

# Влияние кремнеалюминиевых восстановителей на физические свойства шлаков рафинированного ферромарганца

<sup>1\*</sup>ЕСЕНГАЛИЕВ Даурен Амангельдиевич, PhD, dauralga@mail.ru,

<sup>2</sup>АЛМАГАМБЕТОВ Марал Сарсенбаевич, к.т.н., начальник лаборатории, iic-aktobe@mail.ru,

<sup>1</sup>КЕЛАМАНОВ Бауыржан Сатыбалдыұлы, к.т.н., ассоциированный профессор, Kelamanov-b@mail.ru,

<sup>1</sup>САРИЕВ Отеген Рафхатович, к.т.н., ассоциированный профессор, rafhatsson@mail.ru,

<sup>1</sup>ЖУМАГАЛИЕВ Ерлан Уланович, к.т.н., ассоциированный профессор, erlan\_zhumagalie@mail.ru,

<sup>1</sup>ӘБДІРАШИТ Асылбек Мирамханұлы, м.т.н., преподаватель, asik\_942017@mail.ru,

<sup>1</sup>Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Казахстан, 030000, Актюбе,

пр. А. Молдагуловой, 34,

<sup>2</sup>ТОО «Научно-исследовательский инжиниринговый центр ERG», Казахстан, 010017, Нур-Султан,

ул. Кунаева, 2,

\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Изучение вязкости шлаков рафинированного ферромарганца представляет значительный интерес, поскольку процессы восстановления марганца из оксидного расплава лимитируются диффузией частиц в шлаке. При силикотермическом процессе получения рафинированного ферромарганца основное количество марганца теряется с отвальными шлаками, сопровождающимися большой кратностью шлака и саморассыпанием конечных отвальных шлаков до мелкодисперсного состояния. Цель исследования – корректировка шлакового режима путем добавки оксида алюминия. Исследования проводились на синтетических шлаках при различной основности 1,3-1,7 и содержании  $Al_2O_3$  в пределах 5-15%. Вязкость шлаков измеряли на электровибрационном вискозиметре в молибденовых тиглях в токе очищенного аргона. Построены графики зависимости указанных свойств от температурных величин и рассчитаны энергии активации вязкого течения. Результаты эксперимента показывают, что повышение концентрации  $Al_2O_3$  в шлаке способствует понижению вязкости и температуры начала кристаллизации. Например, значения вязкости шлаков №7, 8, 9 при температуре  $T=1550^\circ C$  ( $CaO/SiO_2=1,5$ ) составили 0,137; 0,122 соответственно. В целом для образования высокой жидкотекучести шлакового расплава следует обеспечить в шлаке отношение  $CaO/SiO_2=1,5-1,7$  и содержание  $Al_2O_3$  не менее 10%. Необходимо отметить, что на практике изученные характеристики шлаков играют важную роль при протекании процессов между металлом и шлаком.

**Ключевые слова:** шлак, рафинированный ферромарганец, кремнеалюминиевый восстановитель, вязкость шлака, электропроводность.

## Введение

Исследование физических свойств шлаков ферросплавного производства до настоящего времени является актуальной задачей. При электротермии рафинированного ферромарганца на показатель производства из физико-химических свойств шлака решающее значение оказывают вязкость и температура начала кристаллизации. Поскольку при выплавке рафинированного ферромарганца основное количество тепла затрачивается на восстановительные реакции, где выделяется за счет тока, проходящего через жидкую шлаковую фазу, постольку сопротивление последней в зависимости от состава влияет на полноту восстановления марганца из расплавов [1,2].

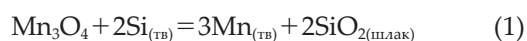
Как показывает практика, при силикотермическом процессе получения рафинированного ферромарганца основное количество марганца теряется с отвальными шлаками, сопровождающимися большой кратностью шлака и саморассыпанием конечных отвальных шлаков до мелкодисперсного состояния [3,4].

