И. Гриненко, М.Ж. Толымбеков, С.О. Байсанов. – Сталь. – 1999. – № 6. – С.34-35.

6. Мусина И.Б. Автореферат диссертации на тему «Разработка технологии выплавки высокоуглеродистого феррохрома с использованием каменного угля борлинского месторождения» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов» / И.Б. Мусина. – Караганды: ХМИ, 2009. – 25 с.

7. Tolymbekov M.Z. Smelting high-carbon ferrochrome with uniform briquetted batch / M.Z. Tolymbekov, S.O. Baisanov, S.O., Z.Z. Izbembetov, E.E. Abdulabekov, A.M. Akuov. // Steel in Translation. – 2010. – Vol.6. – №40. – P. 565-567.

8. Konarbaeva A. Petrographic analysis of low-carbon ferrochrome slag / A. Konarbaeva, A. Akuov, M. Tolymbekov // Proceedings of the 12th International Ferroalloys Congress: Sustainable Future. – 2010. – P. 245-248.

9. Akuov A. Development of an alternative technology for the production of refined ferrochrome / A. Akuov, Y. Samuratov, B. Kelamanov, Y. Zhumagaliyev, M. Taizhigitova // Metallurgija. – 2020. – Vol. 4. – №59. – P. 529-532.

10. Akuov A.M. Possibility of application of aluminosilicochrome in the metallothermy of refined ferrochrome / A.M. Akuov, M.Z. Tolymbekov, D.D. Izbembetov, M.S. Almagambetov// Russian Metallurgy (Metally). – 2012. – №12. – P. 1041-1044.

### References

1. Ryss M.A. (1985). Proizvodstvo ferrosplavov [Ferroalloy production]. M.: Metallurgiya [in Russian].

2. Abdulabekov Ye.E., Kaskin K.K., Nurumgaliyev A.KH. (2010). Teoriya i tekhnologiya proizvodstva khromistyykh splavov [Theory and technology for the production of chromium alloys]. Almaty: Respublikanskiy izdatel'skiy kabinet po uchebnoy i metodicheskoy literature [in Russian].

3. Zhilo N.L., Ostretsova I.S., Mizin V.G. i dr. (1983). Fiziko-khimicheskiye svoystva shlakov uglerodistogo ferrokroma [Physical and chemical properties of carbon ferrochrome slags]. Stal. –

№3, 35-39.

4. Gasik M.I., Novikov N.V., Zhakibekov T.B. i dr. (1988). Vyplavka vysokouglerodistogo ferrokroma na glinozemistykh shlakakh [Smelting high-carbon ferrochrome on alumina slag]. Stal. – №8, 48-52.

5. Grinenko V.I., Tolymbekov M.ZH., Baysanov S.O. i dr. (1999). Opyt ispol'zovaniya v proizvodstve vysokouglerodistogo ferrokroma nizkofosforistykh fraktsionirovannykh ugley [Experience of using low-phosphorous fractionated coals in the production of high-carbon ferrochrome]. Stal. – № 6, 34-35.

6. Musina I.B. (2009). Avtoreferat dissertatsii na temu «Razrabotka tekhnologii vyplavki vysokouglerodistogo ferrokroma s ispol'zovaniyem kamennogo uglya borlinskogo mestorozhdeniya» [Development of technology for smelting high-carbon ferrochrome using coal from the Borlin deposit] na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk po spetsial'nosti 05.16.02 «Metallurgiya chernykh, tsvetnykh i redkikh metallov». – Karagandy: KHMI.

7. Tolymbekov M.Z., Baisanov S.O., Izbembetov Z.Z., Abdulabekov E.E., Akuov A.M. (2010). Smelting high-carbon ferrochrome with uniform briquetted batch. Steel in Translation, № 40(6), 565-567.

8. Konarbaeva A., Akuov A., Tolymbekov M. (2010). Petrographic analysis of low-carbon ferrochrome slag. Proceedings of the 12th International Ferroalloys Congress: Sustainable Future, 245-248.

9. Akuov A., Samuratov Y., Kelamanov B., Zhumagaliyev Y., Taizhigitova M. (2020). Development of an alternative technology for the production of refined ferrochrome / Metalurgija, № 59(4), 529-532.

