

К. т. н. **А. С. Завёрткин** (✉), д. г.-м. н. **В. В. Щипцов**

ФГБУН «Институт геологии Карельского НЦ РАН»,
г. Петрозаводск, Россия

УДК 549.613.3(470.22):666.76

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КИАНИТА В ОГНЕУПОРНЫХ И ПРОТИВОПРИГАРНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Представлены результаты исследований по использованию кианитового концентрата в огнеупорных и противопригарных материалах для чугунного и каменного литья, а также для оболочковых форм точного стального литья.

Ключевые слова: кианитовые породы, кианитовый концентрат, огнеупорные материалы, противопригарные материалы, точное литье, футеровка печей.

В качестве природного сырья, богатого глиноземом, применяют три минерала из группы sillimanita: кианит, sillimanit и андалузит с одинаковой химической формулой $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, которые теоретически содержат 63 % Al_2O_3 и 37 % SiO_2 . Загрязняющими примесями в этих минералах являются прежде всего щелочные оксиды и оксиды железа [1]. Соединения на основе MgO , Al_2O_3 и SiO_2 используют для получения огнеупорных материалов, в том числе для футеровки inductionных тигельных и канальных печей. Наибольшей химической инертностью, низкими термическим расширением [2], теплопроводностью и электропроводностью при высоких температурах обладают ZrO_2 и Al_2O_3 (рис. 1). Муллит $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ редко встречается в виде природного сырья, поэтому его формирование в промышленных огнеупорах достигается в результате обжига различных алюмосиликатов соответствующего химического состава шихты, включающей глину, обожженный каолин, тонкодисперсные компоненты глинозема и кремнезема [1].

Среди алюмосиликатных сырьевых материалов андалузит является лучшим природным источником муллита, образующегося при относительно низких температурах. Андалузит не требует обжига перед применением. Так же, как и другие алюмосиликаты, он превращается в муллит в процессе обжига (1250–1450 °C), но муллитизация приводит к образованию специальной сетчатой структуры муллита – кварцевое стекло, что придает огнеупору высокие термо-

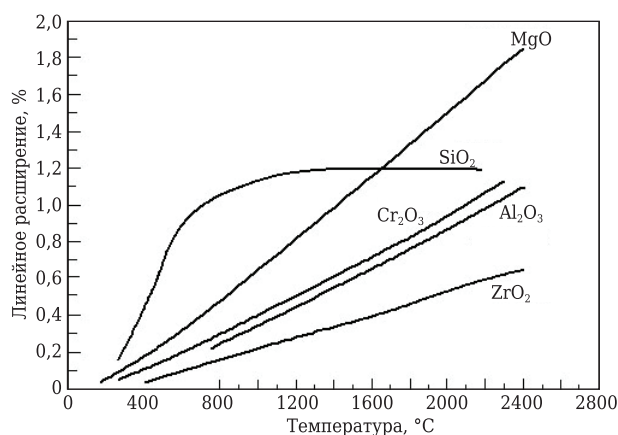


Рис. 1. Линейное расширение оксидов при нагреве [2]

стойкость, температуру деформации под нагрузкой, устойчивость к ползучести и химическому воздействию CO , щелочей и металлургических шлаков [3]. Образование муллита в огнеупорных материалах идет при использовании кианитового концентрата и обеспечивает им низкие термическое расширение и теплопроводность, хорошую химическую стабильность, отличные механические свойства при высокой температуре [4].

Хизоваарское месторождение кианитовых руд, расположенное в Лоухском районе северной Карелии, относится к промышленной сырьевой базе высокоглиноземистых пород России и является наиболее перспективным объектом глиноземистого сырья; запасы составляют 25,5 млн т по категориям B_1 , C_1 , C_2 [5]. Средний химический состав кианитовых руд, мас. %: SiO_2 69,90, TiO_2 0,57, Al_2O_3 20,36, Fe_2O_3 4,16, FeO 0,43, MnO 0,01, MgO 0,31, CaO 0,63, Na_2O 0,47, K_2O 0,14 [15]. Технологические сорта руд — светлые и лучистые кварц-кианитовые (рис. 2).