Таким образом, относительно вышеизложенного можно сделать заключение о необходимости корректировки шлакового режима текущего производства в сторону среднеосновных высокоглиноземистых шлаков, позволяющего обеспечить более высокие технико-экономические показатели производства рафинированного ферромарганца.

Добавку  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в состав шихтовых материалов при производстве ферросплавов можно включить в глиноземсодержащие материалы (бокситовые агломераты) или алюминиевые порошки совместно с кремнистыми восстановителями, используемыми в металлотермии [5]. Однако, как показывает практика, последний вариант неприемлем из-за дороговизны и большого утара свободного алюминия.

В этом случае наиболее оптимальным вариантом для выплавки рафинированного ферромарганца является использование в качестве восстановителя комплексного сплава – алюмосиликомарганца (АМС), содержащего наряду с кремнием (не менее 30%) также до 20% алюминия. При таком содержании алюминия в восстановителе количество  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в шлаке будет колебаться в пределах 10-15%. Присутствие алюминия в шихте не только благоприятно влияет на жидкотекучесть шлаков, но и способствует относительно полному восстановлению марганца.

В процессах металлотермии при восстановлении марганца из руды в общем виде развиваются следующие реакции:



#### Методика исследований

Для целесообразности использования кремнеалюминиевых восстановителей и влияния оксидов алюминия на шлаковый режим были проведены лабораторные опыты по изучению физических свойств шлаков. Исследования прово-

дились на синтетических шлаках при различной основности в пределах 1,3-1,7 и содержании  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в пределах 5-15%. Такая динамика варьирования состава позволяла проследить влияние глинозема на вязкость, температуру начала кристаллизации и плавкость шлаков при различных основностях.

Образцы шлаков для исследования приготовили из реактивов марки ч.д.а. путем сплавления смесей в графитовом тигле в печи сопротивления Таммана. Исходные материалы перед сплавлением прокаливали до постоянного веса при температуре 850°C. Навеску порошкообразных исходных материалов для каждого шлака предварительно тщательно перемешивали и затем расплавляли в печи. После сплавления полученные шлаки были сданы на химический анализ. Химический состав исследованных шлаков приведен в таблице 1.

Вязкость шлаков измеряли электровибрационным вискозиметром в печи сопротивления с угольным нагревателем. Предварительно измельченную навеску шлака (15-20 г) погружали в молибденовый тигель с внутренним и наружным диаметрами 17 мм и 30 мм соответственно и высотой 60 мм. После расплавления навески шлака (1550-1650°C) содержимое в тигле перемешивали молибденовым прутком для усреднения состава. В центре тигля на глубину 10-12 мм от поверхности шлакового расплава с помощью винтового подъемника вводили молибденовый шпindel диаметром 2 мм и длиной 40 мм, затем производили замеры, исходя из гомогенно-жидкого состояния шлакового расплава при охлаждении со скоростью 3 град/мин до полной кристаллизации.

Таблица 1 – Химический состав исследованных шлаков

| № шлака | Состав, % |       |                  |                                | CaO/SiO <sub>2</sub> |
|---------|-----------|-------|------------------|--------------------------------|----------------------|
|         | MnO       | CaO   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                      |
| 1       | 13,44     | 40,12 | 30,89            | 5,32                           | 1,30                 |
| 2       | 12,14     | 40,56 | 31,18            | 10,24                          |                      |
| 3       | 10,32     | 41,23 | 31,72            | 15,47                          |                      |
| 4       | 13,74     | 41,65 | 29,75            | 5,75                           | 1,40                 |
| 5       | 14,32     | 42,23 | 60,12            | 10,68                          |                      |
| 6       | 10,56     | 42,76 | 30,63            | 15,47                          |                      |
| 7       | 12,45     | 43,01 | 28,65            | 6,12                           | 1,50                 |
| 8       | 13,87     | 43,52 | 29,01            | 11,25                          |                      |
| 9       | 9,89      | 43,94 | 29,30            | 15,77                          |                      |
| 10      | 10,44     | 44,25 | 27,68            | 7,65                           | 1,60                 |
| 11      | 10,86     | 44,63 | 27,86            | 11,45                          |                      |
| 12      | 10,13     | 44,94 | 28,08            | 16,74                          |                      |
| 13      | 12,45     | 45,12 | 26,54            | 6,53                           | 1,70                 |
| 14      | 11,45     | 45,58 | 26,86            | 12,05                          |                      |
| 15      | 10,23     | 45,94 | 27,02            | 15,44                          |                      |

