

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202092707** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
2021.05.12

(22) Дата подачи заявки  
2019.05.29

(51) Int. Cl. *C04B 35/043* (2006.01)  
*C04B 35/626* (2006.01)  
*C04B 35/628* (2006.01)  
*C04B 35/634* (2006.01)  
*C04B 35/64* (2006.01)

---

(54) **ОГНЕУПОР, ШИХТА ДЛЯ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ, СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ, А ТАКЖЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТАКОГО ОГНЕУПОРА**

---

(31) 18189903.0

(32) 2018.08.21

(33) EP

(86) PCT/EP2019/064060

(87) WO 2020/038620 2020.02.27

(71) Заявитель:

**РИФРЭКТОРИ ИНТЕЛЛЕКТЧУАЛ  
ПРОПЕРТИ ГМБХ УНД КО. КГ (AT)**

(72) Изобретатель:

**Линкер Андреас (DE), Тельзер Хайнц,  
Нифоль Йозеф, Гайт Мартин (AT)**

(74) Представитель:

**Веселицкая И.А., Веселицкий М.Б.,  
Кузенкова Н.В., Каксис Р.А., Белоусов  
Ю.В., Куликов А.В., Кузнецова Е.В.,  
Соколов Р.А., Кузнецова Т.В. (RU)**

---

(57) Изобретение относится к огнеупору, к шихте для его получения, к способу его получения, а также к применению такого огнеупора.

**202092707**  
**A1**

**202092707**

**A1**

## ОГНЕУПОР, ШИХТА ДЛЯ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ, СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ, А ТАКЖЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТАКОГО ОГНЕУПОРА

Настоящее изобретение относится к огнеупору, к шихте для его получения,  
5 к способу его получения, а также к применению такого огнеупора.

Термином "огнеупор" или "огнеупорный материал", соответственно  
"огнеупорное изделие" согласно настоящему изобретению называют прежде  
10 всего огнеупоры для применения при температурах свыше 600°C и  
преимущественно огнеупорные материалы согласно стандарту DIN 51060:2006,  
т.е. материалы с температурой падения конуса Зегера более SK 17. Температуру  
падения конуса Зегера можно определять прежде всего в соответствии со  
стандартом DIN EN 993-12:1997-06.

Термином "шихта" называют, как известно, композицию или состав из  
одного или нескольких компонентов, соответственно сырьевых материалов, из  
15 которой/которого путем термической обработки, т.е. прежде всего путем  
обжига, например, в печи, можно получить огнеупор. Подобная термическая  
обработка может осуществляться прежде всего путем обжига на керамику,  
благодаря чему из шихты можно получить спеченный керамический огнеупор.

Компоненты для получения огнеупоров обычно представлены в виде  
20 сырьевых материалов на основе оксидов металлов. Обычным сырьевым  
материалом для получения огнеупоров является магнезия, основу которой в  
качестве оксида металла составляет оксид магния (MgO). Сырьевые материалы в  
виде магнезии могут быть представлены, например, в виде периклаза (магнезии,  
обоженной и спеченной при температуре 1600-1900°C) или плавленной  
25 магнезии.

Подобные огнеупоры, полученные на основе сырьевых материалов в виде  
магнезии, называют также магнезитовыми огнеупорами, соответственно, если  
такие огнеупоры представляют собой формованные огнеупоры, магнезитовыми  
кирпичами.

30 Вследствие высокой точки плавления MgO магнезитовые огнеупоры имеют  
высокую горячую прочность. Помимо этого магнезитовые огнеупоры из-за  
своего основного характера обладают хорошей стойкостью к щелочным  
воздействиям, т.е., например, к воздействию сталеплавильных шлаков или  
цементных клинкеров в цементных вращающихся трубчатых печах.

Однако подобные магнезитовые огнеупоры из-за высокого теплового расширения MgO обладают высокой чувствительностью к термическим напряжениям. Эта чувствительность к термическим напряжениям проявляется в относительно низкой упругости структуры подобных магнезитовых огнеупоров и, соответственно, их высоком модуле упругости.

Для снижения чувствительности магнезитовых огнеупоров к термическим напряжениям известно введение в них определенных компонентов, присутствие которых позволяет улучшить модуль упругости магнезитовых огнеупоров. Улучшение модуля упругости магнезитовых огнеупоров достигается, как известно, прежде всего при содержании в них магнезиальной шпинели (MgO•Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Благодаря такому содержанию магнезиальной шпинели в магнезитовых огнеупорах удается снизить их чувствительность к термическим напряжениям и улучшить их упругость, соответственно упругость их структуры, что проявляется прежде всего в сниженном модуле упругости.

С целью обеспечить в магнезитовом огнеупоре наряду с MgO наличие и магнезиальной шпинели в шихту для получения магнезитового огнеупора можно добавлять уже предварительно синтезированную магнезиальную шпинель в качестве сырьевого материала. Альтернативно этому в шихту можно добавлять сырьевой материал на основе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, благодаря чему при обжиге из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и MgO образуется магнезиальная шпинель. Такой процесс известен также как образование магнезиальной шпинели *in situ*.

В то время как магнезиальная шпинель, как указано выше, положительно влияет на упругость огнеупора на основе магнезии, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> может, однако, оказывать отрицательное влияние на горячую прочность огнеупора. Так, в частности, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> может образовывать с CaO, попадающим в огнеупор в качестве побочного компонента магнезиальных сырьевых материалов, низкоплавкие кальциевоалюминатные фазы, наличие которых может значительно снижать горячую прочность огнеупора. Помимо этого при определенных соотношениях между собой таких компонентов, как Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO и SiO<sub>2</sub>, возможно образование низкоплавких кальциевоалюмосиликатных фаз. Кроме того, при возрастающем содержании Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в магнезитовом огнеупоре может снижаться его стойкость к щелочным воздействиям. Так, в частности, с увеличением содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в

магнезитовом огнеупоре возрастает, например, опасность агрессивного воздействия на него клинкерного расплава вследствие его инфильтрации в огнеупор в цементной вращающейся трубчатой печи.