А. С. Завёрткин

E-mail: talanova@krc.karelia.ru

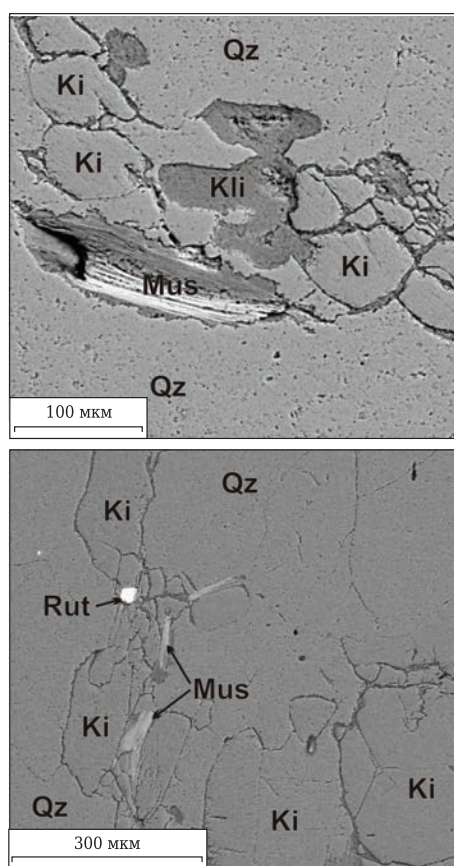


Рис. 2. Микроструктура кианитовой породы Хизоваарского месторождения, 2-й тип руды: Qz — кварц; Ki — кианит; Rut — рутил; Mus — мусковит; Kli — клиноэнстатит

Кианитовые руды Хизоваарского месторождения начали исследовать с 1941 г. в институте «Механобр», Институте геологии Карельского научного центра РАН, в Горном институте Кольского научного центра РАН. Изучали минеральный и химический составы проб, физико-химические, флотационные свойства минералов, анализировали возможные варианты технологических схем обогащения, методы обогащения и типы флотационных реагентов [5]. Результаты исследований микротвердости и коэффициентов анизотропии различных морфологических форм кианита позволяют выделить эти показатели как типоморфные характеристики различных генетических типов руд [6]. Их значения, имеющие существенные различия, теоретически будут влиять на энергозатраты в процессе подготовки материала.

Из диаграммы состояния системы $Al_2O_3-SiO_2$ известно, что с увеличением содержания глинозема количество жидкой фазы уменьшается при высоких температурах и растет количество твердой фазы — муллита и корунда, что улучшает огнеупорные свойства футеровки [7]. Муллит плавится конгруэнтно при 1910 °С, а с корундом образует твердый раствор с содержанием Al_2O_3 от 71,8 до 78 %. Руды обогащали до содержания глинозема в концентрате от 41 до 60 %, а концентрат содержал в среднем до 55 % Al_2O_3 и незначительное количество оксидов железа и щелочей [8]. Полученный концентрат удовлетворяет требованиям к сырью для отечественной огнеупорной промышленности (табл. 1). Целесообразность применения концентратов, полученных из кианитовых пород Хизоваарского месторождения, для точного сталльного литья была определена в исследованиях Кольского и Карельского НЦ РАН. Установлена пригодность его для изготовления противопригарных покрытий при производстве каменного литья, заливаемого в песчаные формы на Кондопожском заводе КИМС [9–11].

Кианитовые месторождения Кейвской группы, расположенные в центрально-восточной части Кольского полуострова, представляют собой непрерывную полосу протяженностью около 200 км. В пределах продуктивного пласта выделены 23 месторождения с общими запасами кианитовой руды более 2 млрд т, но они находятся в неблагоприятных экономико-географических условиях. Наиболее исследованным в геологическом и технологическом отношении из этих месторождений является участок тундры Шуурурта протяженностью продуктивного горизонта 4 км при мощности 60–80 м, который имеет высокое содержание полезного компонента (30–40 %). Из пород этого участка был получен кианитовый концентрат, исследованы возможности его использования в огнеупорных материалах. Этот участок следует рассматривать как один из перспективных. Наряду с кианитовыми месторождениями в западной части площади выделено несколько месторождений силлимита [10].

