

МРНТИ 53.31.21

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СТАБИЛИЗИРОВАННОМ ШЛАКЕ РФХ

**А.А. МЫРЗАҒАЛИЕВ**<sup>1[0000-0003-0334-1786]\*</sup>, **Ж.Б. МҮСАБЕКОВ**<sup>2[0000-0002-7101-8561]</sup>,  
**Н.З. НҮРҒАЛИ**<sup>1[0000-0002-0477-7867]</sup>, **М.С. АЛМАҒАМБЕТОВ**<sup>1[0000-0003-3167-3462]</sup>,  
**Т.В. ХАЛИТОВ**<sup>1[0000-0001-5700-1096]</sup>

<sup>1</sup>Научно исследовательский-инжиниринговый центр ERG, Актобе, Казахстан

<sup>2</sup>Актыбинский завод ферросплавов, Актобе, Казахстан

\*e-mail.ru: aibar.myrzagaliyev@erg.kz

**Аннотация.** В данной статье исследуются стабилизированные шлаки рафинированного феррохрома Актыбинского завода ферросплавов. Рассмотрена проблема распада двухкальциевого силиката и предотвращение его распада методом кристаллохимической стабилизации структуры шлака добавкой борсодержащего минерала – колеманита. Описана технологическая схема производства рафинированного феррохрома силикотермическим способом в плавильном цеху №2 АктЗФ. Основное внимание в работе акцентируется на исследованиях макроструктуры и содержания металлических включений в стабилизированном шлаке рафинированного феррохрома с помощью химического и микроскопического анализа. Выполнена оценка крупности металлических включений во всех видах шлаков, образующихся при производстве рафинированного феррохрома. Количественная оценка крупности металлических включений в шлаках выполнена с применением программного комплекса микроскопа «МС View». Приведена сравнительная таблица всех видов шлака по содержанию металлического и общего хрома по трем товарным фракциям: 0-5 мм, 5-20 мм и 20-40 мм. Выполнен анализ полученных данных исходя из химических результатов и исследовании образцов шлака на оптическом микроскопе. В заключение авторами предложена схема разделения шлаков по содержанию металлической части, что позволит снизить производственную нагрузку на цех переработки шлаков при повышении качества получаемых продуктов.

**Ключевые слова:** Стабилизированные шлаки, микроструктура, электропечь, корольки, РФХ, силикотермия.

В процессе выплавки рафинированного феррохрома (РФХ) в плавильном цеху №2 (ПЦ-2) Актыбинского завода ферросплавов (АктЗФ) по используемой технологии образуется три основных вида шлаков - сливные, скачаные и корочные, которые существенно отличаются как по объемам образования, так и по содержанию и крупности металлических включений. Основу шлаков по текущей технологии составляет двухкальциевый силикат, склонный к распаду при охлаждении.

С конца 2019 г. в ПЦ-2 производится стабилизация шлаков кристаллохимическим способом, за счёт добавки на плавку колеманита, содержащего бор, который препятствует

распаду двухкальциевого силиката. В результате стабилизации шлака появилась возможность обогащать его с выделением металлоконцентрата, по схеме, используемой для обогащения шлаков ВУФХ ПЦ-1 АктЗФ.

Поскольку при обогащении шлаков в металлоконцентрат извлекаются только металлические включения, встал вопрос о целесообразности объединения всех видов шлаков, с разным исходным содержанием металла.

Целью настоящей работы является изучение структуры стабилизированных шлаков и определение крупности металлических включений во всех видах шлаков, образующихся при производстве РФХ. А также, целесообразность объединения шлаков перед обогащением и их обогащение в полном объеме образования.

В настоящее время в ПЦ-2 Акт.ЗФ рафинированный феррохром производится в электропечах силикотермическим способом. В связи с высокой кратностью шлака при выплавке РФХ, происходит чередование выпусков расплава из печи – шлакового и металлического. Порядок шлакового и металлического выпусков несколько отличаются друг от друга.