В целом можно, таким образом, констатировать, что в огнеупоре на основе магнезии хотя и улучшается его упругость с увеличением содержания  $Al_2O_3$ , однако его стойкость к щелочным воздействиям, а также его горячая прочность снижаются.

В основу изобретения была положена задача предложить огнеупор на основе магнезии, который обладал бы хорошими упругими свойствами и одновременно с этим высокой горячей прочностью.

В основу изобретения была далее положена задача предложить огнеупор на основе магнезии, который обладал бы хорошими упругими свойствами и одновременно с этим высокой горячей прочностью и стойкостью к щелочным воздействиям.

Еще одна задача изобретения состояла в том, чтобы предложить шихту для получения подобного огнеупора.

Еще одна задача изобретения состояла в том, чтобы предложить способ получения подобного огнеупора.

Согласно изобретению в нем предлагается огнеупор, имеющий химический состав, согласно которому присутствуют следующие оксиды в следующих (относительных) количествах:

MgO по меньшей мере 92 масс.%,

$Al_2O_3$  от 1,5 до 7 масс.%,

$Fe_2O_3$  менее 3 масс.%,

CaO +  $SiO_2$  от 1 до 3 масс.%,

и содержащий покрытые зерна, которые имеют размер по меньшей мере 2 мм и которые состоят из магнезии, поверхность которой по меньшей мере частями имеет покрытие из магнезиальной шпинели.

При создании изобретения неожиданно было установлено, что возможно получение огнеупора на основе магнезии, который позволяет решить указанные выше задачи, если такой огнеупор имеет вышеуказанный химический состав и одновременно содержит вышеуказанные покрытые зерна.

Приведенные выше и ниже количественные данные в масс.%, характеризующие химический состав предлагаемого в изобретении огнеупора, в каждом случае указаны в пересчете на его общую массу, если отдельно не оговорено иное.

5           Содержание оксидов в предлагаемом в изобретении огнеупоре, а также указанные в настоящем описании потери при прокаливании, т.е. химический состав предлагаемого в изобретении огнеупора, а также потери при прокаливании, определяют рентгенофлуоресцентным анализом в соответствии со стандартом DIN EN ISO 12677:2013-02.

10           Важный аспект изобретения состоит в том, что предлагаемый в нем огнеупор содержит покрытые зерна, которые имеют размер по меньшей мере 2 мм и которые состоят из магнезии, поверхность которой по меньшей мере частями имеет покрытие из магнезиальной шпинели. Использование зерен с подобным покрытием в предлагаемом в изобретении огнеупоре основано на  
15           нескольких фактах, установленных опытным путем при создании изобретения. В соответствии с первым фактом было установлено, что зерна с подобным покрытием, которые состоят из магнезии, поверхность которой по меньшей мере частями имеет покрытие из магнезиальной шпинели, проявляют в отношении их повышающих упругость (эластичность) свойств в огнеупоре на основе магнезии  
20           аналогичное повышающее упругость (эластичность) действие, что и цельное зерно из магнезиальной шпинели, т.е. зерно, которое полностью состоит из магнезиальной шпинели. Помимо этого при создании изобретения было установлено, что хотя зерно с подобным покрытием и позволяет достичь  
25           повышающего упругость действия, которое в основном соответствует повышающему упругость действию цельного зерна из магнезиальной шпинели, тем не менее лишь покрытое магнезиальной шпинелью зерно из магнезии обеспечивает возможность внесения  $Al_2O_3$  в огнеупор в существенно меньшем количестве, чем цельное зерно из магнезиальной шпинели. Однако в том же  
30           объеме, в котором снижается внесение  $Al_2O_3$  в огнеупор, уменьшается и отрицательное влияние  $Al_2O_3$  на горячую прочность огнеупора и его стойкость к щелочным воздействиям.

При создании изобретения неожиданно было далее установлено, что вышеуказанные положительные действия покрытых зерен в огнеупоре

проявляются в особой мере уже в том случае, когда они имеют размер по меньшей мере 2 мм. На чем основан данный эффект, детально не выяснено. Авторы настоящего изобретения предполагают, что повышающее упругость действие покрытых зерен начинает в особой мере проявляться лишь начиная с их размера, составляющего 2 мм. Помимо этого авторы настоящего изобретения предполагают, что (при неизменной толщине покрытия из магнезиальной шпинели) у покрытых зерен начиная с их размера по меньшей мере 2 мм массовое отношение MgO к Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> смещается в пользу массовой доли MgO таким образом, что покрытые зерна начиная лишь с их размера по меньшей мере 2 мм позволяют добиться соответствующего изобретению низкого содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в огнеупоре при одновременно достаточном своем повышающем упругость действии.

При создании изобретения было установлено, что покрытые зерна проявляют свое лучшее повышающее упругость действие при одновременно лишь низком внесении Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в огнеупор, когда они имеют размер от 3 до 5 мм. Поэтому в одном из вариантов осуществления изобретения покрытые зерна имеют размер от 2 до 5 мм, а в особенно предпочтительном варианте покрытые зерна имеют размер от 3 до 5 мм.

Покрытые зерна состоят из магнезии, поверхность которой по меньшей мере частями имеет покрытие из магнезиальной шпинели.

