

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2021)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/EZKZ4794>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,344

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

***В. В. Ларичкин**

Новосибирский государственный технический университет,
Российская Федерация, г. Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ШЛАКОВ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В работе исследована возможность вовлечения в переработку первичных сталеплавильных шлаков с доизвлечением железа и шлака для производства строительных изделий.

В Павлодарской области Республики Казахстан при производстве стали на электросталеплавильных предприятиях ТОО «Casting» и ТОО «KSP Steel» образующиеся электросталеплавильные шлаки и пыли складываются в шлаковых отвалах и практически не используются, несмотря на высокое содержание в них оксидов железа и королеков металлического железа (до 40 % от массы в отдельных видах шлаков).

Экспериментально определен химический и минералогический состав первичного электросталеплавильного шлака с содержанием общего железа в количестве более 20 %, который включает следующие минералы: вюстит (FeO), магнетит (Fe_3O_4), геленит ($Ca_2Al(Al,Si)_2O_7$), мервинит ($Ca_3Mg(SiO_4)_2$).

В ходе проведенных экспериментальных исследований по переработке первичных электросталеплавильных шлаков восстановительной индукционной плавкой шлакоизвестковококсовых окатышей установлена возможность извлечения железоуглеродистых сплавов и шлака для производства бетона.

Ключевые слова: металлургия, сталь, шлак, рециклинг, рентгеноспектральный анализ.

Введение

Производство электростали и проката различного сортамента является одним из основных драйверов роста в черной металлургии мира и Республики Казахстан в частности [1, 2].

Современное электросталеплавильное производство характеризуется получением значительного количества побочных продуктов [3]:

- первичного сталеплавильного шлака (10–12 % от массы плавки);
- вторичного шлака из агрегата ковш-печь (до 2,5 % от массы плавки);
- пыли (до 1,5 % от массы плавки).

Побочный продукт сталеплавильных процессов представляет собой расплав оксидов, образующихся при взаимодействии с кислородом примесей, содержащихся в чугунах и металлургическом ломе, компонентов ферросплавов, шлакообразующих, вносимых в сталеплавильную ванну для корректировки состава, миксерного и доменного шлака, поступающих с чугуном, а также от футеровки плавильных агрегатов [4].

По данным Ассоциации «Еврошлак» [5], в 2010, в странах Европы было образовано 21,8 млн. тонн сталеплавильных шлаков. При этом, общий объем использованного шлака составил 22,3 млн. тонн (рисунок 1).

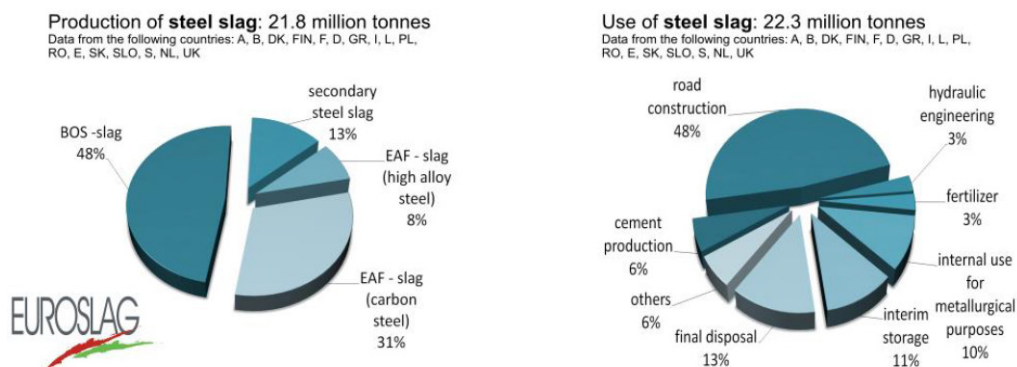


Рисунок 1 – Использование сталеплавильных шлаков в странах Европы [5]

За рубежом сталеплавильные шлаки применяются в трех основных направлениях: в сельском хозяйстве – для известкования почв, в строительстве – в строительстве дорог и в качестве заполнителей в бетонах, а также в качестве железосодержащего материала для вторичной переплавки в доменных печах [5].

