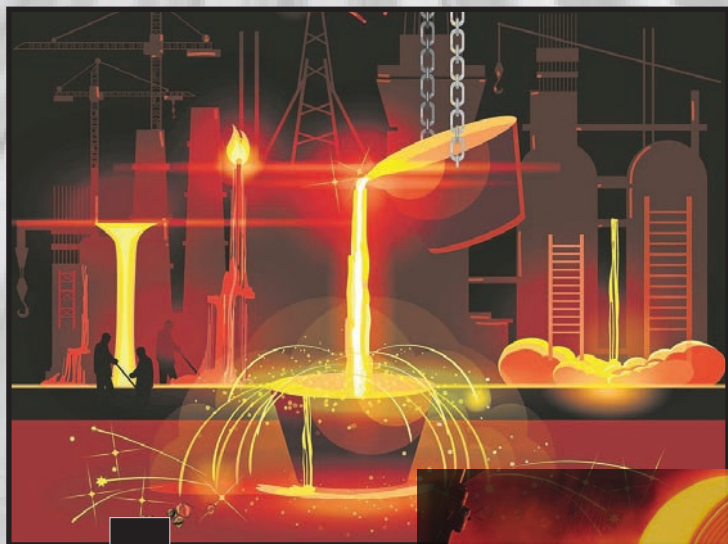




«МЕТАЛЛУРГМАШ» – перспективы инновационного развития металлургического машиностроения



МЕТАЛЛУРГМАШ – это успешный пример объединения потенциалов различных предприятий и организаций, связанных с созданием оборудования и технологий для металлургической отрасли. Такое объединение обеспечивает высокий уровень и эффективные результаты информационного обмена, способствуя модернизации отечественной промышленности, инновационному развитию металлургии и машиностроения.

«В условиях модернизации российской металлургии важнейшим вопросом является обеспечение комплексных, сквозных решений – от разработки концепций модернизации и проектной стадии до поставки, монтажа и запуска новых технологических линий, обучения персонала, сервисного обслуживания» – отмечает Б.А. Сивак, президент Международного Союза производителей металлургического оборудования «МЕТАЛЛУРГМАШ».

12 апреля 2023 года в Москве, в конференц-зале АО АХК «ВНИИМЕТМАШ» состоялось годовое Собрание Международного Союза производителей металлургического оборудования «МЕТАЛЛУРГМАШ».

На мероприятии присутствовали представители организаций-членов Союза, научной общественности и специализированных СМИ, а также учёные, конструкторы и инженеры, представители вузов, отраслевые администраторы и специалисты.

В собрании приняли участие руководители Союза: президент Союза Б.А. Сивак, вице-президенты О.Н. Сосковец, В.С. Зарудный, О.Н. Тулупов, М.Г. Кузьмин, члены президиума Ю.Н. Райков, А.Г. Романов, В.В. Орлов, А.Ю. Петров, директор Союза С.В. Некрашевич.

Президент «МЕТАЛЛУРГМАШ» Б.А. Сивак представил отчетный доклад о деятельности организации, проблемах и перспективах, касающихся стратегии развития металлургического машиностроения и деятельности Союза. В выступлениях вице-президента «МЕТАЛЛУРГМАШ», президента Российского союза товаропроизводителей О.Н. Сосковца и вице-президента «МЕТАЛЛУРГМАШ», генерального директора ОАО «Электростальский завод тяжелого машиностроения» В.С. Зарудного, а также в сообщениях представителей членов Союза особое внимание было уделено опыту оперативного реагирования на санкционный режим зарубежных стран и имеющимся возможностям импортозамещения.

С большим вниманием были заслушаны выступления представителей Минпромторга И.О. Трощенко (Департамент станкостроения и тяжелого машиностроения) и А.А. Савельева (Департамент металлургии и материалов) о мерах поддержки Минпромторгом России отрасли тяжелого машиностроения.



На собрании были обсуждены проблемные вопросы работы и развития отечественного металлургического машиностроения в свете особенностей настоящего времени, определена концепция основных направлений деятельности Союза, рассмотрены предложения по повышению эффективности внутреннего и внешнего взаимодействия. Представители и участники заслушали и утвердили отчёт о работе Международного Союза «МЕТАЛЛУРГМАШ».

- Переводится на английский язык фирмой SPRINGER/www.springerlink.com
- Входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней
- Представлен в информационных системах: Web of Science, SCOPUS, РИНЦ и "Science Index"

УЧРЕДИТЕЛИ:

ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»,
Центральный Совет Горно-металлургического
профсоюза России (ЦС ГМПР),
Ассоциация промышленников горно-
металлургического комплекса России (АМРОС)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Безымянных А.А. — председатель Горно-металлургического профсоюза России
Гугис Н.Н. — президент ООО «Корпорация производителей черных металлов»
Еремин Г.Н. — заместитель генерального директора ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»
Окуньков А.М. — исполнительный директор Ассоциации промышленников горно-металлургического комплекса России
Орлов В.В. — генеральный директор АО «НПО «ЦНИИТМАШ»
Романов А.Г. — президент Российского Союза поставщиков металлопродукции
Семенов В.В. — генеральный директор ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»
Сивак Б.А. — первый заместитель генерального директора АО АХК «ВНИИМТМАШ им. академика А.И.Целикова»
Смирнов Л.А. — академик РАН, ИМЕТ УРО РАН, АО «Уральский институт металлов»
Тарасенко М.В. — депутат Госдумы ФС РФ, секретарь ЦС ГМПР по связям с Федеральным Собранием и международными объединениями профсоюзов

НАУЧНЫЕ КОНСУЛЬТАНТЫ:

Кашакашвили Г.В., д-р техн. наук; **Кондратов Л.А.**, канд. техн. наук;
Неменов А.М., канд. техн. наук; **Новоселова О.Н.**

РЕДАКЦИЯ:

Иванова Е.Х. — главный редактор
Гавриченко Е.Л. — ответственный секретарь
Чевская Д.А. — редактор-организатор
Паршина И.Я. — редактор-корректор

Издание зарегистрировано в Комитете РФ
по печати 15.04.1997 г.
Регистрационный номер 015957

Перепечатка материалов журнала «Металлург» допускается
только с письменного разрешения редакции.
При цитировании ссылка обязательна.

