

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ

## МАТЕРИАЛЫ

Международной научно-практической конференции  
ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ,  
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ



Алматы 2018 Almaty

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ К. И. САТПАЕВА  
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И ОБОГАЩЕНИЯ**

**Металлургия ғылымы мен өнеркәсібінің мәселелеріне және белгілі  
ғалым металлург, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі,  
Қазақстан Республикасы Мемлекеттік сыйлығының иегері  
Болат Балтақайұлы Бейсембаевті еске алуға арналған  
«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»  
атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның**

**МАТЕРИАЛДАРЫ**

**МАТЕРИАЛЫ**

**Международной научно-практической конференции  
«Эффективные технологии производства цветных, редких и  
благородных металлов», посвященной проблемам металлургической  
науки и промышленности и памяти известного ученого-металлурга,  
члена-корреспондента Академии наук РК,  
лауреата Государственной премии Республики Казахстан  
Булата Балтакаевича Бейсембаева**

**PROCEEDINGS**

**of International scientific and practical conference  
“The Effective Technologies of Non-Ferrous,  
Rare and Precious Metals Manufacturing” devoted to the metallurgy  
science and industry concerns and in memory of well-known scientist  
of metallurgy, Associate Member of the National Academy  
of Sciences of Kazakhstan, the honoree of the State Prize of the  
Republic of Kazakhstan Bulat Baltakayevich Beisembayev**

**Алматы 2018**

**УДК 669**  
**ББК 34.3**  
**Э94**

**Ответственный редактор:** д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К.

**Жауапты редактор:** т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К.

**Редакционный совет:** д.т.н., проф. Кенжалиев Б.К., д.т.н., проф. Загородняя А.Н., д.т.н. Квятковский С.А., к.т.н. Кульдеев Е.И., к.х.н. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

**Редакциялық алқа:** т.ғ.д., проф. Кенжалиев Б.К., т.ғ.д., проф. Загородняя А.Н., т.ғ.д. Квятковский С.А., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., х.ғ.к. Темирова С.С., PhD Касымова Г.К.

**«Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов»:** Материалы Межд. научно-практ. конф. / Сост.: к.х.н. Темирова С.С., к.т.н. Кульдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 с.

**«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары»:** Халықар. ғыл. практ. конф. материалдары / Құраст.: х.ғ.к. Темирова С.С., т.ғ.к. Көлдеев Е.И., Садыкова Т.С. – Алматы, 2018. – 440 б.

**ISBN 978-601-323-132-7**

В Материалах конференции «Эффективные технологии производства цветных, редких и благородных металлов» представлены результаты фундаментальных и прикладных исследований в области металлургии цветных, редких и благородных металлов, обогащения минерального и техногенного сырья, получения высокочистых металлов и перспективных материалов, а также разработки новых и усовершенствования существующих технологических схем, процессов и аппаратов.

Материалы конференции предназначены для ученых и специалистов, работающих в области переработки минерального сырья и материаловедения.

«Түсті, сирек және асыл металдарды өндірудің тиімді технологиялары» атты конференцияның материалдарында түсті, сирек және асыл металдар металлургиясы, минералдық және техногенді шикізаттарды байыту, тазалығы жоғары металдар мен келешегі зор материалдарды алу, сонымен қатар жаңа технологиялық схемаларды, үрдістерді және аппараттарды жасап шығару және олардың бұрыннан келе жатқан түрлерін жетілдіру салаларындағы іргелі және қолданбалы зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Конференция материалдары материалтану және минералды шикізаттарды өңдеу саласында жұмыс жасайтын ғалымдар мен мамандарға арналған.