В Павлодарской области Республики Казахстан при производстве стали на электросталеплавильных предприятиях ТОО «Casting» и ТОО «KSP Steel» образующиеся электросталеплавильные шлаки и пыли складированы в шлаковых отвалах и практически не используются, несмотря на высокое содержание в них оксидов железа и корольков металлического железа (до 40 % от массы в отдельных видах шлаков) [6].

В Казахстане уже реализуются инновационные проекты по вовлечению в переработку вторичных сталеплавильных шлаков [7–10]. Однако в переработку не вовлечены первичные сталеплавильные шлаки, образующиеся в дуговых печах.

В данной работе исследована возможность вовлечения в переработку первичных сталеплавильных шлаков с доизвлечением железа и шлака для производства строительных изделий.

Материалы и методы

Объектом исследования являлся первичный электросталеплавильный шлак, образующийся в дуговых печах.

В качестве материалов для изготовления офлюсованных окатышей использовались: первичный сталеплавильный шлак, металлургический кокс, свежееобожженная известь, бентонит.

Для определения химического состава сталеплавильного шлака, были отобраны образцы фракции диаметром от 10 до 50 мм, далее они дробились до фракции 3–5 мм на щековой дробилке ДЩ 80-150, измельчались до фракции 0,01 мм на виброистирателе Herzog и запресовывались образцы на лабораторном прессе Herzog (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Готовые образцы шлака

Образцы шлака исследовались методом рентгеноспектрального анализа на спектрометре СРМ-35. Химический состав сталеплавильного шлака приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав первичного шлака, %

Fe _{общ}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	P ₂ O ₅
23,4445	15,4259	3,8932	27,7137	4,9844	5,8785	0,0340	0,3972

Далее на дифрактометре Eprugean определяли минералогический состав шлака. Результаты анализа приведены в таблице 2 и рисунке 3.

Таблица 2 – Минералогический состав сталеплавильного шлака

Название соединения	Химическая формула	%
Вюстит	FeO	29
Магнетит	Fe ₃ O ₄	3
Геленит	Ca ₂ Al(Al,Si) ₂ O ₇	29
Мервинит	Ca ₃ Mg(Si O ₄) ₂	19
Оксид магния и марганца в контакте с железом	(MgO)0.43 (MnO)0.57	20

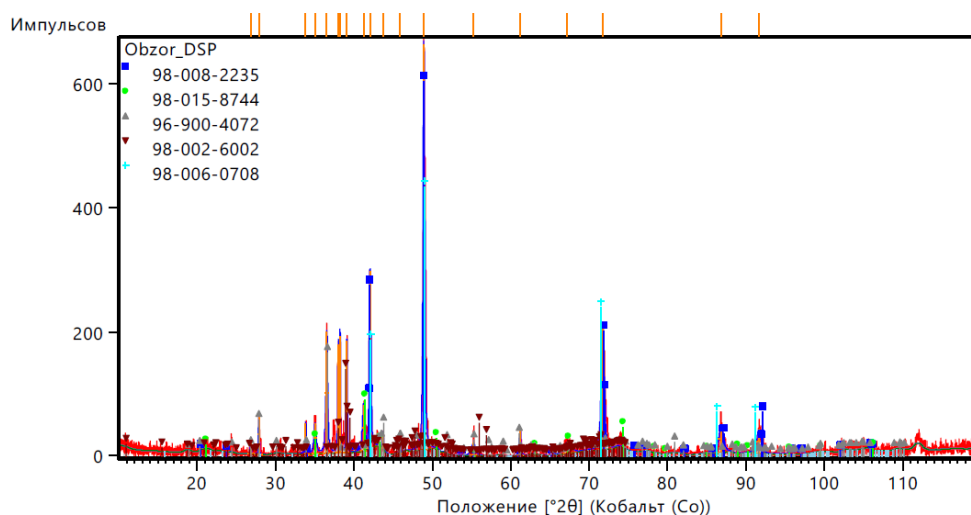


Рисунок 3 – Дифрактограмма сталеплавильного шлака

Результаты и обсуждение

Исследования проводились следующим образом. Были приготовлены окатыши из первичного сталеплавильного шлака, металлургического кокса, свежееобожженной извести и бентонита.