Номер подписан в печать 23.05.2023 г. Формат 60×88 1/8.
Отпечатано в типографии ООО «Металлургиздат», Москва.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Амежнов А.В. — канд. техн. наук, зам. директора Научный центр технологий и производства сталей специального назначения ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» (Москва)
Бабенко А.А. — д-р техн. наук, чл.-корр. РИА, руководитель отдела черной металлургии Института металлургии Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург)
Бижанов А.М. — канд. техн. наук, член Международного института по брикетированию и окускованию; ведущий эксперт проекта кафедры Функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСИС» (Москва)
Галкин С.П. — д-р техн. наук, проф. кафедры Обработки металлов давлением НИТУ «МИСИС» (Москва)
Горбатюк С.М. — д-р техн. наук, проф. кафедры Инжиниринга технологического оборудования НИТУ «МИСИС» (Москва)
Гуревич Л.М. — д-р техн. наук, зав. кафедрой «Материаловедение и композиционные материалы», Волгоградский государственный технический университет (г. Волгоград)
Зайцев А.И. — д-р физ.-мат. наук, директор Научного центра физико-химических основ и технологий металлургии ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» (Москва)
Илларионов А.Г. — канд. техн. наук, доцент кафедры Термообработки и физики металлов Института новых материалов и технологий УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург)
Кац Я.Л. — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» (Москва)
Квятковский С.А. — д-р техн. наук, зав. лабораторией пирометаллургии тяжелых цветных металлов АО «Институт Металлургии и Обогащения» (г. Алматы)
Матросов М.Ю. — зам. главного редактора, канд. техн. наук, директор Центра сталей для труб и сварных конструкций ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» (Москва)
Морозов Ю.Д. — канд. техн. наук, научный руководитель, ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» (Москва)
Настич С.Ю. — д-р техн. наук, главный научный сотрудник Корпоративного НТЦ развития трубной продукции и технологии сварки ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (Москва)
Пышминцев И.Ю. — д-р техн. наук, генеральный директор ОАО «РосНИТИ» (г. Челябинск)
Самодурова И.Н. — докт. техн. наук, проф., зав. кафедры ИНИТ ЮУрГУ, руководитель Ресурсного центра спецметаллургии и НИЛ «Механика, лазерных процессов и цифровых производственных технологий» (г. Челябинск)
Скопов Г.В. — д-р техн. наук, главный специалист отдела металлургии меди и драгметаллов Управления стратегического планирования ОАО «УГМК» (г. Верхняя Пышма, Свердловская обл.)
Скрипаленко М.М. — канд. техн. наук, доцент кафедры Обработки металлов давлением НИТУ «МИСИС» (Москва)
Тиняков В.В. — канд. техн. наук, Научный центр металлургических технологий доменного, ферросплавного и сталеплавильного производства им. Н.П. Лакишева ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» (Москва)
Травянов А.Я. — канд. техн. наук, директор Института Экотехнологий и инжиниринга НИТУ «МИСИС» (Москва)
Тютюник С.В. — канд. техн. наук, начальник отдела Анализа металлургических процессов ПАО ТМК (Москва)
Филиппов Г.А. — д-р техн. наук, проф., директор Научного центра качественных сталей ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» (Москва)
Шаталов Р.Л. — д-р техн. наук, проф., Московский политехнический университет
Шумилова Л.В. — д-р техн. наук, проф., Забайкальский государственный университет, председатель Забайкальского регионального отделения РАЕН (г. Чита)
Эфрон Л.И. — д-р техн. наук, научный руководитель Инженерно-технологического центра АО «ВМЗ» (г. Выкса, Нижегородская обл.)

METALLURGY – TENDENCIES OF DEVELOPMENT

Manegin S.Yu., Gulyaev I.A., Rozanov S.D., Megevon A.V., Skachkov O.A. Production and use of iron and alloyed powders in Russia

Fomina O.N. International standardization in field of ferrous and non-ferrous metallurgy. Powder Metallurgy

SOCIAL PARTNERSHIP

Results of 2022 – figures and facts

PROCESSES AND TECHNOLOGIES**Ferrous Metallurgy**

Kal'ko A.A., Volkov E.A., Kal'ko O.A., Khreeva S.N. Operation of blast furnaces in conditions of low raft

Vasechkina I.A., Gladchenkova Yu.S., Amezhnov A.V. Influence of chemical composition and structural characteristics of pipe steels on their corrosion resistance under operating conditions of oilfield pipelines in Western Siberia

Stulov V.V., Shafiev O.M. Experimental mold for obtaining continuously cast billets from high-alloy steels and alloys. Part 2. Testing of an experimental mold on a low-temperature melt

Dombrovskii Yu.M., Stepanov M.S. Structure, phase composition and wear resistance of 20Cr13 steel after microarc carburizing

Ferroalloy production

Zhunusov A.K., Tolymbekova L.B., Bykov P.O., Zayakin O.V. Melting of ferrochrome with the use of chrome-ore briquettes

Non-Ferrous Metallurgy

Egorova Ju.B., Davidenko L.V. Strength diagrams of titanium alloys at operating temperatures

Composite materials • Coatings

Panin P.V., Lukina E.A., Bogachev I.A., Naprienko S.A. Effect of selective electron beam melting parameters on chemical composition, microstructure, and porosity of a TiAl-alloy Ti–Al–V–Nb–Cr–Gd