Термин "частями" применительно к покрытию из магнезиальной шпинели на магнезии покрытых зерен означает, что магнезия покрытых зерен может быть покрыта магнезиальной шпинелью полностью либо частично. В варианте, в котором поверхность магнезии покрытых зерен полностью имеет покрытие из магнезиальной шпинели, она полностью окружает магнезию, т.е. по типу обертки или оболочки, внутри которой находится магнезия по типу "сердцевины". В варианте, в котором магнезия лишь частями имеет покрытие из магнезиальной шпинели, такое покрытие из магнезиальной шпинели может иметь, например, пропуски или разрывы, соответственно магнезия покрытых зерен может быть, например, покрыта магнезиальной шпинелью и лишь частично, т.е. иметь покрытие из нее в виде отделенных друг от друга участков, соответственно зон. В предпочтительном варианте поверхность магнезии покрытых зерен имеет покрытие из магнезиальной шпинели на по меньшей мере

50% своей площади. Однако в особенно предпочтительном варианте поверхность магнезии покрытых зерен имеет покрытие из магнезиальной шпинели на весьма преобладающей части своей площади или же по всей своей площади. При создании изобретения было установлено, что такие полностью  
5 покрытые магнезиальной шпинелью зерна из магнезии проявляют особенно сильное повышающее упругость действие в огнеупоре.

Покрытие из магнезиальной шпинели имеет толщину предпочтительно от 10 до 500 мкм, особенно предпочтительно от 25 до 400 мкм. При создании изобретения было установлено, что благодаря зернам с покрытием из  
10 магнезиальной шпинели с такой толщиной, с одной стороны, может проявляться хорошее повышающее упругость действие в предлагаемом в изобретении огнеупоре, а с другой стороны, одновременно с этим массовое отношение MgO (количество которого складывается из его содержания в покрытой магнезии, а также из его содержания в покрытии из магнезиальной шпинели) к  $Al_2O_3$   
15 (количество которого определяется его содержанием в покрытии из магнезиальной шпинели) настолько высоко, что при хорошем повышающем упругость действию покрытых зерен одновременно в предлагаемый в изобретении огнеупор возможно внесение  $Al_2O_3$  лишь в сравнительно низком количестве.

20 Покрытие из магнезиальной шпинели может находиться в непосредственном контакте с покрытой магнезией либо полностью или частично отделена от нее зазором. Помимо этого покрытие из магнезиальной шпинели может быть одно- или многослойным. В варианте с многослойным покрытием из магнезиальной шпинели эти несколько ее слоев могут быть, например,  
25 полностью или частями отделены зазором друг от друга.

В качестве размера покрытых зерен релевантным в соответствии с обычным определением в уровне техники является наружный периметр зерен, т.е. периметр вдоль наружной границы покрытых зерен. Тем самым при наличии многослойного покрытия из магнезиальной шпинели релевантным является  
30 наружный периметр наружного слоя покрытия. Размер покрытых зерен определяли в соответствии со стандартом DIN EN ISO 13383-1:2016-11.

Сердцевина из магнезии у покрытых зерен состоит преимущественно из магнезии (MgO), в которой наряду с MgO могут присутствовать обычные

побочные оксиды и примеси, которые, как правило, вносятся в огнеупор с сырьевыми материалами, т.е., например, побочные оксиды в виде  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  или  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Однако они обычно присутствуют в количестве менее 10 масс.% в пересчете на массу магнезии. Покрытие из магнезиальной шпинели у покрытых зерен состоит из магнезиальной шпинели, т.е. "истинной" шпинели, соответственно алюмомагнезиальной шпинели ( $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , соответственно  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ). Магнезиальная шпинель покрытия из нее предпочтительно представлена в виде стехиометрической магнезиальной шпинели. Наряду с магнезиальной шпинелью в покрытии могут в свою очередь присутствовать обычные примеси и побочные оксиды, которые вносятся в огнеупор с обычно применяемыми сырьевыми материалами, т.е. прежде всего  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

При создании изобретения было установлено, что покрытые зерна способны особенно ярко проявлять свое повышающее упругость действие при одновременно низком внесении  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в огнеупор в том случае, если огнеупор содержит покрытые зерна в количестве от 5 до 24 масс.%. Поэтому в одном из вариантов огнеупор содержит покрытые зерна в количестве от 5 до 24 масс.%. При создании изобретения было установлено, что такие положительные действия покрытых зерен можно дополнительно улучшить, если содержание покрытых зерен в возрастающей мере приближено к величине в диапазоне около 10 масс.%. Поэтому в более предпочтительном варианте огнеупор содержит покрытые зерна в количестве от 3 до 20 масс.%, более предпочтительно от 5 до 15 масс.%, особенно предпочтительно от 7 до 15 масс.%. Эти количества покрытых зерен в предлагаемом в изобретении огнеупоре в масс.% указаны в пересчете на его общую массу.

Предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав, в соответствии с которым  $\text{MgO}$  присутствует в огнеупоре в массовой доле по меньшей мере 92 масс.%. При создании изобретения было установлено, что свойства предлагаемого в изобретении огнеупора касательно его упругости, а также его горячей прочности улучшаются в возрастающей мере, если предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав, в котором содержание  $\text{MgO}$  в возрастающей мере приближено к величине в пределах от 93,5 до 96 масс.%. Показателем таких улучшенных свойств касательно упругости является уменьшенный в нарастающей мере модуль упругости, а



показателем улучшенных в возрастающей мере свойств касательно горячей прочности является увеличенное в нарастающей мере значение  $T_{0,5}$ . В этом отношении в одном из предпочтительных вариантов предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав с долей MgO в пределах от 92 до 97,5 масс.%, более предпочтительно от 92 до 96 масс.%, еще более предпочтительно от более 93 до 96 масс.%, еще более предпочтительно от 93,5 до 96 масс.%.

Предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав с содержанием  $Al_2O_3$  в пределах от 1,5 до 7 масс.%. При создании изобретения было установлено, что свойства предлагаемого в изобретении огнеупора касательно его упругости (показателем которой опять же служит модуль упругости), а также его горячей прочности (показателем которой служит значение  $T_0$ ) улучшаются в возрастающей мере, если предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав, в котором содержание  $Al_2O_3$  в возрастающей мере приближено к величине в пределах от 2 до 3,5 масс.%. В этом отношении в одном из предпочтительных вариантов предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав с содержанием  $Al_2O_3$  в пределах от 1,5 до 5 масс.%, более предпочтительно от 1,5 до 3,5 масс.%, еще более предпочтительно от 2 до 3,5 масс.%.

Предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав с содержанием  $Fe_2O_3$  менее 3 масс.%. При создании изобретения было установлено, что свойства предлагаемого в изобретении огнеупора касательно его горячей прочности (показателем которой служит значение  $T_0$ ) улучшаются в возрастающей мере, если предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав, в котором содержание  $Fe_2O_3$  в возрастающей мере приближено к величине менее 1 масс.%, прежде всего от 0,1 до менее 1 масс.%. В этом отношении в одном из предпочтительных вариантов предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав с содержанием  $Fe_2O_3$  менее 2 масс.%, более предпочтительно менее 1 масс.%, еще более предпочтительно от 0,1 до менее 1 масс.%.

Предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав с содержанием  $CaO + SiO_2$  (т.е. химический состав с суммарным содержанием

обоих этих оксидов по массе) в пределах от 1 до 3 масс.%. При создании изобретения было установлено, что свойства предлагаемого в изобретении огнеупора касательно его упругости (показателем которой служит модуль упругости), а также его горячей прочности (показателем которой служит значение  $T_0$ ) улучшаются в возрастающей мере, если предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав, в котором содержание  $\text{CaO} + \text{SiO}_2$  в возрастающей мере приближено к величине в пределах от 2 до 3 масс.%. В этом отношении в одном из предпочтительных вариантов предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав с содержанием  $\text{CaO} + \text{SiO}_2$  в пределах от 2 до 3 масс.%. При создании изобретения было установлено, что при таком содержании  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$  в огнеупоре не образуются вовсе или образуются лишь в незначительных количествах низкоплавкие кальциевоалюмосиликатные фазы, которые могли бы ухудшить горячую прочность огнеупора.

Для улучшения горячей прочности огнеупора предпочтительно может быть далее предусмотрен вариант, в котором массовое отношение  $\text{CaO}$  к  $\text{SiO}_2$  в огнеупоре составляет по меньшей мере 2, особенно предпочтительно более 2. В одном из предпочтительных вариантов массовое отношение  $\text{CaO}$  к  $\text{SiO}_2$  в огнеупоре составляет от более 2 до максимум 2,8.

В одном из предпочтительных вариантов предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав, согласно которому присутствуют следующие оксиды в следующих количествах:

	$\text{MgO}$	от 92 до 97,5 масс.%,
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	от 1,5 до 7 масс.%,
25	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	менее 3 масс.%,
	$\text{CaO} + \text{SiO}_2$	от 1 до 3 масс.%. .

В еще более предпочтительном варианте предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав, согласно которому присутствуют следующие оксиды в следующих количествах:

30	$\text{MgO}$	от 92 до 96 масс.%,
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	от 1,5 до 5 масс.%,
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	менее 2 масс.%,

$\text{CaO} + \text{SiO}_2$  от 1 до 3 масс.%,

В еще более предпочтительном варианте предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав, согласно которому присутствуют следующие оксиды в следующих количествах:

5  $\text{MgO}$  от 93 до 96 масс.%,  
 $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 1,5 до 3,5 масс.%,  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  менее 1 масс.%,  
 $\text{CaO} + \text{SiO}_2$  от 1 до 3 масс.%,

10 В еще одном более предпочтительном варианте предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав, согласно которому присутствуют следующие оксиды в следующих количествах:

$\text{MgO}$  от 93,5 до 96 масс.%,  
 $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 2 до 3,5 масс.%,  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  менее 1 масс.%,  
15  $\text{CaO} + \text{SiO}_2$  от 1 до 3 масс.%,

При создании изобретения было установлено, что присутствие в предлагаемом в изобретении огнеупоре других оксидов наряду с оксидами из числа  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO} + \text{SiO}_2$  может отрицательно сказываться на упругости и горячей прочности огнеупора. В этом отношении в одном из  
20 предпочтительных вариантов предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав, согласно которому оксиды из числа  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO} + \text{SiO}_2$  присутствуют в предлагаемом в изобретении огнеупоре в суммарном количестве по массе по меньшей мере 99 масс.%, более предпочтительно по меньшей мере 99,5 масс.%,

25 Наряду с оксидами из числа  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO} + \text{SiO}_2$  предлагаемый в изобретении огнеупор может содержать и другие оксиды, которые прежде всего в виде посторонних оксидов, соответственно примесей были внесены в огнеупор с сырьевыми материалами, например такие оксиды, как  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  или  $\text{K}_2\text{O}$ .

30 В этом отношении предлагаемый в изобретении огнеупор может иметь химический состав, согласно которому в огнеупоре содержатся другие оксиды,

присутствующие в нем наряду с оксидами из числа  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  и  $CaO + SiO_2$ , в суммарном количестве по массе в пределах от 0 до 1 масс.%, более предпочтительно от 0 до 0,5 масс.%.

5 При создании изобретения было установлено, что свойства предлагаемого в изобретении огнеупора касательно его упругости, равно как и его горячей прочности могут зависеть от массового соотношения оксидов между собой.

10 Так, в частности, при создании изобретения было установлено, что свойства предлагаемого в изобретении огнеупора касательно его упругости, а также его горячей прочности можно улучшить, если предлагаемый в изобретении огнеупор имеет химический состав, согласно которому массовое отношение  $Al_2O_3$  к  $Fe_2O_3$  больше 1, предпочтительнее более 2, еще предпочтительнее более 3. В особенно предпочтительном варианте массовое соотношение между указанными оксидами, т.е. массовое отношение  $Al_2O_3$  к  $Fe_2O_3$ , составляет от 3 до 8, более предпочтительно от 4 до 8.

