

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2021)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/OGVZ5983>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

***Б.С. Келаманов, М. К. Алдияр, А. М. Акуов,
Е. К. Самуратов, А. М. Обилец, М.М. Булатов**

Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова,
Республика Казахстан, г. Актобе

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОНИКЕЛЯ ИЗ ОКУСКОВАННЫХ НИКЕЛЕВЫХ РУД

В статье рассмотрены способы использования некондиционных окисленных никелевых руд. Известные способы окускования и выплавки ферроникеля не получили широкого распространения в промышленных масштабах и не полностью изучены. Проведенные опыты с использованием никелевого сырья показали принципиальную возможность получения брикетов и гранулы с дальнейшей выплавкой ферроникеля с содержанием никеля в пределах 2–3 %, пригодного для передела на специальные марки стали.

Ключевые слова: брикеты, окатыши, гранулы, окускование, ферроникель, сталь.

Введение

Актюбинская область является одной из богатейших кладовых рудных запасов Республики Казахстан. Здесь находятся практически все запасы высококачественных хромовых руд; до 55–60 % никеля в форме окисленных никелевых руд; 10–15 % запасов медных руд; 45 % титановых и циркониевых руд, а также значительные месторождения россыпного золота. Область обладает определенными запасами марганцевых и железных руд. Известными никельсодержащими являются месторождения Багамшинское, Рождественское, Никельгауское, Кокпектинское. Содержание никеля в них примерно 0,8–1,2 %. Указанные руды в основном представлены мелкими фракциями, поэтому одним из возможных путей вовлечения бедного металлургического сырья на ферросплавный передел является подготовка его различными видами окускования: агломерацией, окомкованием и брикетированием со связующими или без них.

Материалы и методы

Так как, никельсодержащие руды Актюбинской области представлены мелкими фракциями требуется провести исследования по видам окускования. Окатывание, брикетирование и агломерация являются традиционными методами подготовки металлургического сырья, сохраняющими значение до настоящего времени и имеющими перспективу дальнейшего неуклонного развития [1]. Эти методы подготовки позволяют значительно сократить расход электроэнергии при плавке, улучшить технологию, упростить эксплуатацию печных агрегатов и вовлечь в сферу металлургического передела все более бедные руды [2].

После результатов изучения никельсодержащих руд по методам окускования, необходимо продолжить исследования по проведению металлургической оценки с выплавкой на ферроникель.

Результаты и обсуждение

Брикетирование - процесс термохимической переработки мелких слабо структурных руд, концентратов и отходов производства с целью получения из них брикетов-кусков геометрически правильной единообразной формы и постоянных размеров. По современной технологии брикетирование может осуществляться с использованием связующих материалов и без них. Применяют несколько видов связующих материалов: сульфит-спиртовую барду (ССБ), сульфитные щелоки (СЩ), жидкое стекло, каменноугольную смолу, известь, различные комбинированные связующие – смесь каменноугольной смолы и гудрона, каменноугольного пека и ССБ (СЩ), извести и кварцевых материалов (трепел, кварц и др.), извести и жидкого стекла и другие.

Таблица 1 – Технологические параметры и качество брикетов полученных из отечественной никелевой руды

Параметры и показатели	Единицы измерения	Показатели
1 Сырые брикеты: – сопротивление раздавливанию – расход связующего по твердому	кг/брикет %	10–20 8–10
2 Сушка брикетов: – температура – время сушки	°С час	250–300 1–2
3 Готовые брикеты: – сопротивление раздавливанию – прочность на удар – прочность на истирание – диаметр брикетов	кг/брикет % % мм	50-60 60,0 25–30 1,5–2,0

С целью определения возможности окускования никелевой руды фракции 0–3мм были проведены исследования по брикетированию на лабораторной пресс-установке с максимальным допустимым давлением 250кгс/см². Для изучения процесса прессования использовали отечественную никелевую руду с химическим составом, % (Ni_{общ} – 1,23; Fe_{общ} – 14,38; Cr_{общ} – 1,69; SiO₂ – 51,57; MgO – 3,52; Al₂O₃ – 1,87), в смеси с длиннопламенным углем, с техническим составом (C_{тв} – 49,99; V_{лет} – 37,98; A^c – 2,03; W_{вл} – 10). В качестве связующего материала при брикетировании использовали жидкого стекло. Расход связующего материала (жидкое стекло) в зависимости от силикатного модуля варьировалось в пределах 8-10% по массе. В результате получены брикеты [3] из никелевой руды диаметром 15–20 мм и высотой 15–25 мм (рисунок 1) с прочностью на сжатие 50–60 кг/брикет. Технологические характеристики изготовленных брикетов обобщены в таблице 1.