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

4 Манегин С.Ю., Гуляев И.А., Розанов С.Д., Межевов А.В., Скачков О.А. Производство и потребление железных и легированных порошков в России

9 Фомина О.Н. Международная стандартизация в области черной и цветной металлургии. Порошковая металлургия

СОЦИАЛЬНОЕ ПАРТНЕРСТВО

11 Итоги 2022 года – цифры и факты

ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ**Черная металлургия**

13 Калько А.А., Волков Е.А., Калько О.А., Хреева С.Н. Работа доменных печей в условиях пониженной теоретической температуры горения

20 Васечкина И.А., Гладченкова Ю.С., Амежнов А.В. Влияние химического состава и структурных характеристик трубных сталей на их коррозионную стойкость в условиях эксплуатации нефтепромысловых трубопроводов Западной Сибири

28 Стулов В.В., Шафиев О.М. Опытный кристаллизатор для получения непрерывнолитых заготовок из высоколегированных сталей и сплавов. Часть 2. Испытание опытного кристаллизатора на низкотемпературном расплаве

35 Домбровский Ю.М., Степанов М.С. Структура, фазовый состав и износостойкость стали 20Х13 после микродуговой цементации

Ферросплавное производство

39 Жунусов А.К., Толымбекова Л.Б., Быков П.О., Заякин О.В. Выплавка феррохрома с использованием хроморудных брикетов

Цветная металлургия

45 Егорова Ю.Б., Давыденко Л.В. Прочностные диаграммы титановых сплавов при температурах эксплуатации

Композиционные материалы • Покрытия

54 Панин П.В., Лукина Е.А., Богачев И.А., Наприенко С.А. Влияние технологических параметров селективного электронно-лучевого сплавления на химический состав, микроструктуру и пористость TiAl-сплава системы Ti–Al–V–Nb–Cr–Gd

Powder Metallurgy

Ermakov S.B., Ermakov B.S., Vologzhanina S.A., Sleptsov O.I. Investigation of material properties for cryogenic products assignments by the method of additive technologies

PROCESS SIMULATION • AUTOMATION

Abashkin E.E., Tkacheva A.V. Investigation of the intensity of residual stresses in a growing body obtained by the electric arc method

Cherkasov N.V., Dozhdikov V.I., Vasyutin A.Yu., Ganul A.O. Simulation of heat transfer conditions in a secondary cooling zone of a CCM

ENERGY and RESOURCES SAVING

Smirnov L.A., Koshkarov D.A., Zayakin O.V., Mironov K.V., Krashenin A.G., Forshev A.A., Kalimulina E.G. Composition and properties of titanium-containing blast furnace slags

Vydysh S.O., Bogatyreva E.V., Galieva Z.N., Semenov A.A. Study of copper and silver collectiverecovery from secondary copper electrolytic refining slimes. Part 1

PROCESSING OF TECHNOGENIC MATERIALS

Bizhanov A.M. Use of vortex layer apparatus for preparation of oiled scale and zinc-containing dust and sludge for briquetting

Zadiranov A.N., Meshcheryakov A.V., Malkova M.Yu., Nurmagomedov T.N., Gerasimova I.N., Gorshkov A.S. Hydrometallurgical processing of lead scrap and its optimization

SAFETY IN METALLURGY

Syurin S.A., Polyakova E.M., Kizeev A.N. Risk management of occupational pathology development in the occupational safety and health system of nickel industry workers

CONFERENCES • SEMINARS • EXIBITIONS

Experience and trends in further improving the efficiency of maintenance and repairs at mining and metallurgical enterprises in modern conditions

Порошковая металлургия

67 Ермаков С.Б., Ермаков Б.С., Вологжанина С.А., Слепцов О.И. Исследование свойств материала для изделий криогенного назначения, полученных методами аддитивных технологий

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ • АВТОМАТИЗАЦИЯ

73 Абашкин Е.Е., Ткачева А.В. Исследование интенсивности остаточных напряжений в растущем теле, получаемом электродуговым методом

80 Черкасов Н.В., Дождиков В.И., Васютин А.Ю., Ганул А.О. Моделирование условий теплообмена в зоне вторичного охлаждения МНЛЗ

ЭНЕРГО- и РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ

84 Смирнов Л.А., Кошкарров Д.А., Заякин О.В., Миронов К.В., Крашенинин А.Г., Форшев А.А., Калимулина Е.Г. Состав и свойства титансодержащих доменных шлаков

89 Выдыш С.О., Богатырева Е.В., Галиева Ж.Н., Семенов А.А. Исследование совместного извлечения меди и серебра из шлама электролитического рафинирования вторичной меди. Часть 1

ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

98 Бижанов А.М. Использование аппаратов вихревого слоя для подготовки замасленной окалины и цинксодержащих пылей и шламов к брикетированию

108 Задиранов А.Н., Мещеряков А.В., Малькова М.Ю., Нурмагомедов Т.Н., Герасимова И.Н., Горшков А.С. Гидрометаллургическая переработка кабельного лома и ее оптимизация

БЕЗОПАСНОСТЬ В ОТРАСЛИ

115 Сюрин С.А., Полякова Е.М., Кизеев А.Н. Управление рисками развития профессиональной патологии в системе охраны труда работников никелевой промышленности

КОНФЕРЕНЦИИ • СЕМИНАРЫ • ВЫСТАВКИ

125 Опыт и тенденции дальнейшего повышения эффективности технического обслуживания и ремонтов на горно-металлургических предприятиях в современных условиях

Адрес редакции

105005 Москва, 2-я Бауманская ул., д. 9/23, стр. 1, оф. 474.