Перед шлаковым выпуском у летки печи устанавливается каскад из металлических ковшей. На шлаковых выпусках из печи выходит только шлак, и, в обязательном порядке, первый ковш (под леткой) заполняется полностью и отстаивается заданное время до формирования защитной корки (гарнисажа) на внутренней поверхности металлического ковша. Шлаки второго и третьего ковшей выливаются в шлаковоз при первой возможности после завершения шлакового выпуска. Шлак из первого ковша сливается позже, после формирования достаточной толщины корки. После слива шлака, ковш со шлаковой коркой устанавливается под летку печи первым в каскаде для металлического выпуска. По готовности плавки, производится металлический выпуск (одновременно выпускается расплав металла и шлака). На металлическом выпуске в первом ковше с предварительно замороженной коркой шлака скапливается металл, а в остальные ковши переливается шлак металлического выпуска. После завершения металлического выпуска шлак из шлаковых ковшей (последующих в каскаде после первого ковша) сливается в шлаковоз. Шлаки, сливаемые в шлаковоз из шлаковых ковшей, как на шлаковом и металлическом выпусках, называются «сливные». С поверхности расплава первого ковша, содержащего металл, производят скачивание шлака (скачанный шлак) в шлаковню и затем производится разливка металла в изложницы. После окончания разливки металла, ковш вместе с содержимым (корочный шлак, намерзший на стенки ковша, и остатки металла) выворачивается в шлаковоз и пустой ковш ставят обратно

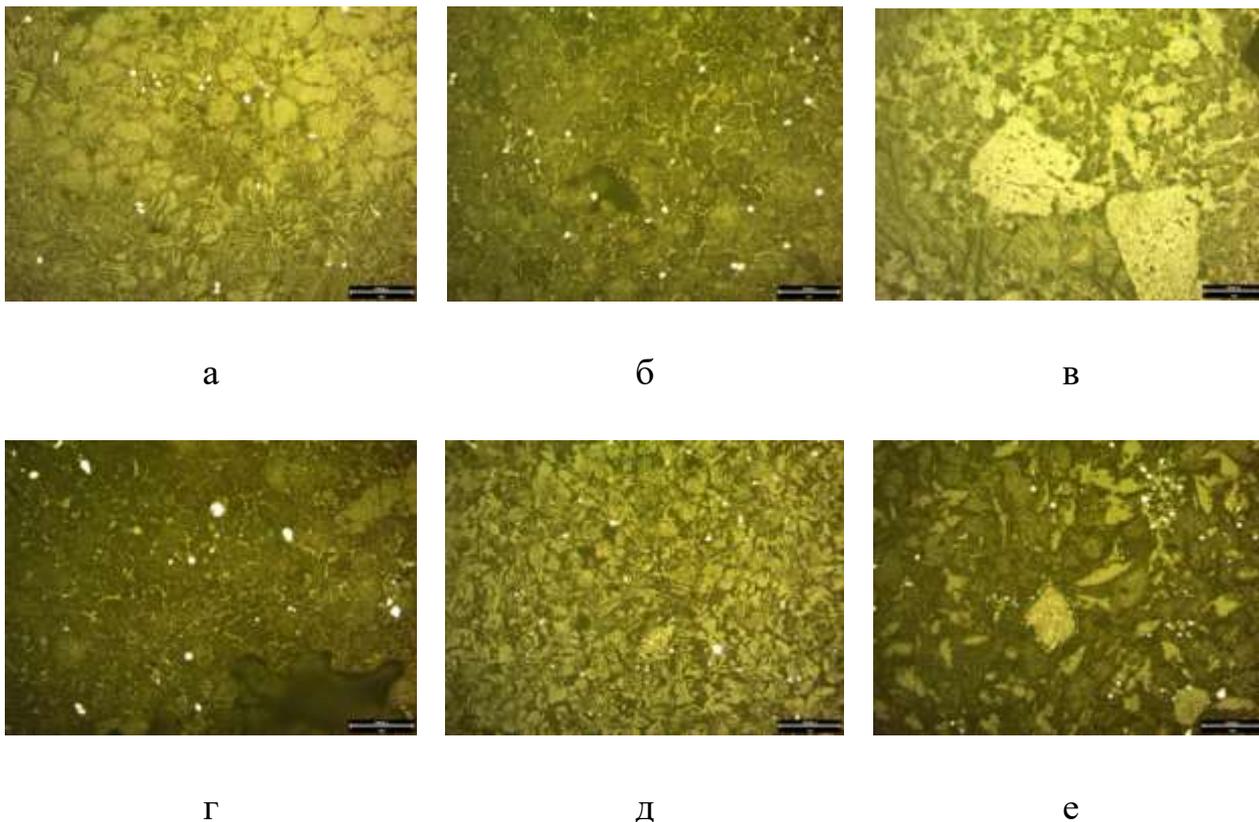
под шлаковый выпуск. В шлаковозы также выгружаются и скачаные шлаки. Далее последовательность операций повторяется. В результате технологических операций происходит смешение всех видов шлака, отличающихся друг от друга по содержанию металлических включений.