15 Что касается минералогического состава предлагаемого в изобретении огнеупора, то оксид  $Al_2O_3$  предпочтительно присутствует большей частью в виде магнезиальной шпинели ( $MgO \cdot Al_2O_3$ ). Помимо этого  $MgO$  предпочтительно присутствует в предлагаемом в изобретении огнеупоре большей частью в виде периклаза ( $MgO$ ) и магнезиальной шпинели  
20 ( $MgO \cdot Al_2O_3$ ).

В предпочтительном варианте предлагаемый в изобретении огнеупор имеет минералогический состав, согласно которому периклаз присутствует в количестве от 89 до 97 масс.%, а магнезиальная шпинель – в количестве от 2 до 10 масс.%. В более предпочтительном варианте предлагаемый в изобретении  
25 огнеупор имеет минералогический состав, согласно которому периклаз присутствует в количестве от 92 до 97 масс.%, а магнезиальная шпинель – в количестве от 2 до 7 масс.%, более предпочтительно периклаз присутствует в количестве от 94 до 97 масс.%, а магнезиальная шпинель – в количестве от 2 до 5 масс.%, еще более предпочтительно периклаз присутствует в количестве от 94  
30 до 96 масс.%, а магнезиальная шпинель – в количестве от 3 до 5 масс.%. В еще одном предпочтительном варианте предлагаемый в изобретении огнеупор может иметь минералогический состав, согласно которому минеральная фаза в виде

двухкальциевого силиката присутствует в количестве от 0,5 до 2 масс.%, прежде всего в сочетании с указанными выше количествами минеральных фаз в виде периклаза и магнезиальной шпинели. Приведенные выше данные о содержании соответствующих компонентов в масс.% указаны в каждом случае в пересчете на общую массу предлагаемого в изобретении огнеупора. Минералогический состав качественно определяют рентгеновской дифрактометрией в соответствии со стандартом DIN EN 13925-2:2003-07, при этом количественные доли затем вычисляют на основании определенного химического состава огнеупора.

В предпочтительном варианте предлагаемый в изобретении огнеупор содержит периклаз и магнезиальную шпинель в суммарном количестве по массе по меньшей мере 94 масс.%, более предпочтительно по меньшей мере 96 масс.%. В еще одном предпочтительном варианте предлагаемый в изобретении огнеупор содержит периклаз, магнезиальную шпинель и двухкальциевый силикат в суммарном количестве по массе по меньшей мере 95 масс.%, более предпочтительно по меньшей мере 97 масс.%. Приведенные выше данные о содержании соответствующих компонентов в масс.% указаны в каждом случае в пересчете на общую массу предлагаемого в изобретении огнеупора.

Что касается структуры предлагаемого в изобретении огнеупора, то он в предпочтительном варианте содержит покрытые зерна, как указано выше, в количестве от 5 до 24 масс.%, наряду с которыми преобладающей частью или же полностью присутствует только магнезия. В этом отношении в одном из предпочтительных вариантов осуществления изобретения предлагаемый в нем огнеупор содержит покрытые зерна в количестве от 5 до 24 масс.%, а в остальном (т.е. наряду с покрытыми зернами) содержит магнезию в количестве от 76 до 95 масс.%, в каждом случае в пересчете на общую массу предлагаемого в изобретении огнеупора. В еще более предпочтительном варианте огнеупор содержит покрытые зерна в количестве от 5 до 20 масс.%, а в остальном содержит магнезию в количестве от 80 до 95 масс.%, более предпочтительно содержит покрытые зерна в количестве от 5 до 15 масс.%, а в остальном содержит магнезию в количестве от 85 до 95 масс.%, еще более предпочтительно содержит покрытые зерна в количестве от 7 до 15 масс.%, а в остальном содержит магнезию в количестве от 85 до 93 масс.%, в каждом случае в пересчете на общую массу предлагаемого в изобретении огнеупора.

Магнезия, которая присутствует в предлагаемом в изобретении огнеупоре наряду с покрытыми зернами, представлена предпочтительно в виде спеченных зерен. Эти зерна из магнезии, которые присутствуют в огнеупоре наряду с покрытыми зернами, не имеют соответствующего изобретению покрытия и ниже  
5 обозначаются также как "непокрытые зерна из магнезии". Размер непокрытых зерен из магнезии в предлагаемом в изобретении огнеупоре составляет предпочтительно менее 8 мм, особенно предпочтительно менее 5 мм, и был определен в соответствии со стандартом DIN EN ISO 13383-1:2016-11.

При создании изобретения было установлено, что покрытые зерна  
10 проявляют особо эффективное повышающее упругость действие в огнеупоре (показателем чего является низкий модуль упругости) в том случае, когда непокрытые зерна из магнезии по меньшей мере частично присутствуют с размером, который лежит в интервале размера покрытых зерен. В этом отношении в одном из предпочтительных вариантов непокрытые зерна из  
15 магнезии присутствуют в количестве по меньшей мере 5 масс.% с размером по меньшей мере 2 мм. В еще более предпочтительном варианте по меньшей мере 5 масс.% непокрытых зерен из магнезии присутствуют с размером по меньшей мере 3 мм. В еще более предпочтительном варианте от 5 до 20 масс.% непокрытых зерен из магнезии присутствуют с размером в пределах от 3 до 5  
20 мм, а от 80 до 95 масс.% непокрытых зерен из магнезии присутствуют с размером менее 3 мм. Приведенные выше данные о содержании соответствующих компонентов в масс.% указаны в каждом случае в пересчете на общую массу непокрытых зерен из магнезии. Размер зерен определяли в соответствии со стандартом DIN EN ISO 13383-1:2016-11.

25 Структура предлагаемого в изобретении огнеупора тем самым предпочтительно характеризуется наличием матрицы (основы) из спеченных зерен из магнезии и внедренных в эту матрицу предлагаемых в изобретении покрытых зерен.

Предлагаемый в изобретении огнеупор предпочтительно представлен в  
30 виде обожженного керамического огнеупора, особенно предпочтительно в виде формованного обожженного керамического огнеупора.