Тел.: +7 (495) 777-9561, (495) 926-3881, (495) 777-9524

E-mail: metallurgizdat@yandex.ru, info@metallurgizdat.com

www.metallurgizdat.com

УДК 669.168

ВЫПЛАВКА ФЕРРОХРОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХРОМОРУДНЫХ БРИКЕТОВ

Аблай Каиртасович Жунусов¹, канд. техн. наук, *zhunusov_ab@mail.ru*; **Лязат Байгабыловна Толымбекова**¹, канд. техн. наук, *lyazat-t@mail.ru*; **Петр Олегович Быков**¹, канд. техн. наук, *bykov_petr@mail.ru*; **Олег Вадимович Заякин**², д-р техн. наук, *zferro@mail.ru*

¹ Некоммерческое акционерное общество «Торайгыров университет», г. Павлодар, Республика Казахстан

² Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. В данной статье приводятся результаты опытно-промышленных испытаний выплавки высокоуглеродистого феррохрома с частичной заменой базовой хромовой руды хроморудными брикетками производства ОАО «Донской горно-обогатительный комбинат» в количестве 20–40% от подаваемого хроморудного сырья в АО ТНК Казхром Аксуский завод ферросплавов (Казахстан). Проведенные испытания показали, что применение хроморудных брикетов имеет целый ряд технологических преимуществ. При использовании брикетов вместо руды наблюдается снижение расхода электроэнергии с 7201 до 6184 кВт·ч/т, извлечение хрома возрастает с 80,3 до 85,3%. Применение брикетов решает вопрос вовлечения некондиционного хроморудного сырья в производство и улучшения технико-экономических показателей работы печи.

Ключевые слова: хромовая руда, высокоуглеродистый феррохром, брикеты, ферросплавы, опытные плавки

MELTING OF FERROCHROME WITH THE USE OF CHROME-ORE BRIQUETTES

Ablay K. Zhunusov¹, **Lyazat B. Tolymbekova**¹, **Petr O. Bykov**¹, **Oleg V. Zayakin**²

¹ Non-commercial Joint Stock Company «Toraigrov University», Pavlodar, Republic of Kazakhstan

² Institute of Metallurgy of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

Abstract. This article presents the results of experimental-industrial tests of high-carbon ferrochrome smelting with partial replacement of the base chromium ore with chromium ore briquettes produced by OJSC «Donskoy Ore Mining and Processing Plant» in the amount of 20–40% of the supplied chromium ore raw materials at TNC Kazchrome JSC Aksu Ferroalloys Plant (Kazakhstan).

The tests carried out have shown that the use of chromium ore briquettes has a number of technological advantages. When using briquettes instead of ore, there is a decrease in electricity consumption from 7201 to 6184 kWh/t, the extraction of chromium increases from 80.3 to 85.3%. The use of briquettes solves the issue of involving substandard chromium ore raw materials in production and improving the technical and economic performance of the furnace.

Keywords: chrome ore, high-carbon ferrochrome, briquettes, ferroalloys, pilot smelting

Технология производства высокоуглеродистого феррохрома в рудовосстановительных электропечах предъявляет ряд требований к шихтовым материалам и, в частности, к фракционному составу сырья: применение материалов крупностью менее 10 мм приводит к снижению технико-экономических показателей ее работы, связанному со значительным пылевыносом и устройствами хода печи.

Проблема образования мелкой фракции хромовой руды и ее вовлечения в производство ферросплавов актуальна на протяжении многих лет. Попадание хромовой руды в виде мелкой фракции (–10 мм) в количестве 20–50% от общего объема добычи в отвалы влечет дефицит и рост стоимости кусковой руды [1–3].

В условиях Донского ГОКа (г. Хромтау, Казахстан), являющегося основным поставщиком хромовой руды для казахстанских ферросплавных заводов, на долю мелких фракций данного сырья приходится до 60–70%, а доля руды порошко-

образного и пылеватого вида достигает 30% [4, 5]. Использовать мелкие фракции руды в качестве шихтового материала в электропечах неэффективно. При этом плавка будет характеризоваться интенсивным пылевыносом, что приведет к безвозвратным потерям, нестабильной работе печи, снижению технико-экономических показателей и загрязнению окружающей среды. Поэтому для нормальной эксплуатации электропечей, выплавляющих ферросплавы, используют окучкованные материалы (брикеты, окатыши, агломераты) [6].

Из способов окучкования мелочи руд перед выплавкой ферросплавов в рудовосстановительных печах во многих странах получили развитие все способы – окомкование, брикетирование и агломерация мелких фракций руд [6, 7]. Многие исследователи [7–14] показывают, что использование брикетов и других окучкованных материалов при выплавке ферросплавов приводит к сокращению расхода восстановителей и повышению производительности печей. В работе [15]

использование брикетов из хромовой руды при опытной плавке феррохрома показывает снижение расхода электроэнергии на 2,4% и увеличение производительности печи на 3,7%.

В работе [16] также приведены результаты лабораторных исследований, опытно-промышленных испытаний и промышленного использования брикетов экструзии (брэкс) на основе техногенных и природных материалов и топлива для производства ферросплавов. Показана возможность достижения существенной экономии электроэнергии, снижения расхода кокса и повышения степени извлечения основного компонента при работе на брикетированной шихте.

На Аксуском заводе ферросплавов (АЗФ, Казахстан) были проведены опытно-промышленные плавки, направленные на установление возможности применения хроморудных брикетов на крупных и мощных рудовосстановительных печах мощностью 63 МВт с целью вовлечения некондиционного хроморудного сырья в производство и улучшения технико-экономических показателей работы печи. При проведении опытных испытаний была использована партия хроморудных брикетов Донского горно-обогатительного комбината (Донской ГОК, г. Хромтау) для выплавки высокоуглеродистого феррохрома, которые проводили в ферросплавном цехе № 6 АЗФ на печи № 62.