Полученные брикеты были разделены на классы крупности для определения выхода годной фракции при сбрасывании с высоты 2 метров, что является приемлемым для металлургического передела. Фракционный состав брикетов приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Фракционный состав брикетов из никелевой руды и длиннопламенного угля при сбрасывании с высоты 2м

Фракция, мм	Выход, %	Выход, гр
+0–0,5	0,23	0,16
+0,5–1,5	0,45	0,31
+1,5–3	0,92	0,62
+3–5	0,83	0,57
+5	97,57	66,7
Σ	100	68,36
+3–5 и +5	98,4	67,27

Как видно из таблицы 2, основную долю полученных брикетов (>97 %) составляет фракция +5мм, что вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к шихтовым материалам по классу крупности.

Окомкование – получение окатышей – процесс окускования увлажненных тонко измельченных материалов, основанный на способности их при перекачивании образовывать гранулы сферической формы (окатыши) без применения непосредственного давления. Для упрочнения сырые окатыши подвергают сушке, обжигу или другим видам обработки (упрочнению безобжиговыми методами).

К наиболее важным факторам, определяющим комкуемость различных материалов, относятся крупность частиц, их влажность, а также физические свойства, характеризующие взаимодействие частиц с водой, такие как краевой угол смачивания, молекулярная и капиллярная влагоемкость. Мелкая никелевая руда фракции 0–3 мм забивает поры в шихте и мешает выходу печных газов, что неблагоприятно влияет на физические и химические процессы в руднотермической печи. Поэтому никелевая руда должна быть направлена на агломерацию или на приготовление брикетов или гранул для руднотермической печи. Учитывая то, что в руде присутствует глинистые включения, служащие в качестве связующего наиболее прогрессивным способом является гранулирование (окатывание) руд.



Рисунок 1 – Брикеты полученной из никелевой руды

Для получения окатышей из данных никелевых руд в шихту ввели кокс, уголь и в качестве увлажнителя служила вода. Серия экспериментов была проведена с целью получения гранул из никелевых руд без предварительного измельчения. В результате опытов сделан вывод об удовлетворительной окатываемости никелевой руды крупностью 0–3мм.

Лабораторные исследования для получения окатышей были проведены на малом лабораторном чашевом грануляторе с диаметром чаши 380мм и высотой борта 80мм. Из приготовленной смеси бралась навеска, которая постепенно загружалась в чашу при одновременном медленном добавлении связующего. Скорость вращения составила 20–25 об/мин, углом наклона 40°. Время окатывания никелевой руды менялось от 10 минут до 30 минут. Чем больше времени затрачено на гранулирование, тем прочнее получаются гранулы. Скорость при этом была постоянной. Регулировка скорости вращения чаши производилась изменением подаваемого на двигатель напряжения с помощью автотрансформатора. Специальным ножом снималась налипающая на стенки чаши несгранулировавшаяся

масса. Полученные гранулы (рисунок 2) высушивались в сушильном шкафу при 100°C и подвергались нескольким видам исследований по качеству. Показателем прочности служил процент целых гранул от общего количества подвергнутых испытанию, а показателем истираемости – процент истертой массы от общего веса взятой пробы [4–7]. Технологические параметры и качество никелевых окатышей приведены в таблицах 3 и 4.

Для подтверждения полученных результатов повторно провели исследование на гранулируемость никелевой руды месторождении Батамшы крупностью 0–3 мм.

В качестве восстановителя использовали длиннопламенный уголь. Также, как и в предыдущей серии опытов, из приготовленной смеси бралась навеска, которая окомковывалась в чаше при медленном добавлении связующего. Скорость вращения не менялось, и составила 20–25 об/мин, угол наклона 40°. Время окатывания никелевой руды менялось от 15 минут до 35 минут.