Для оценки потерь металла со шлаком была проведена работа по исследованию состава стабилизированного шлака. На первом этапе в ПЦ-2 был произведён отбор сливных шлаков со второго и третьего ковшей на металлических выпусках, и отдельно со всех ковшей на шлаковых выпусках. Для отбора шлаков использовали шлаковни, установленные на ж/д платформах, в которые переливали шлак из ковшей соответствующего выпуска любой из 7 печей цеха. Остывшие шлаки дробили на дробильной сортировочной установке №3 (ДСУ-3), с последующим грохочением на фракции 0-5 мм, 5-20 мм и 20-40 мм. Результаты анализов проб на содержание хрома металлического и общего приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Данные результатов анализов проб сливных шлаков

Партия	Проба	Фракция шлака									С <sub>Гобщ</sub> / С <sub>Гмет.</sub> среднее по массе партии, %
		20-40мм			5-20мм			0-5мм			
		С <sub>Г</sub> мет.,%	С <sub>Г</sub> общ.,%	М, т/в % от исход- ного	С <sub>Г</sub> мет.,%	С <sub>Г</sub> общ.,%	М, т/в % от исход- ного	С <sub>Г</sub> мет.,%	С <sub>Г</sub> общ.,%	М, т/в % от исход- ного	
1 - Шлак металли- ческого выпуска (8 ковшей = 13,57 тонн)	Средняя по точечным пробам	0,47	3,54	8,5 т/ 62,64 %	1,05	4,01	3,4 т/ 25,06 %	4,56	6,91	1,67 т/ 12,30 %	3,91/1,07
	Коллект. проба	0,44	3,57		0,96	3,49		4,51	6,49		
2 - Шлак шлакового выпуска (8 ковшей = 14,38 тонн)	Средняя по точечным пробам	0,53	4,36	9,3 т/ 64,67 %	0,45	4,67	3,43 т/ 23,85 %	1,83	5,6	1,65 т/ 11,48 %	4,52 / 0,63
	Коллект. проба	0,49	4,37		0,39	4,46		1,96	5,49		

Для оценки крупности металлических включений в сливных шлаках, было проведено исследование анализируемых шлифов шлаков на оптическом микроскопе. Изображения шлаков при 100 кратном увеличении приведены на рисунке 1.



**Рисунок 1 - Изображения шлифов сливных шлаков шлаковых (а, б, в) и металлических (г, д, е) выпусков фракций 0-5 (а, г), 5-20 (б, д) и 20-40 (в, е) мм.**

При анализе этих аншлифов отмечается, что металлические включения в основном представлены мелкими каплями, относительно равномерно распределенными по объему шлака. Отмечено, что капли включений в шлаке шлаковых выпусков (до 5 мкм на исследованных образцах) несколько уступают по размеру включениям в шлаке с металлических выпусков (крупность до 10 мкм на исследованных образцах). Однако, низкая крупность металлических включений в сливных шлаках не позволяет надеяться на высокие ТЭП их обогащения.

Набор опытных партий корочных и скачаных шлаков произведён в следующих количествах:

- 2 шлаковоза ( $V=11\text{м}^3$ ) корочного шлака, всего 20,34 т;
- 3 шлаковни ( $V=2,83\text{м}^3$ ) скачанного шлака, всего 9,13 т.