Химический состав хроморудных брикетов, масс. %: 52,4 Cr_2O_3 ; 6,0 SiO_2 ; 17,2 MgO ; 0,4 CaO ; 12,8 FeO ; 7,9 Al_2O_3 ; 0,003 S; 0,01 P.

До начала испытаний перед загрузкой брикетов в печные бункеры была отобрана партия брикетов и произведен рассев. Выход мелочи <10 мм составил в среднем 36,8%.

Физико-механические свойства хроморудных брикетов:

- влага, % – 4,40;
- прочность на сжатие, МПа (кг/см^2) – 18,0 (180);

- прочность, % – 28;
- размер брикетов, мм – 10×50×40;
- массовая доля мелочи 0–10 мм, % – 36,8.

Состав шихты в опытной «колоше», кг:

- хроморудные брикеты – 200–300;
- хромовая руда (фракции 5–80 мм) – 700;
- Заринский кокс (Россия) – 215;
- отсев кварцита – 60;
- отсев кокса 20–30.

Опытные плавки проводили в пять этапов. На первом этапе – плавки на базовой шихте по принятой в цехе технологии.

На втором этапе мощность печи, согласно утвержденной программе, должна была поддерживаться на уровне 50 МВт. Количество мелкой фракции 0–5 мм в хромовых брикетах составляло 30–40% после отсева отобранной партии. Низкая прочность приводила к дальнейшему их разрушению при прохождении трактов шихтоподачи, печных карманов и труботечек. Наблюдались обвалы шихты с резким подъемом давления под сводом печи, увеличилось количество выбросов шихты на свод из-под электродов, приходилось часто чистить наклонные газоходы. Первые несколько суток затруднений с выпуском продуктов плавки не было. В дальнейшем работа печи стала неустойчивой как по электрическому режиму, так и по работе «летки». Постоянные обвалы шихты приводили к неустойчивой посадке электродов и колебаниям токовой нагрузки. Поступление больших масс «холодной» шихты в печной расплав снижало его температуру и изменяло состав шлака. Наблюдались случаи неполного выхода шлака из печи. Очевидно, поступление большого количества мелкой шихты повлияло на электропроводность расплава в печи и обусловило потерю токовой нагрузки на электродах. Для поддержания токовой нагрузки подавали под электроды от 1 до 2,5 т кокса. При этом навеска кокса возросла с 210 до 235 кг на 1 «колошу». Часть кокса при неравномерном сходе шихты ошлаковывалась и практически не участвовала в процессе восстановления, т.е. образовался избыток восстановителя в печи. Поэтому навеску кокса начали снижать, но работа летки продолжала ухудшаться: шлак выпускали «холодным».

Таким образом, второй этап испытаний с хромовыми брикетами характеризовался неустойчивой работой печи по токовой нагрузке и по действию «летки».

На протяжении третьего этапа испытаний печь работала также неустойчиво. Вводили разовые порции кокса под электроды. Для повышения токовой нагрузки повысили навеску кокса с 215 до 225 кг на 1 колошу. Для выведения шлака загружали 30 колош шихты без флюса и снизили навеску отсева кварцита с 60 до 55 кг на 1 колошу. При этом произошел прогар выпускного отверстия в результате снижения в феррохроме содержания углерода, так как сплав предыдущего выпуска содержал 7,35% углерода. Таким образом, весь третий этап работы печи был неудовлетворительным.

Четвертый этап испытаний характеризовался более стабильной работой печи по сравнению с предыдущими этапами. Было принято решение

всю партию брикетов, подаваемых в цех № 6, подвергнуть полному рассеву, т.е. отсечь фракцию 0–10 мм. На протяжении всего этапа испытаний выполнялась оценка температурного режима плавки. С этой целью в сменах на каждом выпуске пирометром «Проминь» производили замеры температуры металла и шлака, выпускаемых из печи. В зависимости от технологического хода печи температурный показатель находился в пределах 1600–1680 °С для высокоуглеродистого

феррохрома и 1720–1780 °С для конечного шлака.

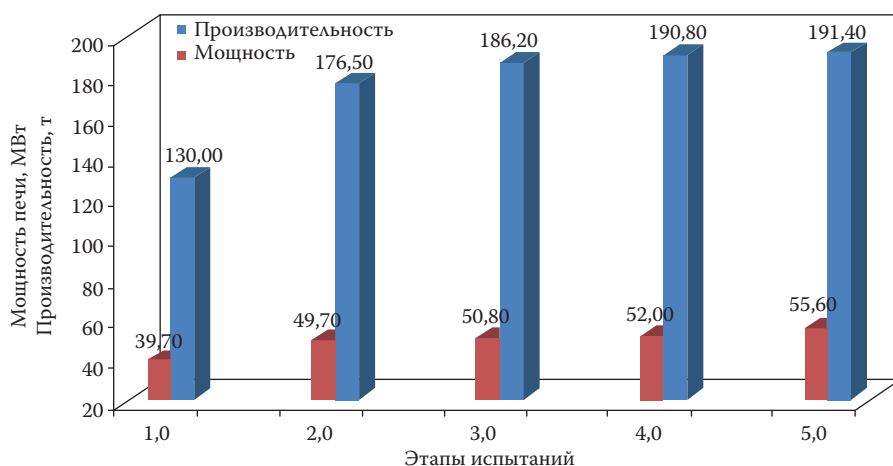
Проведенное сравнение с работой на базовой шихте (первого этапа) показывает, что после введения в состав шихты хроморудных брикетов температурный режим печи не претерпел существенных изменений применительно к температурам шлака и металла в печи.

На пятом этапе также, как и на четвертом этапе, всю партию подаваемых брикетов рассеивали в цехе подготовки шихты (ЦПШ). После рассева брикетов и исключения мелкой фракции (0–10 мм) постепенно была отработана технология применения хроморудных брикетов при выплавке высокоуглеродистого феррохрома на печи № 62 мощностью 63 МВ·А.