Каждая серия экспериментов осуществлялась из окатышей с различным соотношением компонентов. Составы компонентов по различным сериям экспериментов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Состав окатышей

Наименование компонента	№ 1	№2	№3
Первичный шлак	60	65	70
Кокс металлургический	20	15	10
Известь	10	10	10
Бентонит	10	10	10
Вода (сверх 100%)	15	15	15

Окатыши каждой серии экспериментов восстанавливались в индукционной печи при температуре 1500 °С. Общая масса завалки составляла 5,5 кг, в процессе плавки для улучшения металлургических процессов в печь дополнительно вводилась стальная стружка (0,25 кг) и плавиковый шпат (0,3 кг).

После проведения плавки, полученный металл и шлак был исследован на рентгенофлуоресцентном спектрометре Niton. Результаты исследований приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Состав полученного материала, %

Металлическая часть		Шлак	
Компонент	%	Компонент	%
Железо	82,08	Железо закись+окись (Fe ₃ O ₄)	30,1
Марганец	4,07	Оксид кальция (CaO)	27,3
Кремний	2,79	Двуокись кремния (SiO ₂)	26,2
Углерод	2,56	Трехокись алюминия (Al ₂ O ₃)	5,31
Хром	0,7	Оксид магния (MgO)	6,2
Фосфор	0,223	Оксид марганца (MnO)	3,9
Медь	0,05	Сера (S)	0,247
Сера	0,034	Пятиокись фосфора (P ₂ O ₅)	0,150
Никель	0,02		

Полученный шлак был исследован на минералогический состав. Результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Минералогический состав шлака индукционной плавки

Название соединения	Химическая формула	Весовая фракция
Белит	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	44%
Оксиды кальция и марганца	$\text{CaO}\cdot\text{MnO}_2$	10%
Магнетит	$\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	14%
Муллит	$2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$	32%

Выводы

1 Экспериментально определен минералогический состав первичного электросталеплавильного шлака с содержанием общего железа в количестве более 20 %, который включает следующие минералы: вюстит (FeO), магнетит (Fe_3O_4), геленит ($\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Al},\text{Si})_2\text{O}_7$), мервинит ($\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$).

2 В ходе проведенных экспериментальных исследований по переработке первичных электросталеплавильных шлаков восстановительной индукционной плавкой шлакоизвестковококсовых окатышей установлена возможность извлечения железоуглеродистых сплавов и шлака для производства бетона.

3 Результаты исследований позволяют утверждать о возможности практической реализации технологической схемы переработки первичных электросталеплавильных шлаков с получением дополнительных шихтовых материалов в виде железоуглеродистого сплава, а также шлака индукционной плавки пригодного в качестве наполнителя при производстве бетона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Указ Президента Республики Казахстан от 6 сентября 2016 года № 315 «О внесении изменений в Указ Президента Республики Казахстан от 1 августа 2014 года» № 874 «Об утверждении Государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015–2019 годы и о внесении дополнения в Указ Президента Республики Казахстан от 19 марта 2010 года № 957 «Об утверждении Перечня государственных программ».

2 Crude Steel Production Table : World Steel Association Report. October 2017

3 Гудим, Ю. А., Овчинников, С. Г., Зинуров, И. Ю. Современные способы безотходной утилизации шлаков // Сталь. – 2009. – № 7. – С. 93–95.

4 Панфилов, М. И., Школьник, Я. Ш., Орнинский, Н. В., Коломиец, В. А., Сорокин, Ю. В., Грабеклис, А. А. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии. – М. : Металлургия, 1987. – С. 167–168.

5 Информация о результатах анализа состояния и развития отрасли черной металлургии государств – членов Евразийского Экономического Союза. – М. : Евразийская Экономическая Комиссия, Департамент промышленной политики, 2015. – С. 12–15.