В настоящее время на Хизоваарском месторождении кианитовых пород существует опытный карьер, который является перспективным объектом для вовлечения в промышленную эксплуатацию, а благодаря выгодному расположению может быть освоен для получения кианитовых порошков.

Таблица 1. Состав кианитового концентрата, полученного из породы Хизоваарского месторождения

Класс, мм	Выход, %	Содержание, мас. %						
		Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	Fe_2O_3	FeO	Na_2O	K_2O
+0,1	11,8	57,1	37,8	1,46	0,61	0,28	0,04	0,03
+0,08	12,2	59,9	37,0	1,58	0,33	—	0,04	0,03
–0,8	76,0	60,9	37,5	1,14	0,38	—	0,05	0,04
Итого	100	60,2	37,5	1,20	0,40	0,03	0,05	0,04

нитового концентрата. Определяющими моментами для изготовления огнеупорных материалов из полученного концентрата являются чистота природного сырья, содержание глинозема 57–60 % и минимальное количество примесей Fe_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 , щелочей [8].

В качестве исходных материалов при подготовке опытно-промышленной партии формовочных порошков для получения керамических форм для литья по выплавляемым моделям применяли кианитовый концентрат, изготовленный из кианита Хизоваарского месторождения, и технический глинозем в количестве 10 мас. %. Полученные брикеты обжигали при 1500 °С с изотермической выдержкой при максимальной температуре 5 ч, продолжительность обжига 50 ч [12]. После обжига материал измельчали, отмагничивая его от внесенного при дроблении железа, плавляли в электродуговой печи и изучали его физико-технические свойства. Результаты исследований и производственных испытаний плавнелитых муллитокремнеземистых формовочных материалов показали их пригодность и перспективность использования в литейном производстве для изготовления оболочковых форм для точного литья. Подготовку опытной партии формовочных порошков выполняли на Боровичском огнеупорном комбинате, а испытания проводили на предприятиях авиационного машиностроения.

Для футеровки inductionных тигельных печей, выплавляющих чугун, применяли дистен-силлиманитовый концентрат двух марок: ДСК-З (зернистый) и ДСК-П (пылевидный). Обе марки концентрата имели одинаковый химический состав с содержанием глинозема около 57 %. Содержание глинозема в футеровке тигля повышали введением в ее состав плавного электрокорунда марок Э4 и Э5 с содержанием глинозема 93–94 % и размерами зерен от 100 до 200 мкм (поставки Челябинского абразивного завода). В качестве спекающей добавки применяли борную кислоту. Стойкость футеровки печи ИЧТ-6, установленной на московском заводе «Водоприбор», составила 1,5 мес. За кампанию печи было выплавлено 700 т чугуна [13].

Основным недостатком высокоглиноземистой футеровки является повышенное смачивание ее шлаками, содержащими более 7 % закиси железа. По утверждению авторов, термостойкость кварцевой футеровки в отличие от высокоглиноземистой снижается из-за ряда превращений кварца, существенно влияющих на стабильность ее объема при нагрузках неподогретой шихты, отключении печей на выходные и праздничные дни. Высокоглиноземистая футеровка имеет высокую термостойкость и создает более благоприятные условия для металлургических процессов по удалению серы, фосфора и неметаллических включений из расплава жидкого металла при вы-

плавке высокопрочного и высококачественного синтетического чугуна, полученного в inductionных тигельных печах. Высокоглиноземистая футеровка inductionных тигельных печей из дистен-силлиманитового концентрата с добавкой плавного корунда обеспечивает стабильность технологического процесса плавки синтетического чугуна, его надежность и экономичность. Кислая футеровка на основе кварцита ограничивает возможности inductionной плавки чугуна, приводит к восстановлению кремния, повышенному угару компонентов шихты, препятствует рафинированию расплава от серы, фосфора и оксидных включений в сплаве.