Из данных табл. 1 видно, что в период опытно-промышленных испытаний в пятый период достигнуты наилучшие технико-экономические показатели работы печи. На первом (базовом), втором и третьем этапах подаваемые брикеты не рассеивались, а подавались вместе с мелочью. Как отмечалось выше, брикеты имели слабую прочность. Из-за слабой прочности брикетов мелкая фракция во всех партиях составляла до 30–40%. Однако, несмотря на повышенное количество мелкой фракции, со второго этапа наблюдается повышение активной мощности печи и повышение суточной производительности печи. Из рисунка видно повышение активной мощности печи с 39,7 до 55,6 МВт и повышение суточной производительности печи в сравнении с базовым периодом (первый этап) со 130 до 191,4 т в пятом периоде. Удельный расход электроэнергии снижается по сравнению с базовым периодом с 7201 до 6184 кВт·ч/т. Извлечение хрома за период испы-

Таблица 1. Показатели работы печи № 62

Показатели	1 этап (базовые плавки)	2 этап	3 этап	4 этап	5 этап
Фактическая мощность, кВт	39797	49718	50884	52066	55623
Производительность печи, т/сут	130,03	176,50	186,24	190,83	191,4
<i>Расход основных материалов и электроэнергии, кг/т</i>					
Хромовая руда (50% Cr ₂ O ₃)	3642	2376	2317	2315	2247
Хромовые брикеты (50% Cr ₂ O ₃)	–	1127	1171	1179	1206
Итого, рудных материалов	3642	3582	3486	3445	3425
Кокс	785	827	806	802	780
Антрацит красногорский	148	–	–	–	–
Отсев кокса	100	127	90	80	70
Всего восстановителя (пересчет на кокс)	770	900	850	800	750
Электродная масса	37,9	49,6	39,9	36,8	33,1
Отсевы кварцита	165	200	180	170	165
Оборотные отходы	496	–	–	–	–
Металлоконцентрат	168	–	–	–	–
Расход электроэнергии, кВт·ч/т	7201	6786	6656	6539	6184
Извлечение хрома, %	80,3	81,6	83,9	84,9	85,3



Мощность и суточная производительность при испытаниях по освоению полной мощности печи РКЗ-63 (№ 62 цеха № 6) с применением в шихте хроморудных брикетов

Таблица 2. Химический состав металла базового периода и опытно-промышленных испытаний выплавки высокоуглеродистого феррохрома

Период испытаний, этапы	Количество брикетов, кг	Химический состав феррохрома, %					
		Cr	C	S	Si	P	Mn
1	—	68,84	7,99	0,036	0,92	0,023	0,15
2	1127	68,75	7,83	0,037	0,95	0,023	0,15
3	1171	68,97	8,28	0,038	0,50	0,022	0,16
4	1179	68,68	8,25	0,034	0,87	0,027	0,17
5	1206	68,74	8,40	0,032	0,79	0,027	0,16

Таблица 3. Химический состав шлаков высокоуглеродистого феррохрома за опытный период

Периоды плавки	Содержание компонентов, масс. %						MgO/Al ₂ O ₃
	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	FeO	Cr ₂ O ₃	
1 этап	33,4	28,0	26,1	1,14	1,73	6,5	1,07
	31,0	36,4	24,1	1,02	1,26	4,5	1,51
2 этап	36,0	38,2	18,7	2,5	0,78	4,1	2,04
	35,9	38,5	17,1	2,9	1,6	6,8	2,25
3 этап	37,4	40,4	17,0	3,3	0,61	3,7	2,37
	36,0	41,0	18,0	1,26	0,20	4,8	2,27
4 этап	29,9	28,1	24,9	1,05	1,47	6,14	1,12
	29,3	30,3	22,1	1,13	1,25	5,17	1,35
5 этап	29,5	29,4	24,5	1,83	1,04	4,73	1,20
	29,2	28,3	25,6	1,46	1,02	4,57	1,10

таний с хроморудными брикетами по сравнению с базовым повышается с 80,3 до 85,3%.

В пятый период опытных плавки состояние печи оставалось удовлетворительным. Далее доля брикетов в шихте была увеличена до 1206 кг на 1 т феррохрома и оставалась такой до конца опытных плавки. Технологический ход печи № 62 в заключительный этап испытаний характеризовался спокойной работой колошника с равномерным газовыделением. Шихта сходила равномерно, с редкими обвалами и выбросами, электроды перемещались в нормальном технологическом режиме.

Организационно и технологически плавки высокоуглеродистого феррохрома с использованием хроморудных брикетов существенных отличий от базовой технологии не имели. Работали с установкой емкостно-продольной компенсации (УПК) и за смену производили 2–3 выпуска металла и шлака. Всего за время испытаний с использованием хроморудных брикетов были проведены 244 опытные плавки и получено около 7200 т высокоуглеродистого феррохрома.

Показатели работы печи № 62 представлены в табл. 1.

Из табл. 2 видно, что за время работы печи № 62 с использованием разных навесок хромо-

рудных брикетов химический состав выплавленного высокоуглеродистого феррохрома, за исключением содержания углерода, не отличался от сплава, полученного в базовый период плавки. С введением хроморудных брикетов в состав шихтовых материалов наблюдается незначительное увеличение количества углерода в выплавляемом феррохроме с 7,99 до 8,40%. Увеличение количества углерода в сплаве связано с науглероживанием металла, так как в опытный период со второго этапа количество кокса увеличили с 785 до 827 кг/т из-за наблюдавшегося недостатка кокса. Соответственно, низкая прочность опытной партии хроморудных брикетов привела к разрушению «рудного слоя», рафинирующего выплавляемый феррохром от углерода.