Далее затвердевший шлак снова расплавляли для извлечения шпинделя вискозиметра из шлака.

Замер температуры шлаков осуществляли вольфрам-рениевой термопарой (БР 5/20), горячий спай которого выполнялся контактной сваркой. Термопара была армирована двухканальной алундовой соломкой, сверху надевался защитный алундовый колпачок. Значение вязкости фиксировалось по значению ЭДС (mV) на цифровом милливольтметре.

Полученные результаты по изучению температурной зависимости шлаков отражены на рисунке 1. В таблице 2 приведены результаты расчетов полученных экспериментальных данных.

### Результаты исследований

В результате исследований физических свойств шлаков установлено, что в расплавленном

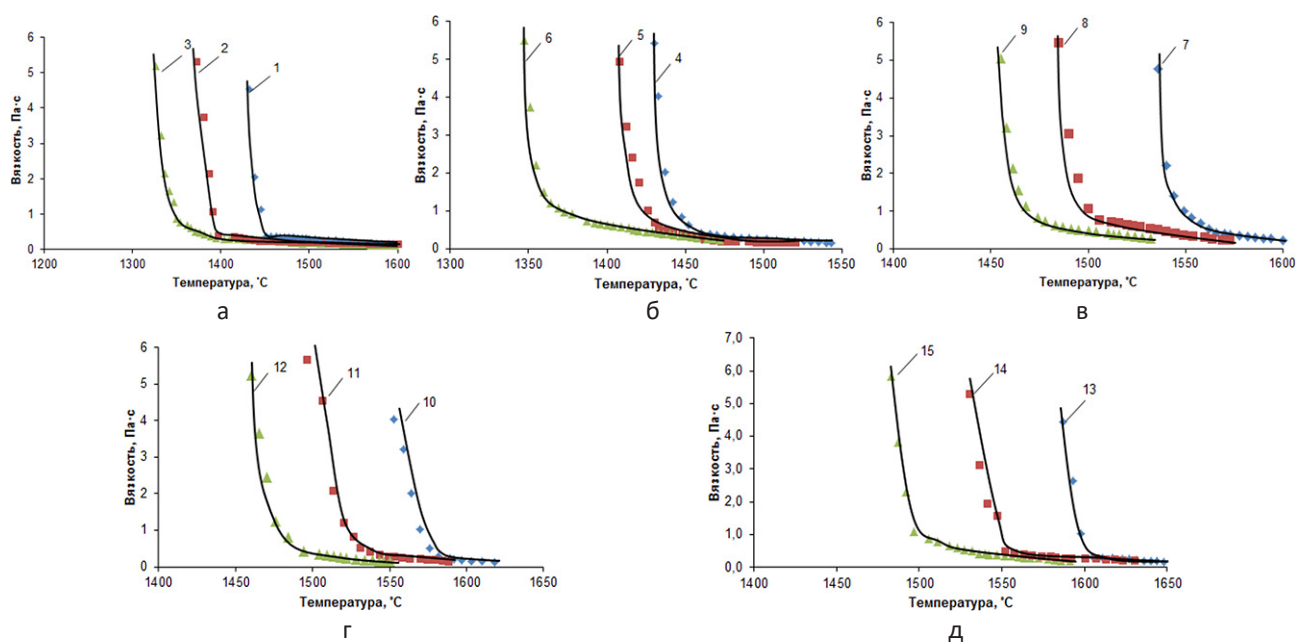
состоянии выше температур кристаллизации вязкость исследованных шлаков имеет низкую величину. Например, при температуре  $T=1600^{\circ}\text{C}$   $\eta=0,035-0,567$  и  $\eta=0,086-0,511$  – температуре  $T=1500^{\circ}\text{C}$ . Исходя из этого, исследованные шлаки можно отнести к типично «коротким». Из рисунка 1 отчетливо видно, что тенденция повышения содержания глинозема приводит к сужению диапазона вязкости.