**УДК 669**  
**ББК 34.3**

**ISBN 978-601-323-132-7**

© АО «ИМиО», 2018

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАНАДИЕВЫХ КВАРЦИТОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХРОМИСТЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ

<https://doi.org/10.31643/2018-7.39>

\*Джуманкулова С.К.<sup>1</sup>, Жучков В.А.<sup>2</sup>, Алыбаев Ж.А.<sup>1</sup>, Сухарников Ю.И.<sup>3</sup>  
ORCID: 0000-0001-5379-0526 0000-0002-1634-6263

<sup>1</sup>НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», г. Алматы, Казахстан, \*karabaevna\_kz@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия;

<sup>3</sup>РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан», г. Алматы, Казахстан

**Аннотация.** *Представлены результаты исследований по использованию ванадиевых кварцитов при производстве хромистых ферросплавов. При производстве высокоуглеродистого феррохрома флюсом могут служить ванадиевые кварциты месторождения Баласаускандык, Курумсак и Джабаглы, которые содержат пентаоксида ванадия более 1 %, углерода – 10-15 %, SiO<sub>2</sub> – 75-85 % и (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) – 2-2,5 %. Добавка в шихту выплавки углеродистого феррохрома 0,01-0,10 масс. % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> позволяет снизить вязкость плавкого расплава до 0,13 Па·с и увеличить на 0,2-0,5 % выход ферросплава. Кроме того, использование в качестве флюса ванадиевого кварцита, содержащего помимо пентаоксида ванадия до 10 масс. % С, позволит сократить дозировку в шихту дефицитного и дорогостоящего металлургического кокса и снизить удельный расход электроэнергии, что положительно скажется на экономике выплавки феррохрома.*

Самые большие месторождения хрома находятся в ЮАР (1 место в мире). Разведанные запасы в Казахстане составляют свыше 350 миллионов тонн (2 место в мире). Четыре страны в настоящее время доминируют в производстве феррохрома – ЮАР, Казахстан, Индия и Китай.

Ведущее место по добыче хромовой руды занимает ЮАР. В 2010 г. доля ЮАР в мировом производстве хромовой руды составила 38,6 %, Казахстана – 15,3 %. В основном хромовые руды отгружают в Россию и казахстанским ферросплавным предприятиям с Донского горно-обогатительного комбината (ГОК) (Актюбинская область).

Выпуск феррохрома осуществляют на 2 ферросплавных заводах Казахстана (Актюбинский и Аксуский ферросплавные заводы).

Известно, что Казахстан производит более 1 млн тонн высокоуглеродистого феррохрома в год. Исходным сырьем для получения феррохрома в основном служат хромовые руды, кокс и флюсы (кварциты). Для производства хромовых ферросплавов требуется значительное количество флюсующих добавок.

Не далеко от Донского ГОКа в Кызылординской области начато добыча ряд кварцевых месторождений, в которых есть полезные компоненты для плавки, как оксид кремния, углерод, пентаоксид ванадия и щелочные металлы, которые могут быть флюсом для производства высокоуглеродистого феррохрома.

Таким флюсом может быть ванадиевые кварциты месторождения Баласаускандык, Курумсак и Джабаглы Большого Каратау. Следует отметить, что по запасам ванадия Казахстан занимает первое место в мире. В настоящее время эти руды не нашли широкого использования. По химическому составу эти руды содержат пентаоксида ванадия более 1 %, углерода – 10-15 %, SiO<sub>2</sub> – 75-85 % и (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) – 2-2,5 %. Полезными компонентами для электроплавки в дуговых печах является оксид кремния, углерод, пентаоксид ванадия и щелочные металлы

Предлагаемая нами технология позволит использовать ванадиевые кварциты (черные сланцы) в качестве флюса при производстве высокоуглеродистого феррохрома на Актюбинском и Аксуском заводах ферросплавов, что было подтверждено проведенными опытно-промышленными испытаниями на Актюбинском заводе ферросплавов, сотрудниками ХМИ Караганды и ИМиО по замене бакальских на ванадиевые кварциты Баласаускандыка.

Данная технология была внедрена в течение года (1993-1994) на Актюбинском заводе ферросплавов и показала перспективность и рентабельность предприятия. При этом повысилась производительность рудотермических печей РКЗ-1,6 МВт на 2-3 %, снизились потери хрома со шлаком с 5 до 2,5 % и было сэкономлено значительное количество восстановителя (кокса) и электроэнергии за счет снижения жидкотекучести шлака (пентаоксид ванадия и щелочные металлы снижают вязкость шлака на 10-15 %).