6 Зайцев, И. Н., Быков, П. О. Комплексные виды переработки сталеплавильных шлаков // Материалы международной научной конференции «XVIII Сатпаевские чтения». Т. 18. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2018. – С. 225–231.

7 **Aryngazin, K. Sh., Bogomolov, A. V., Tleulesov, A. K.** Innovational construction materials of llp «Ecostroynii-pv» production. In Defect and Diffusion Forum. – 2021. – 410 DDF. – P. 806–811.

8 **Арынгазин, К. Ш., Ларичкин, В. В., Алдунгарова, А. К.** Инновационное использование твёрдых техногенных отходов предприятий теплоэнергетики металлургии Павлодарской области в производстве строительных материалов // Наука и техника Казахстана. – 2016. – № 3–4. – С. 34–39.

9 Патент на изобретение № 34714 «Бетонная смесь» / Арынгазин К. Ш., Тлеулесов А. К., Алдунгарова А. К., Быков П. О., Богомолов А. В., Акишев К. М., Асаинова Д. К. – Заявл. 01.08.2019; Оpubл. 20.11.2020, Бюл. № 46. – 3 с.

10 **Арынгазин, К. Ш., Алдунгарова, А. К., Тлеулесов, А. К., Быков, П. О., Богомолов, А. В., Ларичкин, В. В., Шаменов, А. А.** Использование техногенных отходов в производстве строительных материалов // Строительство : Новые технологии – Новое оборудование. – 2018. – № 12. – С. 48–53.

REFERENCES

1 Ukaz Prezidenta Respubliki Kazakhstan ot 6 sentyabrya 2016 goda № 315 «O vnesenii izmeneniy v Ukaz Prezidenta Respubliki Kazakhstan ot 1 avgusta 2014 goda» № 874 «Ob utverzhdenii Gosudarsnvenoi programmy industrialno-innovacionnogo razvitiya Respubliki Kazakhstan na 2015-2019 gody I o vnesenii dopolnenia v Ukaz Prezidenta Respubliki Kazakhstan ot 19 marta 2010 goda № 957 «Ob utverzhdenii Perechnya gosudarstvennyh program».

2 Crude Steel Production Table : World Steel Association Report. – October 2017.

3 **Gudim, U. A., Ovchinnikov, S. G., Zinurov, I. U.** Sovremennye sposoby bezothodnoi utilizatsii shlakov. In Stal. – 2009. – №7. – P. 93–95.

4 **Panfilov, M. I., Shkolnik, Ya. Sh., Orininskii, N. V., Kolomic, V. A., Sorokin, U. V., Grabeklis, A. A.** Pererabotka shlakov i bezothodnaya tehnologia v metallurgii. – Moscow : Metallurgia, 1987. – P. 167–168.

5 Infirmacia o resultatah analiza sostoyania I razvitiya otrasli chernoi metallurgii gosudarstv-chlenov Evraziiskogo Economicheskogo Souza. – Moscow : Evraziiskaya Economicheskaya Komissia, Departament promyshlennoi politiki, 2015. – P. 12–15.

6 **Zaitsev, I. N., Bykov, P. O.** Kompleksnye vidy pererabotki staleplavilnyh shlakov. In Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferencii «XVIII Satpaevskie chtenia». T. 18. – Pavlodar : PSU imeni S. Toraihyrova, 2018. – P. 225–231.

7 **Aryngazin, K. Sh., Bogomolov, A. V., Tleulesov, A. K.** Innovational construction materials of llp «Ecostroynii-pv» production. In Defect and Diffusion Forum. – 2021. – 410 DDF. – P. 806–811.

8 **Aryngazin, K. Sh., Larichkin, V. V., Aldungarova, A. K.** Innovacionnoe ispolzovanie tverdyh tehnogennyh othodov predpriyatii teploenergetiki I metallurgii Pavlodarskoi oblasti v proizvodstve stroitelnyh materialov. In Nauka I tehnika Kazakhstanana. – 2016. – № 3–4. – P. 34–39.