Остывшие шлаки подвергали первичному дроблению гидромолотом, при этом не производилась ручная выборка металла и весь объем опытного шлака уходил на дальнейшую

переработку. Остывшие шлаки дробили на ДСУ-4, с последующим грохочением на фракции 0-5 мм, 5-20 мм и 20-40 мм. Результаты анализов проб на содержание хрома металлического и общего приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты анализов проб корочных и скачанных шлаков

Вид шлака	№ пробы	Конус	Дробление на ЦППШ					
			20-40 мм		5-20 мм		0-5 мм	
			Cr <sub>мет.</sub> ,%	Cr <sub>общ.</sub> ,%	Cr <sub>мет.</sub> ,%	Cr <sub>общ.</sub> ,%	Cr <sub>мет.</sub> ,%	Cr <sub>общ.</sub> ,%
Корочный	Коллективная проба		6,76	9,17	6,8	8,49	1,3	4,62
	Среднее по точечным пробам		12,19	14,63	3,34	5,74	2,56	5,22
	Масса, тонн		12,46		3		4,76	
Скачанный	Коллективная проба		25	29,4	3,11	6,59	11,9	15,61
	Среднее по точечным пробам		18,79	21,20	5,23	7,68	6,35	8,84
	Масса, тонн		4,8		1,78		1,76	

Сравнение таблиц 1 и 2 показывает, что между сливными шлаками с одной стороны и корочными и скачанными с другой наблюдается существенная разница по содержанию металла. Крупные фракции сливного шлака практически не содержат металла (около 0,5%), в то время как в скачанных доля металла может превышать 20%. Поэтому совместная переработка таких шлаков не целесообразна и будет приводить к потерям металла.

Фракции 20-40 мм сливных шлаков, как с металлического, так и со шлакового выпусков содержат около 0,5 % металлического хрома, что недостаточно для экономически оправданного извлечения из них металлоконцентрата (МФХ), и они могут быть реализованы без дополнительной обработки. Однако при дроблении этих шлаков происходит перераспределение металлических включений по фракциям с обогащением металлом мелких фракций.

Интерес для обогащения могут представлять «сливные шлаки» только фракции 0-5 мм со шлакового и металлического выпусков (Cr<sub>мет.</sub> 1,86 и 4,56 % соответственно). Также отмечено, что для сливных шлаков наблюдается хорошая сходимость результатов анализа как на Cr<sub>мет.</sub>, так и на Cr<sub>общ.</sub>, что характеризует такие шлаки как материал с малой степенью неоднородности.

Отсюда можно предположить, что металл в шлаке представлен в виде мелких включений, достаточно равномерно распределенных в его объёме.

### Результаты

Таким образом, можно уверенно утверждать, что до 80 % по массе сливных шлаков (фракции 20-40 мм с металлических и шлаковых выпусков и фракция 5-20 мм со шлаковых выпусков) не требуют обогащения, что позволяет снизить нагрузку на цех переработки шлака (ЦПШ) АктЗФ. При годовом объеме образования сливных шлаков в ПЦ-2 на уровне 100 тыс. т и скаченных и корочных 80-90 тыс. т снижение нагрузки на ЦПШ по сравнению с текущей схемой переработки всего стабилизированного шлака составит не менее 100 тыс.т/год без потерь металла (текущие хвосты содержат до 1% металла, т.е. обогащаются за счет более богатых корочных и сливных шлаков). Для этого в ПЦ-2 необходимо организовать отдельный сбор и размещение по шлаковозам сливных шлаков с металлического и шлакового выпусков, и, отдельно, шлаков из металлического ковша, корочный и скачанный шлак. Фракции сливных шлаков 5-20 мм могут быть, как и фракция 20-40 мм, отправлены на реализацию без обогащения (рисунок 2).