При отсутствии изменения структуры расплава в гомогенном состоянии, согласно теории вязкого течения Френкеля, точка перелома поли-терм вязкости, построенных в координатах  $\ln \eta - 1/T$ , характеризует изменение величины энергии активации вязкого течения ( $E$ ) при температуре ликвидус гомогенных и гетерогенных шлаков.

На рисунке 2 приведена зависимость логарифма вязкости ( $\ln \eta$ ) от обратной температуры ( $1/T$ ).

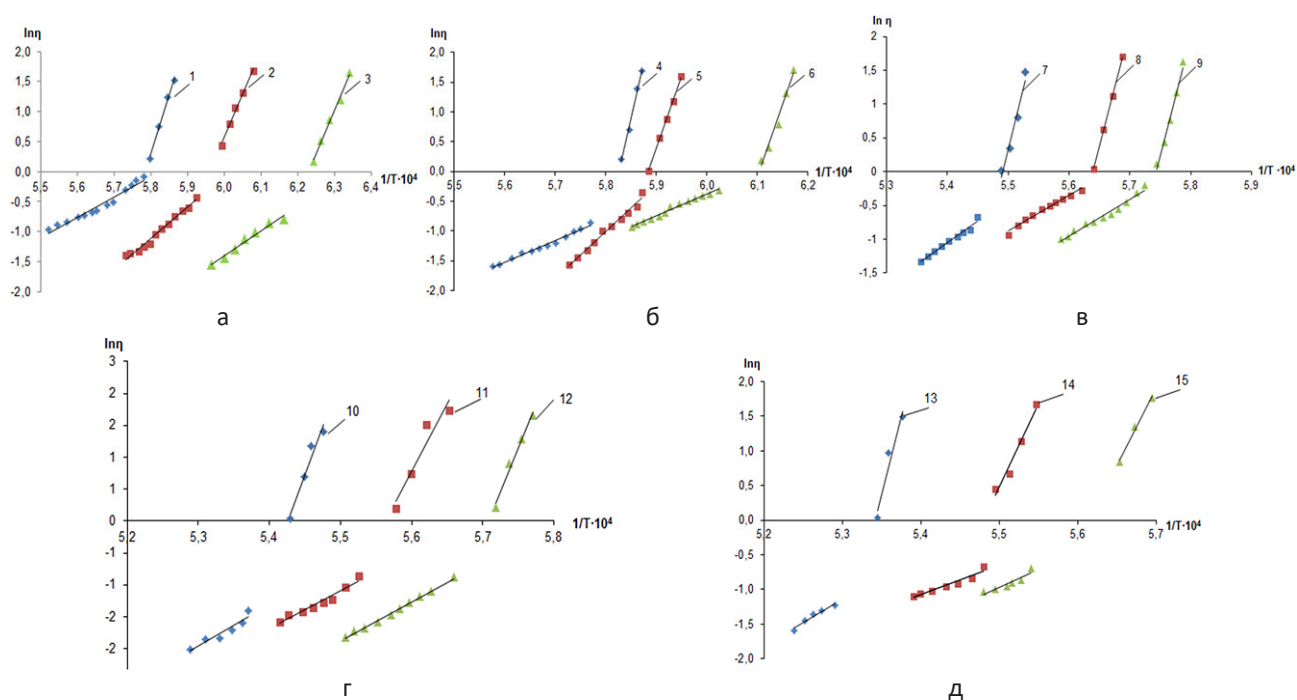
Таблица 2 – Значения вязкости ( $\eta$ ), температуры кристаллизации ( $t_{кр.}$ ) и энергии активации ( $E$ ) вязкого течения исследованных шлаков