Рисунок 2 – Гранулы, полученные из никелевой руды и восстановителей

Таблица 3 – Технологические параметры и качество никелевых окатышей с металлургическим коксом

Параметры	Кокс
Вес сырых окатышей, %	100
Прочность сырых окатышей, кг/окатыш	3,8–3,9
Прочность на сбрасывание (30 см) сырых окатышей	10–20
Вес высушенных окатышей, %	85,1
Прочность высушенных окатышей, кг/окатыш	10,1–10,2
Прочность на сбрасывание (30 см) высушенных окатышей	20–30
Вес обожженных окатышей, %	81,8
Прочность окатышей, обожженных при 100°C	20–21
Прочность на сбрасывание (30 см) обожженных окатышей	30–50
Расход связующего (воды), %	14,6

Гранулируемость окатышей, %	73,6
Расход восстановителя, %	6–7
Средний вес окатышей, гр	2–4
Средний диаметр окатышей, мм	10–12

Таблица 4 – Технологические параметры и качество никелевых окатышей с длиннопламенном угле

Параметры	Уголь
Вес сырых окатышей, %	100
Прочность сырых окатышей, кг/окатыш	1,5–1,6
Прочность на сбрасывание (30 см) сырых окатышей	10–15
Вес высушенных окатышей, %	84,1
Прочность высушенных окатышей, кг/окатыш	5,5–5,6
Прочность на сбрасывание (30 см) высушенных окатышей	20–25
Вес обожженных окатышей, %	81,5
Прочность окатышей, обожженных при 100°С	11–12
Прочность на сбрасывание (30 см) обожженных окатышей	25–35
Расход связующего (воды), %	10,9
Гранулируемость окатышей, %	85,1
Расход восстановителя, %	8–10
Средний вес окатышей, гр	3,0–5,0
Средний диаметр окатышей, мм	13–17

Как показали данные исследования окатышей на прочность и истирание, время окатывания достаточно в пределах 15–20 минут. Время сушки также влияет на прочность окатышей. Чем больше сушатся гранулы, тем они прочнее. Время сушки в пределах 1–3 суток является удовлетворительным. Данные исследования проводились с целью выяснения гранулируемости никелевой руды и определения оптимальных условий получения окатышей.

Для улучшения механических свойств полученных брикетов и окатышей необходимо продолжить исследования по проведению металлургической оценки с выплавкой на ферроникель. Полученный ферроникель вполне может служить для легирования специальных марок сталей. С такой целью были проведены лабораторные исследования по выплавке ферроникеля из окучкованных материалов высокотемпературной печи Таммана. В качестве шихтовых материалов использовали никелевые концентраты в смеси с восстановителями. Предварительно перемешанную шихтовую

смесь засыпали в графитовый тигель и помещали в печь, нагретую до температуры 150 °С. В интервале температур 1500–1550 °С происходило полное проплавление шихтовых материалов. После расплавления сплав выдерживался в печи в течение 30 минут при температуре 1600 °С. Результаты проведенных лабораторных плавов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Химический состав продуктов плавки

Материал	Содержание, %							
	Ni	Cr	Fe	Si	C	S	P	Co
Проба 1	3,21	3,40	70,57	24,90	0,60	0,005	0,021	0,037
Проба 2	2,96	2,60	73,69	19,19	1,01	0,004	0,003	-
Шлак	NiO	Cr ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	CoO
Проба 1	0,102	0,58	7,72	77,00	2,48	1,76	10,09	0,038
Проба 2	0,069	0,36	5,94	66,48	16,42	1,76	3,75	-

Выводы

Проведенные опытные плавки показали принципиальную возможность получения ферроникеля с содержанием никеля в пределах 2–3 %, пригодного для выплавки отдельных видов легированных специальных марок стали [8–10].

В целом, разрабатываемая технология является перспективной и актуальной, так как решает проблему дефицита и дороговизны никельсодержащих сплавов путем выплавки ферроникеля из некондиционных никелевых руд Казахстана. Учитывая, что в данном регионе преобладают запасы никелевых руд, одним из перспективных направлений является производство нержавеющей и специальных сталей на никелевой основе. Основанием для организации производства нержавеющей марок стали являются также возрастающие потребности внутреннего рынка Казахстана.