10. Akuov A.M., Tolymbekov M.Z., Izbembetov D.D., Almagambetov M.S. (2012). Possibility of application of aluminosilicochrome in the metallothermy of refined ferrochrome. Russian Metallurgy (Metally), № 12, 1041-1044.

## **ҚОЖДАРДЫ ПАЙДАЛАҢУ КЕЗІНДЕ ЖОҒАРЫ КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОХРОМ ҚОЖЫНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

**А.М. АКУОВ\*, Е.Б. ЖУМАШЕВ, Д.В. ЗЯЗЕВ., А.М. АБДИРАШИТ**

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

\* e-mail: akuov.am@mail.ru

**Аңдатпа.** Жоғары көміртекті феррохром өндірісінің өнеркәсіптік кождарына  $Cr_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $FeO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  тотықтарынан айта кетсек, сондай-ақ жоғалған (Cr мет) қорытпалардың оралған патшаларынан тұратын

күрделі композиция болып табылады. Қорытпа патшалары түріндегі шығындарды азайту мақсатында зертханалық жағдайда тәжірибелер жүргізілді. Мақалада тиімді, қол жетімді және кең таралған материалдарды қоспада қабылданған ілмектерге сәйкес ағынды қоспа ретінде қолдану арқылы жоғары көміртекті феррохром өндірісінің қожының қасиеттерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Тәжірибелер келесі ағынды материалдарды - кеңейтілген сазды, кальций боратын және тазартылған феррохром қожын қолдана отырып, Тамманның Жоғары температуралы қарсылық пешінде жүргізілді. Жүргізілген эксперименттердің нәтижесінде жоғарыда аталған материалдардан керамзит қождың жұмсарту, балқыту температурасын және бастапқы қождағы Сгмет құрамын төмендететін ең технологиялық және қолайлы материал болып табылатыны анықталды, бұл болашақта өнеркәсіптік жағдайларда флюс ретінде сыналуда жатады.

Алынған деректерді талдай отырып, құрамында бор бар ағындарды (бормен тұрақтандырылған кальций бораты, рфх шлак) қолданған дұрыс деген қорытындыға келуге болады. Алайда, кальций боратының құнын (1 тонна үшін 500 000-600 000 теңге) ескере отырып, оны қолдану экономикалық тұрғыдан тиімсіз. Сонымен қатар, өндірістік тәжірибе көрсеткендей, шлак көлеміндегі кальций бораты біркелкі бөлінбейді, бұл оны пайдалану тиімділігін төмендетеді.

**Түйін сөздер:** феррохром, қож, металл тамшылары, қождамалы материалдар, хром кені, кремазит.

## STUDY OF SLAG PROPERTIES HIGH-CARBON FERROCHROME WHEN USING FLUXES

A.M. AKUOV\*, E.B. ZHUMASHEV, D.V. ZYAZEV, A.M. ABDIRASHIT

K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan

\* e-mail: akuov.am@mail.ru

**Abstract.** As is known, industrial slags produced by high-carbon ferrochrome are a complex composition consisting of oxides of  $Cr_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $FeO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , as well as entangled alloy crowns, which are losses (Sgmet). In order to reduce the losses in the form of alloy crowns, experiments were carried out in the laboratory. The article presents the results of studying the properties of the slag of the production of high-carbon ferrochrome by using effective, affordable and common materials as a flux additive in accordance with their accepted weights in the mixture. The experiments were carried out in a high – temperature Tamman resistance furnace using the following fluxing materials-expanded clay, calcium borate, and refined ferrochrome slag. As a result of the conducted experiments, it was revealed that of the above materials, expanded clay is the most technologically advanced and suitable material, which reduced the softening temperature, melting of slag and the content of Sgmet in the initial slag, which in the future is subject to testing as a flux in industrial conditions.

Analyzing the data obtained, it could be concluded that it is preferable to use boron-containing fluxes (calcium borate, boron-stabilized RFX slag). However, given the cost of calcium borate (500,000-600,000 tenge per 1 ton) , its use is economically impractical. In addition, as production practice shows, calcium borate is unevenly distributed in the volume of slag, which also reduces the efficiency of its use.

**Keywords:** ferrochrome, slag, alloy crowns, fluxing materials , chrome ores, expanded clay.