Как известно, "керамический" огнеупор отличается тем, что он имеет структуру из спеченных между собой зерен. Структура предлагаемого в

изобретении огнеупора предпочтительно образована спеченными между собой зернами в виде зерен из магнезии, а также покрытых зерен.

5 Говоря о предлагаемом в изобретении огнеупоре в виде "обожженного" огнеупора, под этим, как известно, подразумевают то, что предлагаемый в изобретении огнеупор получен путем обжига, при этом компоненты, соответственно сырьевые материалы шихты подвергнуты обжигу таким образом, что они спеклись между собой и таким путем образовали предлагаемый в изобретении керамический огнеупор.

10 "Формованный" обожженный керамический огнеупор отличается, как известно, тем, что он перед его обжигом на керамику был подвергнут формованию, т.е. шихте путем формования была придана определенная геометрическая форма, например форма кирпича или иного фасонного изделия. В этом отношении формованные обожженные керамические огнеупоры отличаются от неформованных обожженных огнеупоров, при этом последние  
15 были получены на основе неформованного керамического огнеупорного материала, т.е. так называемой "массы".

Благодаря предлагаемому в изобретении решению возможно получение огнеупора с исключительными физическими свойствами, прежде всего касательно его упругости и горячей прочности.

20 Показателем исключительных упругих свойств предлагаемого в изобретении огнеупора служит низкий модуль упругости. В одном из предпочтительных вариантов предлагаемый в изобретении огнеупор имеет динамический модуль упругости менее 40 ГПа, особенно предпочтительно менее 30 ГПа. Динамический модуль упругости определяли в соответствии со  
25 стандартом DIN EN ISO 12680-1: 2007-05.

Показателем хорошей горячей прочности предлагаемого в изобретении огнеупора является крайне высокая температура  $T_{0,5}$  для сопротивления размягчению при нагреве под давлением. Так, в частности, температура  $T_{0,5}$  для сопротивления размягчению при нагреве под давлением у предлагаемого в  
30 изобретении огнеупора составляет предпочтительно свыше 1700°C. Температуру  $T_{0,5}$  для сопротивления размягчению при нагреве под давлением определяли в соответствии со стандартом DIN EN ISO 1893:2008-09.

При создании изобретения было установлено, что химический состав огнеупора, а также покрытые зерна в нем крайне положительно сказываются на его прочности. Так, в частности, предлагаемый в изобретении огнеупор может отличаться очень хорошей прочностью на сжатие при комнатной температуре и  
5 очень хорошей прочностью на изгиб при комнатной температуре.

Прочность предлагаемого в изобретении огнеупора на сжатие при комнатной температуре может составлять прежде всего по меньшей мере 70 МПа по результатам ее определения в соответствии со стандартом DIN EN 993-5: 1998-12.

10 Прочность предлагаемого в изобретении огнеупора на изгиб при комнатной температуре может составлять прежде всего по меньшей мере 4 МПа по результатам ее определения в соответствии со стандартом DIN EN 993-6: 1995-04.

Предлагаемые в изобретении огнеупоры особенно предпочтительно находят применение для футеровки, соответственно внутренней обмуровки цементных вращающихся трубчатых печей, т.е. вращающихся трубчатых печей для обжига цементных клинкеров.

15 Объектом изобретения в соответствии с этим является также применение предлагаемого в изобретении огнеупора для футеровки цементных вращающихся трубчатых печей. Объектом изобретения является далее цементная вращающаяся трубчатая печь, которая по меньшей мере частично футерована, соответственно обмурована предлагаемыми в изобретении огнеупорами.

20 Объектом изобретения является далее шихта для получения предлагаемого в изобретении огнеупора, содержащая следующие компоненты:

- первый сырьевой компонент, состоящий из зерен из магнезии,
  - второй сырьевой компонент, состоящий из покрытых зерен, которые имеют размер по меньшей мере 2 мм и которые состоят из магнезии, поверхность которой по меньшей мере частями имеет покрытие из оксида алюминия.
- 30

Первый сырьевой компонент, который содержит предлагаемая в изобретении шихта, состоит из зерен из магнезии. Первый сырьевой компонент состоит предпочтительно из зерен из магнезии по меньшей мере одного из следующих типов: периклаза или плавленной магнезии. В особенно



предпочтительном варианте первый сырьевой компонент состоит из зерен из периклаза.

В одном из предпочтительных вариантов зерна из магнезии, из которых состоит первый сырьевой компонент, имеют размер менее 8 мм, предпочтительнее менее 5 мм, еще более предпочтительно от более 0 до 5 мм. Размер зерен из магнезии определяли в соответствии со стандартом DIN 66165-2:2016-08.

Второй сырьевой компонент предлагаемой в изобретении шихты состоит из покрытых зерен, которые имеют размер по меньшей мере 2 мм и которые состоят из магнезии, поверхность которой по меньшей мере частями имеет покрытие из оксида алюминия.

Оксидом алюминия согласно общепринятой номенклатуре называют сырьевой материал на основе глинозема, соответственно  $Al_2O_3$ . В одном из предпочтительных вариантов покрытые зерна состоят из периклаза, поверхность которого по меньшей мере частями имеет покрытие из оксида алюминия.

Покрытые зерна, входящие в состав предлагаемой в изобретении шихты, имеют предпочтительно размер, который соответствует размеру покрытых зерен у предлагаемого в изобретении огнеупора. В этом отношении покрытые зерна, входящие в состав предлагаемой в изобретении шихты, имеют, как указано выше, размер по меньшей мере 2 мм, более предпочтительно размер в пределах от 2 до 5 мм, еще более предпочтительно от 3 до 5 мм. Размер покрытых зерен определяли в соответствии со стандартом DIN 66165-2:2016-08.