| CaO<br>SiO <sub>2</sub> | Уравнения прямых верхних ( $\ln \eta_a$ ) и нижних ( $\ln \eta_b$ ) ветвей | $t_{кр.}, ^{\circ}\text{C}$ | $\eta$ , Па·с при $t, ^{\circ}\text{C}$ |       |       |       |       | $E$ ,<br>кДж/моль |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
|                         |                                                                            |                             | 1400                                    | 1450  | 1500  | 1550  | 1600  |                   |
| 1,3                     | $\ln \eta_a = -279,03 + 479340/T$<br>$\ln \eta_b = -10,00 + 15530/T$       | 1451                        | -                                       | 0,361 | 0,284 | 0,190 | 0,134 | 3985<br>129       |
|                         | $\ln \eta_a = -131,68 + 221690/T$<br>$\ln \eta_b = -25,47 + 41230/T$       | 1426                        | 1,003                                   | 0,217 | 0,185 | 0,130 | 0,056 | 1843<br>342       |
|                         | $\ln \eta_a = -89,36 + 143470/T$<br>$\ln \eta_b = -26,03 + 41075/T$        | 1344                        | 0,503                                   | 0,194 | 0,151 | 0,086 | 0,035 | 1192<br>341       |
| 1,4                     | $\ln \eta_a = -217,57 + 373430/T$<br>$\ln \eta_b = -22,02 + 36602/T$       | 1450                        | -                                       | 0,623 | 0,255 | -     | -     | 3104<br>304       |
|                         | $\ln \eta_a = -144,66 + 245820/T$<br>$\ln \eta_b = -46,37 + 78221/T$       | 1432                        | -                                       | 0,401 | 0,297 | -     | -     | 2043<br>650       |
|                         | $\ln \eta_a = -148,82 + 243770/T$<br>$\ln \eta_b = -22,09 + 36179/T$       | 1365                        | 0,630                                   | 0,321 | -     | -     | -     | 2026<br>300       |
| 1,5                     | $\ln \eta_a = -201,12 + 366260/T$<br>$\ln \eta_b = -36,18 + 65057/T$       | 1553                        | -                                       | -     | -     | 0,137 | 0,093 | 3045<br>540       |
|                         | $\ln \eta_a = -191,59 + 339780/T$<br>$\ln \eta_b = -29,90 + 52760/T$       | 1502                        | -                                       | -     | 0,974 | 0,122 | -     | 2825<br>438       |
|                         | $\ln \eta_a = -200,46 + 349060/T$<br>$\ln \eta_b = -37,71 + 54920/T$       | 1470                        | -                                       | -     | 0,474 | -     | -     | 2902<br>456       |
| 1,6                     | $\ln \eta_a = -160,28 + 295410/T$<br>$\ln \eta_b = -35,77 + 63800/T$       | 1587                        | -                                       | -     | -     | -     | 0,160 | 2456<br>530       |
|                         | $\ln \eta_a = -177,38 + 211010/T$<br>$\ln \eta_b = -34,24 + 60275/T$       | 1540                        | -                                       | -     | -     | 0,291 | 0,142 | 2682<br>645       |
|                         | $\ln \eta_a = -154,51 + 270730/T$<br>$\ln \eta_b = -35,47 + 61084/T$       | 1488                        | -                                       | -     | 0,416 | 0,153 | -     | 2250<br>507       |
| 1,7                     | $\ln \eta_a = -242,86 + 454640/T$<br>$\ln \eta_b = -86,99 + 163330/T$      | 1596                        | -                                       | -     | -     | -     | 0,567 | 3780<br>1357      |
|                         | $\ln \eta_a = -131,71 + 240380/T$<br>$\ln \eta_b = -24,27 + 42963/T$       | 1565                        | -                                       | -     | -     | 0,511 | 0,283 | 1998<br>357       |
|                         | $\ln \eta_a = -123,73 + 220410/T$<br>$\ln \eta_b = -29,68 + 52220/T$       | 1515                        | -                                       | -     | 0,894 | 0,362 | -     | 1832<br>434       |