Рисунок 2 - Предлагаемая схема разделения шлаков в ПЦ-2 и ЦПШ АктЗФ

**Заключение.** Изучение структуры стабилизированных шлаков и определение количества металлического хрома во всех видах шлаков, образующихся при производстве

РФХ показало, что в сливных шлаках от шлаковых и металлических выпусков его содержание во фракции 20-40 мм составляет 0,44-0,53 %, во фракции 5-20 мм 0,39-1,05 % и во фракции 0-5 мм 1,83-4,56%. Где наибольшее количество соответствует шлаку металлического выпуска, что уже является интересным для извлечения металлической составляющей. По скачаным и корочным шлакам количество металлического хрома составило 3-20 %. Такое содержание металла в шлаках придаёт смысл дальнейшей их переработки с получением металлоконцентрата и строительного щебня. Разделение данных видов шлаков в плавильном цехе №2 позволит снизить производственную нагрузку на цех переработки шлаков при повышении качества получаемых продуктов.

### Список литературы

1. Кабанова Л.Я. Петрографические и минералогические особенности стабилизированного шлака низкоуглеродистого феррохрома ОАО «ЧЭМК» / Л.Я. Кабанова, А.С. Королёв, Д.И. Ракитин, Т.И. Таранина // Материалы Всероссийской конференции «Строительное материаловедение сегодня: актуальные проблемы и перспективы развития». Челябинск: ЮУрГУ. – 2010. – С. 204-206.
2. Демин Б.Л. Технические решения по переработке самораспадающихся шлаков / Б.Л. Демин и др. // Тр. междунар. конгресса "Фундаментальные основы и технологии переработки и утилизации техногенных отходов", Екатеринбург: ООО УИПЦ. – 2012. – С. 212-216.
3. Лопатин Д.В. Критерии кристаллохимической стабилизации двухкальциевого силиката / Д.В. Лопатин // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2007. – № 3. – С. 7-10.
4. Грабеклис А.А. Новое в технологии кристаллохимической стабилизации шлаков производства рафинированного феррохрома / А.А. Грабеклис и др. // Сталь. - 2010. – № 5. – С. 78-83.

### References

1. Kabanova L.YA. (2010) Petrograficheskiye i mineralogicheskiye osobennosti stabilizirovannogo shlaka nizkouglerodistogo ferrokroma ОАО «CHEMK» [Petrographic and mineralogical features of stabilized slag of low-carbon ferrochrome of JSC ChEMK] / L.YA. Kabanova, A.S. Korolev, D.I. Rakitin, T.I. Taranina // Materialy Vserossiyskoy konferentsii «Stroitel'noye materialovedeniye sego-dnya: aktual'nyye problemy i perspektivy razvitiya». Chelyabinsk: YUUrGU, 204-206 [in Russian].

2. Demin B.L. Tekhnicheskiye resheniya po pererabotke samoraspadayushchikhsya shlakov (2012) [Technical solutions for the processing of self-decaying slags] / B.L. Demin i dr. // Tr. mezhdunar. kongressa "Fundamental'nyye osnovy i tekhnologii pererabotki i utilizatsii tekhnogennykh otkhodov". - Yekaterinburg: OOO UIPTS, 212-216 [in Russian].

3. Lopatin D.V. (2007) Kriterii kristallokhimicheskoy stabilizatsii dvukhkal'tsiyevogo silikata [Criteria for crystallochemical stabilization of dicalcium silicate] / D.V. Lopatin // Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya, № 3, 7-10 [in Russian].

4. Grabeklis A.A. (2010) Novoye v tekhnologii kristallokhimicheskoy stabilizatsii shlakov proizvodstva rafinirovannogo ferrokhroma [New in the technology of crystal-chemical stabilization of slags for the production of refined ferrochrome] / A.A. Grabeklis i dr. // Stal', № 5, 78-83 [in Russian].