При этом были использованы полезные компоненты ванадиевого кварцита, как оксид кремния, углерод, пентаоксид ванадия и щелочные металлы. При внедрении данной технологии на ферросплавных предприятиях Казахстана даст значительный экономический эффект при получении комплексных ферросплавов.

В настоящее время при производстве высокоуглеродистого феррохрома в качестве флюсующей добавки используются кварциты (Бакальские, Тектурмасские), в которых кроме кремнезема отсутствуют полезные компоненты для плавки, такие как углерод, пентаоксид ванадия и щелочные металлы [1-2].

С целью улучшения технико-экономических показателей производства высокоуглеродистого феррохрома мы предлагаем внедрить и заменить традиционные флюсы на ванадиевые кварциты, при этом кусковая руда фракции более 10 мм будет использована в рудотермической печи непосредственно для корректировки основности шлака, а мелкая фракция (0-10 мм) кварцита использована для совместной окускования с хромитовой мелочью [3].

В настоящее время ферросплавные заводы перерабатывают магнезиальные хромовые руды, при плавке которых образуются шлаки с большим содержанием оксида магния, а отношение  $MgO:Al_2O_3$  в них возрастает до (2-2,5):1, что позволяет отнести их к тугоплавким и вязким расплавам. Для обеспечения нормального слива сплава и шлака из печи часто необходимы либо значительный перегрев их на 150-200 °С и более, в зависимости от тугоплавкости и жидкотекучести шлакового расплава, либо присадки в шихту значительного количества флюсов, в частности глиноземсодержащих материалов. Однако оба указанных пути улучшения физических свойств шлакового расплава имеют существенные недостатки: в первом случае требуется значительный расход дорогостоящей электроэнергии, во втором – существенные потери хрома с резко возрастающим объемом отвальных шлаков [1-2].

Оптимальный и экономический оправданный путь снижения температуры плавления и вязкости расплава при плавке на феррохром – это использование в шихте специально подобранных добавок, которые должны выполнить роль флюса [4].

Авторы изучали комплекс физико-химических свойств различных материалов – отходов химических и металлургических производств Казахстана и некондиционного сырья – в целях использования их в качестве шихтовых добавок для улучшения качества шлакового расплава. Использовали ванадиевый и бакальский кварциты, ванадийсодержащий шлак и химически чистый  $V_2O_5$  в количестве 0,01; 0,05; 0,1 и 0,11 % (оксид ванадия вводился с ванадиевым кварцитом и ванадийсодержащим шлаком).

Добавка в шихту выплавки углеродистого феррохрома 0,01-0,10 масс. %  $V_2O_5$  позволяет снизить вязкость плавкого расплава до 0,13 Па·с и увеличить на 0,2-0,5 % выход ферросплава. Кроме того, использование в качестве флюса ванадиевого кварцита, содержащего помимо пентаоксида ванадия до 10 масс. % С, позволит сократить дозировку в шихту дефицитного и дорогостоящего металлургического кокса

и снизит удельный расход электроэнергии, что положительно скажется на экономике выплавки феррохрома.

С целью проверки технологии использования ванадиевого кварцита в качестве флюса были проведены опытные плавки. В качестве флюса использовался ванадиевый кварцит крупностью +16 мм, содержащий, масс. %: 75 SiO<sub>2</sub>; 2,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2,9 (CaO+MgO); 1,5-2,0 (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O); 6,2 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 8,5 C; 0,5 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 0,1 P.

При добыче, подготовке и перевозке хромовой руды образуется значительное количество мелочи крупностью менее 10 мм. Дефицит кусковой руды и избыток мелочи, обуславливает необходимость разработки рационального способа окускования хромородного сырья. Наиболее приемлемым и универсальным методом будет являться тот метод, для которого существует оборудование по окускованию, как брикетирование, окатывание и агломерация, где термообработку можно производить при более низких температурах, чем при существующих традиционных технологиях. Температура размягчения хромовой руды, содержащей более 50 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляет 1610 °С. Последнее обстоятельство выдвигает задачу снижения температуры за счет специально подобранных добавок, обеспечивающих формирование требуемой структуры окускованного материала при более низких температурах термообработки.