Основность шлака: а – 1,3; б – 1,4; в – 1,5; г – 1,6; д – 1,7

Рисунок 1 – Политермы вязкости шлаков



Основность шлака: а – 1,3; б – 1,4; в – 1,5; г – 1,6; д – 1,7

Рисунок 2 – Зависимость логарифма вязкости от обратной абсолютной температуры

Как видно, с ростом основности повышается температура кристаллизации. Температуру кристаллизации находили расчетным путем, совместно решая два уравнения верхних и нижних ветвей из таблицы 2. При этом установлено, что с повышением основности наблюдается рост температуры кристаллизации шлаков и значений вязкости, а в

большинстве случаев, и кажущейся энергии активации вязкого течения (таблица 2).

### Выводы

Результаты эксперимента показывают, что повышение содержания  $Al_2O_3$  расширяет интервал температуры начала кристаллизации исследуе-

мых шлаков, образуя алюмосиликатные (анортит –  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  или геленит  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ) соединения, температура плавления которых составляет  $1550^\circ\text{C}$  и  $1593^\circ\text{C}$  соответственно. При этом для образования высокой жидкотекучести рудно-известкового расплава следует обеспечить в шлаке отношение  $\text{CaO}/\text{SiO}_2=1,5-1,7$  и содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не менее 10%. Далее, с ростом отношения  $\text{CaO}/$

$\text{SiO}_2$  более 1,7, увеличится содержание тугоплавкой фазы (ларнит –  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), имеющей температуру  $2130^\circ\text{C}$ , тем самым ухудшая шлаковый режим процесса плавки рафинированного ферромарганца. С увеличением основности и содержания глинозема происходит перегруппировка атомов алюминия из шестерной координации в анионные комплексы типа  $(\text{Al}_2\text{SiO}_4^-)_n$  [6].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заякин О.В. Разработка технологии получения хромосодержащих ферросплавов из бедного хромового сырья: Дис. ... докт. техн. наук: 05.16.02. – Екатеринбург: УрОРАН, 2017 – 264 с.
2. Алмагамбетов М.С. Разработка технологии выплавки рафинированных сортов феррохрома с применением ферросилико-алюминия: Автореф. ... канд. техн. наук: 05.16.02. – Караганда: ХМИ, 2009. – 25 с.
3. Жучков И.В., Смирнов Л.А., Зайко В.П., Воронов Ю.И. Технология марганцевых ферросплавов. Ч.2. Низкоуглеродистые сплавы. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. С. 431-432.
4. Жданов А.В., Жучков В.И., Дашевский В.Я., Леонтьев Л.И. Использование отходов ферросплавного производства // Сталь – 2014. – № 3. – С. 92-98.
5. А.С. 28694 РК. Кл. С 22В 7/04 – Способ стабилизации шлаков производства рафинированных марок ферромарганца от рассыпания / Байсанов А.С., Байсанов С.О., Толымбеков М.Ж., Есенгалиев Д.А. и др.; опубл. 15.07.14, Бюл. № 7. – 2 с.
6. Есенгалиев Д.А. Разработка технологии выплавки рафинированного ферромарганца с использованием высокоосновных марганцевых руд и специальных комплексных сплавов: Дис. ... доктора философии (PhD) по специальности 6D070900 – Металлургия. – Караганда: КарТУ, 2020. – 111 с.