Футеровку на основе глиноземистых материалов в inductionных печах начали применять сравнительно недавно. Обычно такая футеровка выполняется из пластической массы и требует медленной сушки. Обладая высокой огнеупорностью (до 1800 °С), футеровка на основе глинозема так же, как и кварцевая, не обеспечивает объемной стабильности, а стоимость ее больше кварцевой. Поэтому при плавке чугуна глиноземистая футеровка, как набивная, так и из фасонных штучных изделий, широко применяется там, где необходима ее длительная стойкость — в канальных inductionных, крупных тигельных печах. В ряде случаев (футеровка inductionных тигельных печей вместимостью 6 т отечественного производства на московском заводе «Водоприбор») применяется дистен-силлиманитовая футеровочная масса с борной кислотой.

В литейном производстве используется метод получения отливок по выплавляемым моделям (точное литье) для изготовления сложных по конфигурации и тонкостенных отливок с высокой чистотой поверхности. Расплавленный металл заливается в керамические формы, получаемые нанесением на поверхность выплавляемых моделей огнеупорного покрытия на связующем из этилсиликата и наполнителя из цирконового концентрата. В качестве огнеупорного материала могут применяться дистен-силлиманитовый концентрат и белый корунд в зависимости от принятого технологического процесса получения отливок. Дефицит дистен-силлиманитового концентрата и белого корунда заставляет технологов литейного производства исследовать новые составы наполнителей для получения керамических форм. Одним из перспективных заменителей дистен-силлиманита может быть кианитовый концентрат.

Для применения местного сырья для литейного производства проведено совместное исследование Карельского и Кольского НЦ РАН кианитов Хизоваарского месторождения, как перспективного вида огнеупорного наполнителя для керамических форм. Обогащение кианитовой руды на стадии детальной разведки Хизоваарского месторождения выполнял институт

«Механобр» с выходом обогащенного концентрата с содержанием 57,0–57,5 % Al_2O_3 , 7,5 % свободного SiO_2 ; извлечение кианита составляло 69 % от исходного содержания его в породе. По данным рентгенофазового анализа, кианитовый концентрат представлен дистеном и кварцем (первичный кварц), в качестве примесей присутствуют мусковит, следы хлорита или накрита (в отдельных пробах), калиевого полевого шпата, гематита.

На основе кианитового концентрата разработаны составы суспензий, получены образцы керамики и изучены ее свойства [8]. Керамика на основе кианитового концентрата имеет более высокие прочностные показатели в сыром и обожженном виде, с повышением температуры прочность керамики возрастает. Для силлиманитовой керамики характерны температурное разупрочнение при 1050 °С и повышение прочности в период образования муллита и спекания образцов при 1350 °С. Температурное разупрочнение связано, по мнению исследователей [10], с увеличением объема при переходе дистена и силлиманита в муллит. Керамика, изготовленная на основе кианита, имеет большее линейное расширение, и, на наш взгляд, этим объясняется большая прочность керамики, полученной на кианитовом концентрате, так как это обстоятельство способствует еще большему ее уплотнению.

Повышение прочности кианитовой керамики по сравнению с дистен-силлиманитовой требует (наше мнение) увеличения количества связующего при подготовке состава покрытий керамических форм и заведомо предусматривает снижение брака литья благодаря повышению температуры деформации керамических форм с кианитовым концентратом. Поэтому кианитовый концентрат может быть рекомендован в качестве заменителя дистен-силлиманита при получении керамических форм для точного литья.

Положительные результаты были получены при использовании кианитового концентрата при производстве сталеразливочных изделий в литейном производстве, но в их состав дополнительно необходимо было вводить электрокорунд и технический глинозем для повышения содержания Al_2O_3 до требуемых норм. Бадделеитовый концентрат вводили в состав шихты для повышения огнеупорности и улучшения физико-керамических свойств огнеупорного материала.