Результаты определения температур размягчения шихт на основе хромовой руды с чистыми добавками SiO<sub>2</sub> (10 %) и V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,1 %) показали снижение этой температуры, соответственно, на 145 и 80 °С, а введения ванадиевых кварцитов в количестве 10-12 % на 150 °С, это показывает, что процесс окускования хромитов можно вести при более низких температурах, чем без добавки [5].

Присутствие пентаоксида ванадия при плавке хромитовой руды (кусковой и окускованной руды) приводит к сокращению времени на проплавление шихты. И снизит расход электроэнергии и повысит выход сплава на 0,2-0,5 % за счет снижения вязкости и уменьшения потерь хрома со шлаковым расплавом, а наличие в руде углерода сократит расход кокса при агломерации и восстановительной плавке. Все это обеспечит снижение себестоимости производства высокоуглеродистого феррохрома на 3-5 %.

Кроме того, ванадиевые кварциты могут служить не только флюсом при производстве высокоуглеродистого феррохрома, но и основным шихтовым материалом при производстве ферросиликохрома, который производится на ферросплавных заводах Казахстана и России.

Одним из больших потребителей кварцитов является производство ферросиликохрома, который выпускается в СНГ бесшлаковым методом. Известны три марки CuXp 50, CuXp 30 и CuXp 18, которые отличаются по содержанию хрома и кремния в сплаве. По этому методу ферросиликохром получают путем восстановления кварцита углеродом кокса в присутствии передельного (углеродистого) феррохрома.

Ферросиликохром можно производить из техногенных отходов хромита, образующиеся при добыче и транспортировке руды на предприятиях и руднике (ГОК), с использованием ванадиевого кварцита в качестве основного шихтового компонента.

Известно, что на руднике образовалось значительное количество мелкой фракции (менее 10 мм) в количестве более 10 млн тонн, который по химическому составу близко к хромитовой руде, и требует утилизации и вовлечение в производство. Основным приемлемым способом подготовки к плавкам является окускование техногенных отходов. Нами предлагается окусковать хромитовую мелочь с мелкой фракцией ванадиевого кварцита с дальнейшей плавкой в рудотермических печах. При этом можно использовать оборудования находящийся в Донском ГОКе и производить брикеты, окатыши. Из полученного окускованного сырья можно производить ферросиликохром, содержащий ванадий.

Опытные испытания технологии получения ферросиликохрома бесшлаковым способом с использованием в качестве основной шихты ванадиевого кварцита

показала, что можно получить комплексный сплав, содержащий ванадий, хром, кремний и железо. При плавке наблюдалось значительное снижение расхода кокса, за счет углерода ванадиевого кварцита [6].

В тот же период были проведены исследования и начаты работы по промышленному освоению, но к сожалению работы были прерваны по форс-мажорным обстоятельствам (прекращена добыча ванадиевого кварцита в м. Баласаускандык). Автор данного проекта принимал непосредственное участие на всех стадиях проведения упомянутых работ и приобрел бесценный опыт знания для успешного его продолжения.

Ряд проведенных лабораторных исследований по совместному окускованию хромитов и ванадиевого кварцита показали, что можно снизить температуру размягчения и полного расплавления шихты на 80-150 °С. Это даст возможность снизить термообработку окускованных шихтовых материалов на стадии подготовки руды к плавке, при этом на предприятиях повысится технико-экономические показатели действующих обжиговых машин при термообработки. При этом производительность установки по окускованию повысится, выход готового продукта увеличится и снизится расход топлива для термообработки. Окускованные хромитовые окатыши (брикеты) можно перевозить на дальние расстояния и обеспечить дефицитным кусковым материалом предприятия РК, России и других потребителей.

Таким образом, ряд проведенных исследований показали, что ванадиевые кварциты Большого Каратау можно использовать в качестве флюса при производстве высокоуглеродистого феррохрома, что было подтверждено промышленными испытаниями на Актюбинском заводе ферросплавов (1993-1994 гг.) в цехе №1. Следует отметить, что полезные компоненты, углерод – снижает расход дефицитного кокса, пентаоксид ванадия и повышенное количество щелочных металлов – снижает вязкость и электропроводность при плавке, потери хрома со шлаком и улучшает тепловой режим рудотермической печи.