## **РФХ ТҰРАҚТАНДЫРЫЛҒАН ШЛАКТАҒЫ МЕТАЛЛ ҚОСЫНДЫЛАРЫНЫҢ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ**

**А.А. МЫРЗАҒАЛИЕВ<sup>1,\*</sup>, Ж.Б. МҰСАБЕКОВ<sup>2</sup>, Н.З. НҰРҒАЛИ<sup>1</sup>,  
М.С. АЛМАҒАМБЕТОВ<sup>1</sup>, Т.В. ХАЛИТОВ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ERG ғылыми-зерттеу инжиниринг орталығы, Ақтөбе, Қазақстан

<sup>2</sup>Ақтөбе ферроқорытпа зауыты, Ақтөбе, Қазақстан

\*e-mail: aibar.myrzagaliyev@erg.kz

**Аңдатпа.** Бұл мақалада Ақтөбе ферроқорытпа зауытының рафинирленген феррохромының тұрақтандырылған қождары зерттелген. Екі кальцилі силикаттың ыдырауы және қожға құрамында бор тотығы бар «колеманит» минералын қосып, оны кристаллохимиялық тұрақтандыру арқылы ыдыраудың алдын-алу мәселесі қарастырылған. АқТФЗ №2 балқыту цехында силикотермиялық әдіспен рафинирленген феррохром өндірісінің технологиялық схемасы сипатталған. Бұл жұмыста басты назар химиялық және микроскопиялық анализді қолдана отырып тұрақтандырылған тазартылған феррохром қожының (РФХ) макроқұрылымын және ондағы металл қоспаларын зерттеуге бағытталған. Тазартылған феррохром қожының (РФХ) өндірісі кезінде пайда болатын қождардың барлық түрлеріндегі металл қосындыларының ірілігі анықталды. Қождағы металл қосындыларының ірілігі микроскоптың «MC View» бағдарламалық кешен көмегі арқылы жасалды. 3 тауарлы фракция бойынша (0-5 мм, 5-20 мм и 20-40 мм) барлық қождағы металдық хром және жалпы хром құрамына байланысты салыстырмалы кесте келтірілген. Оптикалық микроскопта қож сынамаларын зерттеу және химиялық сараптау нәтижелеріне сүйене отырып, алынған мәліметтерге талдау жасалынған. Қорытындылай келгенде, авторлармен өнімдердің сапасын арттырып және қожды өңдеу цехына өндірістік жүктемені азайта отыра, қожды металл қосындыларының құрамына байланысты бөлу схемасы ұсынылды.

**Түйін сөздер:** тұрақтандырылған қождар, макроқұрылым, электр пеші, түйіндер, РФХ, силикотермия.

## INVESTIGATION OF THE METAL INCLUSIONS CONTENT IN THE STABILIZED SLAG OF THE REFINED FERROCHROMIUM

A.A. MYRZAGALIYEV<sup>1</sup>, Z.B. MUSSABEKOV<sup>2</sup>, N.Z.NURGALI<sup>1</sup>,  
M.C. ALMAGAMBETOV<sup>1</sup>, T.V. KHALITOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ERG Research and engineering centre, Aktobe, Kazakhstan<sup>2</sup>,  
Aktobe Ferroalloys Plant, Aktobe, Kazakhstan

\*e-mail: aibar.myrzagaliyev@erg.kz

**Abstract.** This article examines the stabilized refined ferrochromium slags of the Aktobe Ferroalloys Plant. We considered the decomposition problem of dicalcium silicate and its prevention by changing the chemical composition of the slag adding the boron-containing "colemanite" element. We described the technological scheme of the refined ferrochrome by the silicothermal method in the smelting shop №2 of AktFP. The main observation in this work is focused on studies of the structure and content of metal inclusions in stabilized RFC slag applying chemical and microscopic analysis. We determined the size and content of metal inclusions in all types of slags that form during the production of RFC. The quantitative analysis of the size of metal inclusion in slag is carried out with the application of the software of the microscope «MC View». A comparative table of all types of slag in metal and total chromium content is shown for three product fractions: 0-5 mm, 5-20 mm and 20-40 mm. The analysis of the obtained data is carried out on the basis of chemical results and analysis of samples of slag on optical microscope. In conclusion, the authors proposed a separation scheme of several types of slags, which will reduce the production workload on the slag processing shop by improving the quality of the products obtained.

**Key words:** Stabilized slags, microstructure, electric furnace, metal beads, refined ferrochromium, silicothermy.