Задача исследований состояла в изучении минерального и химического составов и неко-

торой зависимости физико-технических свойств и фазового состава кианитового концентрата от температуры обжига, чтобы решить вопрос о возможности использования руды и концентрата при изготовлении плавящихся высокоглиноземистых огнеупоров. На основании диаграммы состояния системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--ZrO}_2$ и данных [14] выбраны три состава шихты, близкие к тройной эвтектической точке диаграммы. Исходными материалами для составления шихты были взяты кианитовый концентрат с содержанием глинозема 58 %, бадделеитовый концентрат Ковдорского ГОКа, содержащий 96 % ZrO_2 , электрокорунд марки 24А (12-3) по ОСТ 2-115-71 и технический глинозем по ГОСТ 6912-74. Вещественный состав шихт приведен в табл. 2. Результаты исследований позволяют рекомендовать предложенную авторами технологию получения плавящегося высокоогнеупорного материала муллитового и муллитциркониевого составов к испытанию в производственных условиях [16].

Исследования и опытно-промышленные испытания кианитового концентрата, полученного из кианита Карело-Кольского региона, показали высокую устойчивость его к воздействию каменного литья и чугуна (при использовании в качестве противопригарных покрытий), а также стали и никелевых сплавов (формовочных материалов для оболочковых форм при производстве точного литья) [17, 18]. Разработанная технология получения огнеупорных формовочных порошков только для точного литья позволит отказаться от импорта электрокорунда и достигнуть экономического эффекта от частичной замены электрокорунда на машиностроительных предприятиях.

Относительно кианитового концентрата, получаемого из руд Хизоваарского месторождения компанией Elkem AS, предлагается использование его в производстве формованных и неформованных огнеупоров для черной металлургии, а также в качестве огнеупорной продукции для получения керамических форм точного литья. Карельский кианитовый концентрат был опробован в составе сверхнизкоцементных бетонных смесей на основе чистого глинозема. Без предварительного обжига кианитовый концентрат расширяется примерно на 18 %. В безусадочных огнеупорных бетонах его рекомендуется применять в обожженном состоянии. В процессе проведения исследований был изготовлен сверхнизкоцементный состав на основе чистого глинозема, обожженного карельского кианитового

Таблица 2. Состав шихты, мас. %, для получения сталеразливочных огнеупоров [15]

Шихта	Кианитовый концентрат	Бадделеитовый концентрат	Электрокорунд	Технический глинозем
1	40	30	20	10
2	44	33	23	—
3	43	30	27	—

концентрата и микрокремнезема. Карельский кианитовый концентрат с размерами зерен менее 74 мкм вводили в состав шихты в количестве 2 и 5 %.

Методика работы состояла в том, что из приготовленной смеси готовили образцы-призмы размерами 40×40×160 мм, сушили их при 110 °С в течение 24 ч и обжигали. Физико-керамические свойства огнеупорного состава определяли на образцах размерами 25×25×150 мм. После обжига образцы большего размера использовали для определения линейного расширения, меньшего размера — для определения кажущейся плотности, открытой пористости иммерсионным методом. Исследование показало, что кианитовый концентрат при обжиге противодействует усадке образцов, а добавки его в количестве 2 % можно считать достаточными для получения безусадочного материала. Обжиг образцов с 2 %-ной добавкой при 1300 °С вызывает снижение огнеупорности, а при 1400 °С с увеличением периода обжига при этой температуре огнеупорность образцов повышается, что обусловлено большей муллитизацией материала образцов.

Проверено действие температурного фактора на свойства огнеупорного бетона с введением в его состав добавки кианитового концентрата. Обжиг образцов бетона проводили в интервале от 1000 до 1500 °С с разной выдержкой при заданных температурах. Частичное выделение муллита было обнаружено после обжига при 1400 °С; прочность образцов увеличивалась. При нагреве образцов до 1500 °С прочность образцов начинала снижаться. Проверке были подвергнуты составы с разным (от 5 до 8 %) содержанием цемента. При этом для снижения влажности смеси в ее состав вводили тонкомолотые добавки для уменьшения открытой пористости и повышения коррозионной стойкости жаростойкого бетона. Для уменьшения влажности применяли микрокремнезем, состоящий из сферических частиц со средним диаметром частиц около 0,15 мкм. Такой материал получают при производстве ферросилиция или силикона. Введение этой добавки при обжиге до 1000 °С не вызывает снижения прочности бетона, но при повышении температуры до 1200 °С прочность бетона снижается из-за появления жидкой фазы в тройной системе $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. Для устранения этого недостатка в состав