9 Patent na izobretenie № 34714 «Бетонная смесь» / Bykov P. O., Bogomolov A. V., Akishev K. M., Asainova D. K. – Zayavl. 01.08.2019. Opubl. 20.11.2020. Bul. № 46. – 3 p.

10 **Aryngazin, K. Sh., Aldungarova, A. K., Tleulesov, A. K., Bykov, P. O., Bogomolov A. V., Larichkin V. V., Shamenov A.A.** Ispolzovanie tehnogennyh othodov v proizvodstve stroitelnyh materialov. In Stroitelstvo : Novye tehnologii – novoe oborudovanie. – 2018. – № 12. – P. 48–53.

Материал поступил в редакцию 20.09.21.

***В. В. Ларичкин**

Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Новосибирск к.

Материал 20.09.21 баспаға түсті.

ЭЛЕКТР БОЛАТ БАЛҚЫТУ ӨНДІРІСІНІҢ БАСТАПҚЫ ҚОЖДАРЫН ЗЕРТТЕУ

Жұмыста құрылыс бұйымдарын өндіру үшін темір мен қожды толық тарта отырып, бастапқы Болат балқытқыш шлактарды қайта өңдеуге тарту мүмкіндігі зерттелген.

Қазақстан Республикасының Павлодар облысында «Casting» ЖШС және «KSP Steel» ЖШС электр болат балқыту кәсіпорындарында болат өндіру кезінде түзілетін электр болат қорытатын шлактар мен шаңдар илақ үйінділерінде жинақталады және олардағы темір оксидтері мен металл темір патшаларының жоғары болуына қарамастан іс жүзінде пайдаланылмайды (шлактардың жекелеген түрлеріндегі массаның 40 %-ына дейін).

Құрамында 20 %-дан астам жалпы темір бар бастапқы электросталеплавильді қождың химиялық және минералогиялық құрамы эксперименталды түрде анықталған, оған келесі минералдар кіреді: вюстит (FeO), магнетит (Fe_3O_4), геленит ($Ca_2Al(Al, Si)_2O_7$), мервинит ($Ca_3Mg(SiO_4)_2$).

Бастапқы электросталеплавильдік қождарды қайта өңдеу бойынша жүргізілген эксперименттік зерттеулер барысында шлаквестковококсты шекемтастарды индукциялық қалпына келтіру арқылы теміркөміртекті қорытпалар мен бетон өндіру үшін қожды алу мүмкіндігі анықталды.

Кілтті сөздер: металлургия, болат, қож, рецилинг, рентгендік спектрлік талдау.

***V. V. Larichkin**

Novosibirsk State Technical University,

Russian Federation, Novosibirsk.

Material received on 20.09.21.

RESEARCH OF PRIMARY SLAGS OF ELECTRIC STEELMAKING PRODUCTION

The article investigates the possibility of involving in the processing of primary steelmaking slags with additional extraction of iron and slag for the production of construction products.

In the Pavlodar region of the Republic of Kazakhstan, in the production of steel at the electric steelmaking enterprises «Casting» LLP and «KSP Steel» LLP, the resulting electric steelmaking slags and dust are stored in slag heaps and are practically not used, despite the high content of iron oxides and metallic iron kings in them (up to 40 % by weight in certain types of slags).

The chemical and mineralogical composition of primary electric steelmaking slag with a total iron content of more than 20 % has been experimentally determined, which includes the following minerals: wustite (FeO), magnetite (Fe_3O_4), helenite ($Ca_2Al(Al,Si)_2O_7$), mervinite ($Ca_3Mg(SiO_4)_2$).

In the course of the conducted experimental studies on the processing of primary electric steelmaking slags by reducing induction melting of slag-lime-coke pellets, the possibility of extracting iron-carbon alloys and slag for the production of concrete has been established.

Keywords: metallurgy, steel, slag, recycling, X-ray spectral analysis.

Теруге 20.09.21 ж. жіберілді. Басуға 27.09.21 ж. қол қойылды.
Электрондық баспа
6,56 Mb RAM

Шартты баспа табағы 10,58. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген З. С. Искакова
Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3845

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz
nitk.tou.edu.kz