Список использованных источников

1 **Мальшев, В. П., Телешов, К. Д., Нурмагамбетова, А. М.** Разрушаемость и сохранность конгломератов. – Алматы : НИЦ «Гылым», 2003. – 336 с.

2 **Гран, Н. И., Оницин, Б. П., Майзель, Е. И.** Электроплавка окисленных никелевых руд. – Москва : Издательство «Металлургия», 1971. – 248 с.

3 **Келаманов, Б. С., Толымбеков, М. Ж., Байсанов, А. С., Чекимбаев, А. Ф.** Особенности брикетирования хромоникелевых руд месторождения Батамша // Материалы междунауч. – практ. конф. «Комплексная переработка минерального сырья» – Караганда, 2008. – С. 101–103.

4 **Келаманов, Б. С., Байсанов, А. С., Толымбеков, М. Ж., Каскин, К. К.** Окомкование мелочи хромоникелевых руд месторождения Батамша // Комплексное использование минерального сырья. – 2008. – № 5. – С. 56–60.

5 **Нозаки, Т., Яцуруги, Ю., Акияма, Н.** // Электрохим. Soc. 1970. V. 117. N 12. P. 1566–1568.

6 **Хаас, Э., Брандт, У., Мартин, Дж.** // Твердотельный электрон. 1969. V. 12. N 11. P. 915–921.

7 **Бин, А. Р., Ньюман, Р. С.** // J. Phys. Хим.. Примеси. 1971. V. 32. N 6. P. 1211–1219.

8 **Келаманов, Б., Толымбеков, М., Каскин, К., Байсанов, А.** Термический анализ агломерированной никелевой руды // Труды 12-го Международного конгресса ферросплавов: устойчивое будущее, 2010, С. 657–659.

9 **Толымбеков, М. Ж., Келаманов, Б. С., Байсанов, А. С., Каскин, К. К.** Переработка хромоникелевой руды Казахстана // Сталь в переводе, 2008, 38(8), С. 660–663.

10 **Келаманов, Б., Самуратов, Ю., Жумагалиев, Ю., Акуов, А., Сариев, О.** Анализ термодинамических диаграмм систем оксидов титана и хрома. Металлург, 2020 (59) 1, С. 101–102.

References

1 **Maly`shev, V. P., Teleshov, K. D., Nurmagambetova, A. M.** Razrushaemost` i soxrannost` konglomeratov. [Malyshev V. P., Teleshov K. D., Nurmagambetova A.M. Destructibility and preservation of conglomerates] – Almaty` : NICz «Gy`ly`m», 2003. – 336 s.

2 **Gran, N. I., Onishhin, B. P., Majzel`, E. I.** E`lektroplavka okislenny`x nikel'evy`x rud. [Gran N. I., Onishchin B. P., Maizel E. I. Electric melting of oxidized nickel ores] – Moskva : Izdatel`stvo «Metallurgiya», 1971. – 248 s.

3 **Kelamanov, B. S., Toly`mbekov, M. Zh., Bajsanov, A. S., Chekimbaev, A. F.** Osobennosti briketirovaniya xromonikelevy`x rud mestorozhdeniya Batamsha [Kelamanov B. S., Tolymbekov M. Zh., Baysanov A. S., Chekimbayev A. F. Features of briquetting of chromium-nickel ores of the Batamsha deposit // Materials of the International scientific Conference] // Materialy` mezhd. nauch. – prakt. konf. «Kompleksnaya pererabotka mineral`nogo sy`r`ya» – Karaganda, 2008. – S. 101–103.

4 **Kelamanov, B. S., Bajsanov, A. S., Toly`mbekov, M. Zh., Kaskin, K. K.** Okomkovanie melochi xromonikelevy`x rud mestorozhdeniya Batamsha [Kelamanov B. S., Baysanov A. S., Tolymbekov M. Zh., Kaskin K.

K. Pelletizing of small items of chromium-nickel ores of the Batamsha deposit] // Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya. – 2008. – № 5. – S. 56–60.

5 **Nozaki, T., Yaczurugi, Yu., Akiyama, N.** // E'lektroxim. Soc. [Nozaki T., Yatsurugi Y., Akiyama N. // Electrochem. Soc.] 1970. V. 117. N 12. P. 1566–1568.