Недостаток восстановителя наблюдался со второго этапа при выпуске металла. Расплав выпускался тяжело, был холодным и вязким, содержал невосстановленную руду. На третьем этапе плавки для исправления хода печи начинали уменьшать навеску флюса и восстановителя. Из табл. 1 видно, что на последующих этапах количество восстановителя и флюса продолжали снижать.

Металлургические свойства хромовых руд во многом определяются составом рудообразующего хромшпинелида. В результате высокого количества магния в хроморудных брикетах (см. выше), фазовый состав хромшпинелида увеличивает долю трудновосстановимой магнезиохромитовой шпинели MgO·Cr₂O₃, восстанавливаемого в области высоких температур [15, 17]. Это отрицательно повлияло на восстановительные процессы, протекающие в ферросплавной печи при опытных плавках высокоуглеродистого феррохрома второго и третьего этапов. Состав шлаков определяется главным образом составом хромовых руд. Из табл. 3 видно, что с увеличением доли хроморудных брикетов при опытных плавках происходит увеличение содержания оксида магния (с 28 до 41%) и уменьшение оксида алюминия (с 26 до 17%), в то время как содержание диоксида кремния осталось на необходимом уровне (с 29–33,4%). Это подтверждается динамикой изменения состава конечных шлаков электротермии высокоуглеродистого феррохрома, представленной в табл. 2, из которой видим, что

отношение $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ увеличивается на 2-м этапе до 2,25 и на 3-м этапе – до 2,37.

Уменьшение отношения $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ наблюдается в 4-м и 5-м этапах опытных плавов. Объяснить уменьшение отношения $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ можно тем, что в 4–5 этапах опытных плавов, учитывая вышесказанное о фазовом составе, начинали снижать количество флюсов (отсевов кварцита). При проведении опытных плавов во 2-м и 3-м этапах плавов наблюдался избыток флюсов, поэтому количество флюсов снижали постепенно с 200 кг/т во 2-м этапе до 165 кг/т в 5-м периоде. Таким образом, в пятом периоде вернулись на базовое количество флюсов.

Использование хроморудных брикетов при производстве хромистых ферросплавов позволяет вовлечь в металлургический передел высокомагнезиальные хромитовые материалы с содержанием MgO 17–22% при концентрациях Al_2O_3 7–9%. Из работ [4, 18] 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 может теряться в виде металлической фазы. Это связано с ухудшением физико-химических свойств образующихся высокомагнезиальных шлаков. Как утверждают авторы работы [19–21], с повышением MgO в шлаке происходит увеличение их вязкости и электропроводности. Однако опытные испытания показали целесообразность использования высокомагнезиальных хроморудных брикетов.

Для использования такого материала необходимо предварительно отсеивать брикеты, т. е. исключать мелкую фракцию 0–10 мм и обязательно использовать флюсы, во избежание нежелательных проблем в технологическом процессе. При использовании флюса – отсева кварцита на 2-м этапе опытных испытаний наблюдался избыток флюса, который характеризовался понижением температуры плавления шлака. Металл из печи выходит «холодный» ввиду недостаточности его нагрева, и из-за легкоплавкого шлака такой металл «козлится» в ковше, повышается содержание углерода в сплаве ввиду низкой температуры процесса, восстановление окислов хрома происходит до карбидов с повышенным содержанием углерода, (табл. 2). Избыток флюса также подтверждается данными табл. 3, из которой видно, что содержание кремнезема в шлаке высокое. На 2-м этапе кремнезем в шлаке возрастает до 35,9–36,0% и на 3-м этапе – до 37,4%.

Анализируя данные табл. 3, можно предположить, что в процессе проведения опытных плавов (2-й, 3-й этапы плавки) наблюдается диффузионный характер торможения реакции восстановления хроморудных брикетов. Данное явление можно объяснить следующим образом: основным компонентом флюса (отсев кварцита) является кремнезем, а также глинозем. Кремнезем ускоряет восстановление оксидов железа и хрома. При фронтальном восстановлении оксидов железа и хрома углеродом вокруг зерен хромшпинелидов хромовых руд и брикетов образуется металлошлаковая оболочка. Толщина ее зависит от строения руд, температуры, времени и степени восстановления [22]. Эта оболочка представляет собой металлошлаковый барьер для развития восстановления по глубине зерен хромовых руд. Из табл. 3 видно, что в химическом составе шлака высокоуглеродистого феррохрома наблюдается уменьшение SiO_2 , MgO , Al_2O_3 в шлаках на 4-м и 5-м этапах. Это связано с тем, что кремнезем и глинозем, содержащиеся в составе отсева кварцитов, в процессе восстановления растворяются в тугоплавких и вязких шлакообразующих оксидах – продуктах, появляющихся при восстановлении хромшпинелидов. В результате на контактной поверхности происходит образование легкоплавких и жидкоподвижных шлаков. Такие шлаки легко разрушают шлаковый диффузионный барьер и оголяют поверхность ядра хромшпинелидов для нового контакта между оксидами железа и хрома с углеродом.

Таким образом, кремнезем, содержащийся в отсевах кварцита, снимая диффузионный барьер, образующийся при фронтальном восстановлении зерен руды, способствует более полному и интенсивному восстановлению оксидов хрома и железа.

Заключение. Опытные-промышленные испытания показали, что решение проблемы переработки высокомагнезиального хромитового сырья необходимо направить на поиск оптимального шлакового режима, с расширением вопросов рудоподготовки мелочи тех же высокомагнезиальных руд с выбором оптимальных флюсующих материалов. Причем применение различных флюсующих добавок будет оказывать положительное влияние на свойства конечных шлаков, улучшая их физико-химические свойства, тем самым, способствуя довосстановлению хрома из оксидных расплавов.