### Кремнилі алюминий тотықсыздандырғыштардың тазартылған ферромарганец қождарының физикалық қасиеттеріне әсері

<sup>1</sup>\*ЕСЕНГАЛИЕВ Даурен Амангельдиевич, PhD, dauralga@mail.ru,

<sup>2</sup>АЛМАГАМБЕТОВ Марал Сарсенбаевич, т.ғ.к., зертхана басшысы, iic-aktobe@mail.ru,

<sup>1</sup>КЕЛАМАНОВ Бауыржан Сатыбалдыұлы, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Kelamanov-b@mail.ru,

<sup>1</sup>САРИЕВ Отеген Рафхатович, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, rafhatsson@mail.ru,

<sup>1</sup>ЖУМАГАЛИЕВ Ерлан Уланович, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, erlan\_zhumagaliev@mail.ru,

<sup>1</sup>ӘБДІРАШИТ Асылбек Мирамханұлы, т.ғ.м., оқушысы, asik\_942017@mail.ru,

<sup>1</sup>Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Қазақстан, 030000, Ақтөбе, Ә. Молдағұлова даңғылы, 34,

<sup>2</sup>«ERG ғылыми-зерттеу және инжиниринг орталығы» ЖШС, Қазақстан, 010017, Нұр-Сұлтан, Қонаев көш., 2.

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Тазартылған ферромарганец қождарының тұтқырлығын зерттеу үлкен қызығушылық тудырады, өйткені оксидті балқымадан марганецтің қалпына келу процестері қождағы бөлшектердің диффузиясымен шектеледі. Тазартылған ферромарганецті алудың силикотермиялық процесінде марганецтің негізгі мөлшері қождың үлкен жиілігімен және ұсақ дисперсті күйге дейін соңғы үйінді қождардың өздігінен төгілуімен бірге үйінді қождарымен жоғалады. Зерттеу мақсаты – алюминий оксидін қосу арқылы қож режимін түзету. Зерттеулер синтетикалық қождарда әр түрлі негізділік 1,3-1,7 және құрамында  $\text{Al}_2\text{O}_3$  5-15% шегінде жүргізілді. Қождар тұтқырлығын электрвибрациялық вискозиметре тазартылған аргон тоғындағы молибден тигельдерінде өлшеген. Көрсетілген қасиеттердің температуралық шамаларға тәуелділік графиктері салынды және тұтқыр токтың активтену энергиясы есептелді. Эксперимент нәтижелері шлактағы  $\text{Al}_2\text{O}_3$  концентрациясының жоғарылауы тұтқырлық пен кристалданудың басталу температурасын төмендетуге ықпал ететіндігін көрсетеді. Мысалы,  $T=1550^\circ\text{C}$  ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2=1,5$ ) температурасындағы № 7, 8, 9 қождардың тұтқырлық мәні 0,137 құрады; тиісінше 0,122. Тұтастай алғанда, қож балқымасының жоғары сұйық ағындылығын қалыптастыру үшін қожда  $\text{CaO}/\text{SiO}_2=1,5-1,7$  қатынасын және  $\text{Al}_2\text{O}_3$  құрамын кемінде 10% қамтамасыз ету керек. Айта кету керек, іс жүзінде қождардың зерттелген сипаттамалары металл мен қож арасындағы процестер кезінде маңызды рөл атқарады.

**Кілт сөздер:** қож, тазартылған ферромарганец, кремнилі алюминий тотықсыздандырғыш, қождың тұтқырлығы, электр өткізгіштігі.



**Silicon-aluminum Reducing Agents Effect on Physical Properties of Refined Ferromanganese Slag**<sup>1</sup>\*YESSENGALIYEV Dauren, PhD, dauralga@mail.ru,<sup>2</sup>ALMAGAMBETOV Maral, Cand. Tech. Sci., Head of the Laboratory, iic-aktobe@mail.ru,<sup>1</sup>KELAMANOV Bauyrzhan, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, Kelamanov-b@mail.ru,<sup>1</sup>SARIYEV Otegen, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, rafhatsson@mail.ru,<sup>1</sup>ZHUMAGALIYEV Yerlan, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, erlan\_zhumagalie@mail.ru,<sup>1</sup>ABDRASHIT Asylbek, Mast. Tech. Sci., Lecturer, asik\_942017@mail.ru,<sup>1</sup>K. Zhubanov Aktobe Regional University, Kazakhstan, 030000, Aktobe, A. Moldagulova ave., 34,<sup>2</sup>ERG Research and Engineering Center LLP, Kazakhstan, 010017, Nur-Sultan, Kunayev str., 2.