Кроме того, ванадиевые кварциты можно использовать в качестве основного шихтового материала при производстве ферросиликохрома с получением комплексного сплава, содержащего хром, ванадий и кремний, который в дальнейшем может быть использован как лигатура и раскислитель при производстве стали.

Значительное количество ванадиевого кварцита потребуются при окусковании мелкой фракции хромитовой руды (техногенных отходов) накопившихся на руднике.

При этом дефицит хромовой руды можно ликвидировать окускованным хромовым сырьем. Окускованное сырье по себестоимости будет значительно ниже, чем товарная хромовая руда. При организации производства по утилизации техногенных отходов предприятия могут получать значительное количество прибыли.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лякишев Н.П., Гасик М.И. Металлургия хрома. – М.: ЭЛИЗ, – 1999, – 582 с.
- 2 Гриненко В.И. Теоретические и технологические аспекты повышения конкурентоспособности хромистых ферросплавов Казахстана. Дисс. на соискание уч. степени д.т.н. Караганда 2002.
- 3 Алыбаев Ж.А., Сухарников Ю.И., Левинтов Б.Л., Кузьмин С.Н. Использование ванадиевых кварцитов для получения комплексных хромовых и фосфористых ферросплавов // Научно-технический сборник «Новости науки Казахстана». Комплексное использование минеральных ресурсов Казахстана. – Алматы, – 1997, – С. 97-99.
- 4 Кузьмин С.Н., Алыбаев Ж.А., Сухарников Ю.И., Левинтов Б.Л. Влияние ванадия на вязкость шлака и извлечение хрома // Доклады VII Всероссийского

совещания «Химия технология и применение ванадиевых соединений». – Пермь-Чусовой, – 1996, – С. 18.

5 Предпатент №2030 (РК). Способ выплавки углеродистого феррохрома / Сухарников Ю.И., Алыбаев Ж.А., Кузьмин С.Н., Давлетов Д.Н. и др. – Оpubл. 1995, бюл. №2.

6 Предпатент №5937 (РК). Шихта для получения хромитового агломерата / Мирко В.А., Татаркин Н.Л., Левинтов Б.Л., Сухарников Ю.И., Алыбаев Ж.А., Кузьмин С.Н., Бобир В.Н. – Оpubл. 1998, бюл. №2.

## THE USE OF VANADIUM QUARTZITES IN THE PRODUCTION OF CHROMIUM FERROALLOYS

\*Jumankulova S.K.<sup>1</sup>, Zhuchkov V.A.<sup>2</sup>, Alybaev Zh.A.<sup>1</sup>, Sukharnikov Yu.I.<sup>3</sup>

ORCID: 0000-0001-5379-0526

0000-0002-1634-6263

<sup>1</sup>“Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev” NJSC, Almaty, Kazakhstan, \*karabaevna\_kz@mail.ru;

<sup>2</sup>Federal State Budgetary Institute of Science Institute of Metallurgy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia;

<sup>3</sup>“National Center for Comprehensive Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan” RSE, Almaty, Kazakhstan

**Abstract.** *The article is devoted to the use of vanadium quartzites in the production of chromium ferroalloys. In the production of high-carbon ferrochrome flux, vanadium quartzites of the Balasauskandyk, Kurumsak and Jabagly deposits can contain vanadium pentoxide more than 1%, carbon 10-15%, SiO<sub>2</sub> 75-85%, and Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 2-2.5%. Addition of smelting of carbon ferrochrome 0.01-0.10 wt. % V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> makes it possible to reduce the viscosity of the melting melt to 0.13 Pa·s and increase the yield of ferroalloy by 0.2-0.5%. In addition, the use of vanadium quartzite as a flux containing, in addition to vanadium pentoxide, up to 10 wt. % C, will allow to reduce the dosage in charge of the deficit and expensive metallurgical coke and reduce the specific consumption of electricity, which will positively affect the economics of the smelting of ferrochromium.*