6 **Xaas, E., Brandt, U., Martin, Dzh.** // Tverdotel'ny'j e'lektron. [Haas E., Brandt W., Martin J. // Solid State Electron] 1969. V. 12. N 11. P. 915–921.

7 **Bin, A. R., N'yuman, R. S.** // J. Phys. Xim. Primesi. [Bean A. R., Newman R. C. // J. Phys. Chem. Solids] 1971. V. 32. N 6. P. 1211–1219.

8 **Kelamanov, B., Toly'mbekov, M., Kaskin, K., Bajsanov, A.** Termicheskiy analiz aglomerirovannoj nikel'evoj rudy' [Kelamanov, B., Toly'mbekov, M., Kaskin, K., Baisanov, A. Thermal analysis of agglomerated nickel ore] // Trudy' 12-go Mezhdunarodnogo kongressa ferrosplavov: ustojchivoe budushhee, 2010, S. 657–659.

9 **Toly'mbekov, M. Zh., Kelamanov, B. S., Bajsanov, A. S., Kaskin, K. K.** Pererabotka xromonikel'evoj rudy' Kazaxstana [Toly'mbekov, M. Zh., Kelamanov, B. S., Baisanov, A. S., Kaskin, K. K. Processing Kazakhstan's chromonickel ore] // Stal' v perevode, 2008, 38(8), S. 660–663.

10 **Kelamanov, B., Samuratov, Yu., Zhumagaliev, Yu., Akuov, A., Sariev, O.** Analiz termodinamicheskix diagramm sistem oksidov titana i xroma. Metallurg, [Kelamanov, B., Samuratov, Y., Zhumagaliev, Y., Akuov, A., Sariev, O. Titanium and chrome oxides system thermodynamic diagram analysis. Metalurgija,] 2020 (59) 1, S. 101–102.

Материал поступил в редакцию 19.03.21.

*Б. С. Келаманов, М. К. Алдияр, А. М. Акуов, Е. К. Самуратов,
А. М. Обилец, М. М. Булатов*

Кесектелген никель кендерінен ферроникель алу технологиясын зерттеу
Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,
Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.
Материал 19.03.21 баспаға түсті.

*B. S. Kelamanov, A. K. Aldiyar, A. M. Akuov, Ye. K. Samuratov,
A. M. Obilets, M. M. Bulatov*

**Research on the technology for producing ferronickel from
nickel-oxide ores**

Aktobe Regional University after named K. Zhubanov,
Republic of Kazakhstan, Aktobe.
Material received on 19.03.21.

Мақалада жарамсыз тотыққан никель кендерін пайдалану әдістері қарастырылған. Ферроникельді кесектеу және балқытудың белгілі әдістері өнеркәсіптік ауқымда кең таралмады және толық зерттелмеді. Никель шикізатын қолдана отырып брикеттер мен түйіршіктер алу болаттың арнайы маркаларына арналған жарамды құрамды 2–3 % шегіндегі никель бар ферроникельді балқыту тәжірибелері мүмкін екенін көрсетті.

Кілтті сөздер: брикеттер, шекемтастар, түйіршіктер, тегістеу, ферроникель, болат.

The article discusses the ways of using substandard oxidized nickel ores. The known methods of ferronickel pelletizing and smelting are not widely used on an industrial scale and have not been fully studied. Experiments with the use of nickel raw materials have shown that it is possible to obtain briquettes and pellets with further smelting of ferronickel with a nickel content of 2–3 %, suitable for conversion to special steel grades.

Keywords: briquettes, pellets, pellets, pelletizing, ferronickel, steel.

Теруге 19.03.2021 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2021 ж. қол қойылды.
Электрондық баспа
17,4 Мб RAM
Шартты баспа табағы 21,0. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. К. Шукурбаева
Корректор: А. Р. Омарова
Тапсырыс № 3746

Сдано в набор 19.03.2021 г. Подписано в печать 29.03.2021 г.
Электронное издание
17,4 Мб RAM
Усл. печ. л. 21,0. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. К. Шукурбаева
Корректор: А. Р. Омарова
Заказ № 3746

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
«Торайғыров университет»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
«Торайғыров университет»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
8 (7182) 67-36-69
E-mail: kereku@tou.edu.kz
www.vestnik.tou.edu.kz