бетонной смеси можно ввести микрокремнезем с реактивным глиноземом, которые в смесях с низким содержанием цемента приводят к увеличению содержания муллита при температуре обжига 1300 °С. Появление в образцах взаимосвязанных иголок муллита улучшает структуру огнеупорного бетона при высоких температурах, повышая его огнеупорность. Присутствие в составе смесей до 0,6 % CaO будет препятствовать образованию муллита.

На Боровичском комбинате огнеупоров муллитокорундовый шамот в шихте был заменен импортными кианитом и андалузитом, в результате чего были улучшены физико-химические характеристики огнеупорных изделий и их термомеханические свойства. В производстве изделий необходимо применять кианитовый концентрат, предварительно обожженный при 1450–1500 °С, для исключения роста изделий при обжиге [19]. На комбинате был разработан ряд неформованных огнеупорных материалов для изготовления низкоцементных бетонов корундового и корундошпинельного составов для наливной футеровки промежуточных ковшей. Установлено, что замена корундового и шпинельного заполнителя андалузитом и кианитом не ухудшает служебных характеристик бетона, однако при этом существенно снижает его стоимость [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, целесообразность применения концентрата, изготовленного из пород силлиманитовой группы, определяется содержанием глинозема в обогащенном материале и примесей, входящих в его состав. Поэтому качество получаемых футеровочных масс для печей и противопопригарных материалов для литейного производства будет зависеть не только от качества природного сырья месторождений кианита, но и от качества обогащения при получении концентрата.

Трудности, возникающие при обогащении кианитовой породы, все еще остаются одной из нерешенных проблем. Это — один из основных факторов, тормозящих производство огнеупорных и противопопригарных материалов из кианитового сырья с высоким содержанием глинозема, несмотря на значительные его запасы в Карело-Кольском регионе.

Библиографический список

1. **Кайнарский, И. С.** Процессы технологии огнеупоров / И. С. Кайнарский. — М. : Металлургия, 1969. — 350 с.
2. **Шумихин, В. С.** Синтетический чугун / В. С. Шумихин, П. П. Лузан, М. В. Жельнис. — Киев : Наукова думка, 1971. — 156 с.
3. **Хуберт, П.** Преимущества использования андалузита в обожженных и безобжиговых огнеупорах /

П. Хуберт // Новые огнеупоры. — 2004. — № 4. — С. 130–136.

4. **Гаранжа, А. В.** Кианитовые породы Карело-Кольского региона и пути их применения. Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов / А. В. Гаранжа, А. С. Завёрткин // Материалы второй Международной

научной конференции 12–16 сентября 2005 г., Петрозаводск. — С. 36–39.

5. **Борисов, П. А.** Хизоваарское месторождение кианита (КФССР) / П. А. Борисов, Н. А. Волотовская // Сов. геология. — 1941. — № 6. — С. 82–86.

6. **Гаранжа, А. В.** Особенности микротвердости кианита в зависимости от генетического типа руд Хизоваарского месторождения (Северная Карелия) / А. В. Гаранжа // Геолого-технологическая оценка индустриальных минералов и пород Республики Карелия и отдельных регионов Европейского континента. — Петрозаводск, 1997. — С. 51–54.

7. **Торопов, Н. А.** Диаграммы состояния силикатных систем : справочник. Выпуск первый. Двойные системы / Н. А. Торопов, В. П. Барзаковский, В. В. Лапин, Н. Н. Курцева. — Л. : Наука. Ленингр. отд., 1969. — 822 с.

8. **Каменева, Е. Е.** Обогащение минерального сырья Карелии / Е. Е. Каменева, Л. С. Скамницкая. — Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2003. — 230 с.