Первый сырьевой компонент и второй сырьевой компонент подобраны таким образом, что шихта в результате обжига образует предлагаемый в изобретении огнеупор. В этом отношении массовая доля и химический состав первого сырьевого компонента и второго сырьевого компонента в предлагаемой в изобретении шихте подобраны таким образом, что шихта после обжига образует предлагаемый в изобретении огнеупор.

Тем самым в отношении химического состава предлагаемой в изобретении шихты, соответственно, справедливо сказанное выше в отношении химического состава предлагаемого в изобретении огнеупора.

Для возможности получения покрытых зерен, входящих в состав предлагаемой в изобретении шихты, можно зерна из магнезии, прежде всего

зерна из периклаза, покрывать оксидом алюминия. В предпочтительном варианте зерна из магнезии можно покрывать оксидом алюминия в смесителе или в грануляционном устройстве, например тарельчатом грануляторе. В предпочтительном варианте оксид алюминия при нанесении покрытия

5 представлен в виде порошка, при этом для лучшего сцепления оксида алюминия с поверхностью зерен из магнезии оксид алюминия может быть затворен некоторым количеством вяжущих, например органическим вяжущим (например, поливиниловым спиртом) или же водой. В предпочтительном варианте зерна из магнезии покрывают оксидом алюминия в виде кальцинированного глинозема, в

10 соответствии с чем в особенно предпочтительном варианте покрытые зерна присутствуют в предлагаемой в изобретении шихте в виде зерен из периклаза, поверхность которых по меньшей мере частями имеет покрытие из кальцинированного глинозема. Зерна из магнезии могут в предпочтительном варианте иметь покрытие из оксида алюминия толщиной от 10 до 500 мкм. Для

15 нанесения покрытия из оксида алюминия на зерна из магнезии с подобной толщиной зерна из магнезии и оксид алюминия перемешивают между собой до тех пор, пока оксид алюминия не образует на магнезии покрытие с такой толщиной.

Массовая доля первого сырьевого компонента в шихте может в

20 предпочтительном варианте соответствовать массовой доле магнезии, которая присутствует в предлагаемом в изобретении огнеупоре наряду с покрытыми зернами. Помимо этого второй сырьевой компонент может в предпочтительном варианте соответствовать массовой доле покрытых зерен в предлагаемом в изобретении огнеупоре. В одном из предпочтительных вариантов предлагаемая в

25 изобретении шихта содержит первый сырьевой компонент в массовой доле от 76 до 95 масс.%, а второй сырьевой компонент – в массовой доле от 5 до 24 масс.%, предпочтительнее содержит первый сырьевой компонент в массовой доле от 80 до 95 масс.%, а второй сырьевой компонент – в массовой доле от 5 до 20 масс.%, более предпочтительно содержит первый сырьевой компонент в массовой доле

30 от 85 до 95 масс.%, а второй сырьевой компонент – в массовой доле от 5 до 15 масс.%, еще более предпочтительно содержит первый сырьевой компонент в массовой доле 85 до 93 масс.%, а второй сырьевой компонент – в массовой доле от 7 до 15 масс.%, в каждом случае в пересчете на общую массу предлагаемой в изобретении шихты.

Путем обжига предлагаемой в изобретении шихты возможно получение предлагаемого в изобретении огнеупора. При этом покрытие из оксида алюминия образует *in situ* в процессе обжига с магнезией покрытых зерен и отчасти также с магнезией первого сырьевого компонента магнезиальную шпинель. Такая образовавшаяся *in situ* в процессе обжига магнезиальная шпинель образует покрытие из нее на покрытых зернах предлагаемого в изобретении огнеупора. Помимо этого в процессе обжига зерна первого и второго сырьевых компонентов, входящих в состав предлагаемой в изобретении шихты, спекаются между собой, образуя после обжига предлагаемый в изобретении огнеупор в виде обожженного керамического огнеупора.

Объектом изобретения является также способ получения предлагаемого в изобретении огнеупора, заключающийся в выполнении следующих стадий:

- подготавливают предлагаемую в изобретении шихту,
- шихту подвергают переработке формованием с получением формованного необожженного огнеупора,
- формованный необожженный огнеупор подвергают обжигу с получением формованного обожженного керамического огнеупора.

Шихту, подготавливаемую для осуществления предлагаемого в изобретении способа, в предпочтительном варианте можно перед ее переработкой формованием смешивать, прежде всего в смесителе, например, в смесителе с мешалкой Эриха.

Шихту, подготавливаемую для осуществления предлагаемого в изобретении способа, в предпочтительном варианте можно снабжать вяжущим, предпочтительно в процессе ее смешения. В качестве такого вяжущего можно в предпочтительном варианте использовать обычное, известное из уровня техники вяжущее для керамических огнеупорных шихт, предпочтительно временное вяжущее, например, органическое вяжущее, прежде всего, например, лигносульфонат. Вяжущее можно добавлять в необходимых количествах, прежде всего в таких количествах, при которых шихта, прежде всего в процессе ее смешения, имеет влажную рассыпчатую (комковатую) консистенцию. Вяжущее, прежде всего, например, временное вяжущее, можно добавлять, например, в количествах от 1 до 3% в пересчете на общую массу шихты без вяжущего.

Для переработки шихты формованием ее, при необходимости после ее смешения, можно прежде всего подвергать прессованию. После переработки

шихты формованием получают формованный необожженный огнеупор, т.е. так называемую неспеченную заготовку или сырец.

Формованный необожженный огнеупор можно перед обжигом при необходимости еще подвергать сушке, например, в сушильной печи.

5 Формованный необожженный огнеупор можно подвергать сушке, например, при температурах в пределах от 100 до 300°C.

Формованный необожженный огнеупор, при необходимости подвергнутый сушке, затем подвергают обжигу. При этом формованный необожженный огнеупор подвергают обжигу при таких температурах, что после обжига  
10 получают формованный обожженный керамический огнеупор. В результате обжига компоненты шихты спекаются между собой с образованием обожженного огнеупора в виде керамического огнеупора, т.е. в виде спеченного огнеупора.