\*corresponding author.

**Abstract.** The study of the refined ferromanganese slag viscosity is of considerable interest, since the processes of manganese reduction from an oxide melt are limited by the diffusion of particles in the slag. In the silicothermal process of obtaining refined ferromanganese, the main amount of manganese is lost with dump slag accompanied by a large slag ratio and self-scattering of the final dump slag to a finely dispersed state. In this regard, the task was posed of adjusting the slag mode by adding aluminum oxide. The studies were carried out on synthetic slag with different basicities of 1.3-1.7 and  $Al_2O_3$  content in the range of 5-15%. The slag viscosity was measured on an electro-vibration viscometer in molybdenum crucibles in the stream of purified argon. The graphs of the dependence of the indicated properties on the temperature values are plotted and the activation energies of the viscous flow are calculated. The experimental results show that increasing the concentration of  $Al_2O_3$  in slag contributes to decreasing viscosity and temperature of the onset of crystallization. For example, the values of viscosity of slag No. 7, 8, 9 at the temperature of  $T=1550^\circ C$  ( $CaO/SiO_2=1,5$ ) were 0.137; 0.122 respectively. In general, for the formation of high fluidity of the slag melt, the  $CaO/SiO_2$  ratio of 1.5-1.7 and an  $Al_2O_3$  content of at least 10% should be provided in slag. It should be noted that in practice, the studied characteristics of slag play an important role in the course of processes between metal and slag.

**Keywords:** slag, refined ferromanganese, silicon-aluminum reducing agent, slag viscosity, electrical conductivity.

## REFERENCES

1. Zayakin O.V. Razrabotka tekhnologii polucheniya hromsoderzhashchih ferrosplavov iz bednogo hromovogo syr'ya: Dis. ... dok. tekhn. nauk: 05.16.02. – Ekaterinburg: UrORAN, 2017 – 264 s.
2. Almagambetov M.S. Razrabotka tekhnologii vyplavki rafinirovannykh sortov ferrohroma s primeneniem ferrosilikoal'yuminiya: Avtoref. ... kand. tekhn. nauk: 05.16.02. – Karaganda: HMI, 2009. – 25 s.
3. Zhuchkov I.V., Smirnov L.A., Zajko V.P., Voronov Yu.I. Tekhnologiya margancevykh ferrosplavov. Ch.2. Nizkouglerodistye splavy. Ekaterinburg: UrO RAN, 2008. S. 431-432.
4. Zhdanov A.V., Zhuchkov V.I., Dashevskij V.Ya., Leont'ev L.I. Ispol'zovanie othodov ferrosplavnogo proizvodstva // Stal' – 2014. – № 3. – S. 92-98.
5. A.S. 28694 RK. Kl. S 22V 7/04 – Sposob stabilizatsii shlakov proizvodstva rafinirovannykh marok ferromarganca ot rassypaniya / Bajsanov A.S., Bajsanov S.O., Tolymbekov M.Zh., Esengaliev D.A. i dr.; opubl. 15.07.14, Byul. № 7. – 2 s.
6. Esengaliev D.A. Razrabotka tekhnologii vyplavki rafinirovannogo ferromarganca s ispol'zovaniem vysokoosnovnykh margancevykh rud i special'nykh kompleksnykh splavov: Dis. ... doktora filosofii (PhD) po special'nosti 6D070900 – Metallurgiya. – Karaganda: KarTU, 2020. – 111 s.