9. **Володина, С. В.** Использование геллефлинты и кианитосодержащих материалов в качестве противогарных покрытий для петругических расплавов / С. В. Володина, А. С. Завёрткин, Л. С. Скамницкая [и др.] // Геолого-технологические исследования минерального сырья Карелии. — 1989–1990. — С. 20–24.

10. **Кононов, М. Е.** Огнеупоры из минерального сырья Карело-Кольского региона / М. Е. Кононов ; под ред. В. А. Маслобоева. — Апатиты : [б. и.], 1994. — 180 с.

11. **Демонис, И. М.** Кианитовые руды месторождения Хизоваара — перспективный вид огнеупорного сырья. АН СССР. Фундаментальные науки — народному хозяйству / И. М. Демонис, Ю. Ф. Карпович, Г. П. Озерова [и др.]. — М. : Наука, 1990. — 725 с.

12. **Гаранин, В. Ф.** Перспективы использования алюмосиликатного и магнийсодержащего минерального сырья Карело-Кольского региона в литейном производстве / В. Ф. Гаранин, М. Е. Кононов, А. С. Муркина [и др.] // Материалы Всесоюз. совещания «Комплексное освоение минеральных ресурсов севера и северо-

запада СССР». — Петрозаводск, 1990. — С. 130, 131.

13. **Иванов, Д. П.** Исследование и промышленное освоение производства синтетического чугуна в индукционных печах / Д. П. Иванов, Л. Б. Коган, Г. Ф. Горбульский // Литейное производство. — 1970. — № 4. — С. 36–40.

14. **Кононов, М. Е.** Исследование зависимости физико-технических свойств и фазового состава кианитового концентрата от температуры обжига // Силикатные материалы из минерального сырья и отходов промышленности / М. Е. Кононов, О. В. Поваляева, О. А. Ефимова. — Л. : Наука, 1983. — С. 41–47.

15. **Литваковский, А. А.** Плавные литые огнеупоры / А. А. Литваковский. — М. : Госстройиздат, 1959. — 308 с.

16. **Галдина, Н. М.** Электроплавные огнеупоры для стекловаренных печей / Н. М. Галдина, Л. П. Чернина. — М. : Стройиздат, 1975. — 182 с.

17. **Завёрткин, А. С.** Возможности применения в производстве огнеупоров кианитов Хизоваарского месторождения / А. С. Завёрткин, В. В. Щипцов, В. П. Ененко // Новые огнеупоры. — 2005. — № 4. — С. 87–92.

18. **Гаранин, В. Ф.** Перспективные алюмосиликатные формовочные материалы для литья по выплавляемым моделям / В. Ф. Гаранин, А. С. Муркина, М. Е. Кононов // Повышение качества и эффективности литья по выплавляемым моделям. — М., 1989. — С. 54–56.

19. **Скурихин, В. В.** Огнеупоры для электролизеров, печей обжига анодов и прокаливания глинозема / В. В. Скурихин // Новые огнеупоры. — 2004. — № 10. — С. 66–71.

20. **Сакулин, В. Я.** Неформованные огнеупоры для монокристаллических футеровок сталеразливочных и промежуточных ковшей / В. Я. Сакулин, В. П. Мигаль, А. П. Маргшвили [и др.] // Новые огнеупоры. — 2004. — № 9. — С. 3–6. ■

Получено 22.03.18
© А. С. Завёрткин,
В. В. Щипцов, 2018 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

COMPOSITES EUROPE 2018 — европейская выставка и форум по композиционным материалам, технологиям их производства и применения

6–8 ноября 2018 г.

Германия, г. Штутгарт, Messe Stuttgart

Тематика:

- сырьевые материалы (каучуки, добавки, модификаторы, наполнители)
- промежуточная продукция (листовой формовочный материал, стекло, наполненные премиксы, препреги, грануляты)
- полуфабрикаты (профили, трубы, отливки, плиты)
- технологии и оборудование (для литья и формовки под давлением, компрессионного, центробежного и др., ламинирования, намотки, прикатки)
- услуги (программного обеспечения, новых разработок и т.д.)

www.expomap.ru

COMPOSITES EUROPE