Несмотря на слабую прочность, применение хромовых брикетов после отсева опытной партии брикетов на 4-м и 5-м этапах позволило увеличить производительность печи со 186,2 до 191,4 т, сократить удельный расход электроэнергии с 7201 до 6184 кВт·ч/т по сравнению с базовым периодом, уменьшить количество применяемой хромовой руды, снизить количество восстановителя. Также в процессе отработки технологического режима плавки феррохрома была достигнута мощность печи 55 МВт лишь на 5-м этапе испытаний.

Для снижения энергетических затрат процесс выплавки высокоуглеродистого феррохрома целесообразно вести на предварительно подготовленном сырье (с проведением полного отсева фракции 0–10 мм), используя для этой цели хроморудные брикеты с флюсующими добавками в виде отсевов кварцита при оптимальном количестве, способствующем более полному и интенсивному восстановлению оксидов хрома и железа.

Таким образом, опытно-промышленные плавки показали целесообразность применения хроморудных брикетов на крупных и мощных рудовосстановительных печах мощностью 63 МВт.

Список источников

1. Гальперин А.П., Заякин О.В., Островский Я.И. Особенности производства высокоуглеродистого феррохрома из хроморудного сырья разных видов // *Сталь*. 2003. № 11. С. 47–49.
2. Жучков В.И., Гальперин А.П., Кашин В.Б. Окускование хромсодержащего сырья // *Электromеталлургия*. 2003. № 9. С. 35–42.
3. Сырьевой комплекс России. Хромовые руды. Информационно-аналитический центр «Минерал». [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.mineral.ru/Facts/Russia/161/549/3_06_cr.pdf. (Дата обращения 26.01.2023).
4. Абдулабеков Е.Э., Гриненко В.И., Избембетов Д.Д. Производство хромитовых окатышей для выплавки высокоуглеродистого феррохрома // *Сталь*. 2003. № 5. С. 39–41.
5. Заякин О.В., Леонтьев А.И., Афанасьев В.И. Технологические аспекты использования бедных хромсодержащих руд // Сб. докл. науч.-практ. конф. «Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР». Екатеринбург : ИМЕТ УрО РАН, 2013. С. 118–122.
6. Zhunusov A., Tolymbekova L., Abdulabekov Ye., Zholdubayeva Zh., Bykov P. Agglomeration of manganese ores and manganese containing wastes of Kazakhstan // *Metallurgija*. 2021. No. 60 (1–2). P. 101–103.
7. Pal J., Bandyopadhyay D., Singh D.P., Ghosh S. A comparative study for smelting of chromite ore, pellets, briquettes and sinter // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2008. 117:3, 129–136. DOI: 10.1179/174328508X283469.
8. Гриненко В.И., Петлюх П.С., Такенов Т.Д. и др. Освоение технологии выплавки высокоуглеродистого феррохрома с использованием брикетированной мелочи хромитовой руды // *Сталь*. 2001. № 12. С. 28–30.
9. Magdziarz A., Kuźnia M., Bembenek M. etc. Briquetting of EAF dust for its utilisation in metallurgical processes // *Chemical and Process Engin.* 2015. Vol. 36, No. 2. P. 263–271.
10. Рывкин И.Ю., Еремин А.Я., Литвин Е.М., Бабанин В.И. Брикетирование мелкозернистых и тонкодисперсных материалов со связующим // *Кокс и химия*. 2000. № 10. С. 36–43.
11. Еремин А.Я., Бабанин В.И. Изменение физико-механических свойств смесей мелкозернистых материалов со связующими на стадиях подготовки и прессования в процессе брикетирования // *Кокс и химия*. 2003. № 4. С. 17–26.
12. Хорошавин А. Металлургические брикеты нового поколения сокращают продолжительность плавки металлов // *Уральский рынок металлов*. 2006. № 7. С. 39–42.
13. Ожогин В.В., Томаш А.А., Ковалевский И.А. Брикетирование как полноправный метод окускования металлургического сырья // *Металлургические процессы и оборудование*. 2005. № 2. С. 54–58.
14. Сивцов А.В., Егизарьян Д.К., Шешуков О.Ю. и др. Метод контроля параметров и характеристик электрической дуги и его применение к оценке эффективности использования брикетированной металлургической окалины для выплавки стали // *Металлург*. 2022. № 1. С. 16–22.
15. Шабанов Е.Ж., Избембетов Д.Д., Байсанов С.О. и др. Технология производства высокоуглеродистого феррохрома с использованием моношихтовых брикетов // *Изв. вузов. Черная металлургия*. 2018. № 61 (9). С. 695–701.
16. Бижанов А.М., Курунов И.Ф., Дуров Н.М. и др. Брикеты экструзии (брэкссы) для производства ферросплавов // *Металлург*. 2012. № 12. С. 52–57.
17. Гриненко В.И., Поляков О.И., Гасик М.И. Хром Казахстана. М. : Металлургия, 2001. 416 с.
18. Кац М.Ш., Трабина В.П., Аганичев П.П. Исследование восстановимости высокомагнезиальных хромовых руд Актюбинского месторождения // *Сталь*. 1974. № 10. С. 911–912.
19. Гриненко В.И., Петлюх П.С., Такенов Т.Д. и др. Освоение технологии электротермии высокоуглеродистого феррохрома с использованием окатышей из мелочи хромитовой руды на АО «Феррохром» // *Промышленность Казахстана*. 2000. № 4. С. 74–76.
20. Островцева И.С. Влияние состава и свойств шлаков углеродистого феррохрома на степень извлечения хрома // *Хромистые ферросплавы*. М. : Металлургия, 1986. С. 48–53.
21. Жило Н.А., Острецова И.С., Мизин В.Г. и др. Физико-химические свойства шлаков углеродистого феррохрома // *Сталь*. 1983. № 3. С. 35–39.
22. Кадарметов Х.Н. Регулирование металло-шлакового барьера при восстановлении хромовой руды углеродом // *Производство ферросплавов*. 1978. № 6. С. 5–13.