В предпочтительном варианте предусмотрено подвергать формованный  
15 необожженный огнеупор обжигу при температурах в пределах от 1500 до 1700°C, особенно предпочтительно от 1550 до 1650°C.

Обжиг в предпочтительном варианте можно проводить в течение 4-8 ч при указанных выше температурах.

Другие отличительные особенности изобретения следуют из формулы  
20 изобретения.

Все отличительные особенности изобретения можно по отдельности или в их сочетании произвольно комбинировать между собой.

Ниже более подробно описаны примеры осуществления изобретения, при этом приведенные в них результаты измерения физических величин, а также  
25 результаты химического и минералогического анализов получали в соответствии с указанными выше стандартами.

#### Первый пример

В соответствии с первым примером сначала приготавливали шихту, которая содержала первый сырьевой компонент из зерен из периклаза и второй сырьевой  
30 компонент из покрытых зерен, которые представляли собой покрытые кальцинированным глиноземом зерна из периклаза. В пересчете на общую массу шихты первый сырьевой компонент содержался в ней в количестве 85 масс.%, а второй сырьевой компонент – в количестве 15 масс.%.

Зерна из периклаза в качестве первого сырьевого компонента имели размер в пределах от более 0 до 5 мм при следующем распределении по размерам в пересчете на общую массу шихты:

	от 3 до 5 мм	9 масс.%
5	от 1 до менее 3 мм	27 масс.%
	от 0,1 до менее 1 мм	21 масс.%
	от более 0 до менее 0,1 мм	28 масс.%

Периклаз первого сырьевого компонента имел следующий химический состав в пересчете на общую массу магнезии первого сырьевого компонента:

10	MgO	98,50 масс.%
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06 масс.%
	CaO	0,72 масс.%
	SiO <sub>2</sub>	0,14 масс.%
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,52 масс.%
15	прочие	0,06 масс.%

Покрытые зерна второго сырьевого компонента имели размер в пределах от 3 до 5 мм. Магнезия покрытых зерен второго сырьевого компонента была образована периклазом, из которого состояли также зерна первого сырьевого компонента, и поэтому периклаз покрытых зерен второго сырьевого компонента имел тот же химический состав, что и периклаз зерен первого сырьевого компонента.

Кальцинированный глинозем, которым была покрыта магнезия покрытых зерен второго сырьевого компонента, имел химический состав с содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> свыше 99 масс.% в пересчете на общую массу этого кальцинированного глинозема.

Покрытые зерна второго сырьевого компонента получали путем смешения зерен из периклаза с порошком кальцинированного глинозема в тарельчатом грануляторе. При этом массовое отношение периклаза к кальцинированному глинозему составляло 4:1, и поэтому покрытые зерна второго сырьевого компонента также содержали магнезию в массовой доле 80 масс.% и кальцинированный глинозем в массовой доле 20 масс.% в пересчете на общую массу этих покрытых зерен. К смеси из периклаза и кальцинированного глинозема в тарельчатом грануляторе добавляли вяжущее в виде

поливинилового спирта в массовой доле 1,5 масс.% в пересчете на общую массу периклаза и кальцинированного глинозема без поливинилового спирта с целью улучшить сцепление кальцинированного глинозема с периклазом.

5 Для осуществления предлагаемого в изобретении способа шихту из описанного выше примера смешивали в смесителе с мешалкой Эриха при добавлении лигносульфоната в количестве 3 масс.% в пересчете на общую массу шихты без лигносульфоната.

Из полученной смеси затем путем прессования формовали формованный необожженный огнеупор, так называемую неспеченную заготовку.

10 Этот формованный необожженный огнеупор затем обжигали в печи при 1590°C в течение 6 ч. После охлаждения получили соответствующий одному из вариантов осуществления изобретения предлагаемый в нем огнеупор в виде обожженного керамического огнеупора.

15 Полученный в данном примере обожженный огнеупор имел химический состав, согласно которому присутствовали следующие оксиды в следующих количествах:

MgO	94,30 масс.%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,44 масс.%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,58 масс.%
20 CaO	0,99 масс.%
SiO <sub>2</sub>	0,42 масс.%
MnO	0,10 масс.%
потери при прокаливании	0,17 масс.%

25 Такой огнеупор имел структуру из спеченных между собой зерен в виде зерен из магнезии, а также покрытых зерен, которые имели размер в пределах от 3 до 5 мм и состояли из магнезии, поверхность которой имела покрытие из магнезиальной шпинели.

Массовая доля зерен из магнезии составляла 85 масс.%, а покрытых зерен – 15 масс.%, в каждом случае в пересчете на общую массу огнеупора.

30 Покрытие из магнезиальной шпинели имело толщину приблизительно 230 мкм.

По результатам анализа минералогического состава огнеупора он содержал периклаз в количестве от 94 до 95 масс.%, магнезиальную шпинель в количестве

от 4 до 5 масс.% и двухкальциевый силикат в количестве от 0,5 до 1,5 масс.%, в каждом случае в пересчете на общую массу огнеупора. Магнезиальная шпинель присутствовала в виде стехиометрической магнезиальной шпинели.

Огнеупор имел следующие физические показатели:

5	динамический модуль упругости	26,6 ГПа
	температура $T_{0,5}$ для сопротивления размягчению при нагреве под давлением	более 1700°C
	прочность на сжатие при комнатной температуре	84 МПа
	прочность на изгиб при комнатной температуре	6,4 МПа

10 Второй пример

Второй пример в основном соответствовал первому примеру за исключением следующих отличий.

15 В пересчете на общую массу шихты первый сырьевой компонент содержался в количестве 90 масс.%, а второй сырьевой компонент – в количестве 10 масс.%.

Зерна из периклаза в качестве первого сырьевого компонента имели размер в пределах от более 0 до 5 мм при следующем распределении по размерам в пересчете на общую массу шихты:

	от 3 до 5 мм	10 масс.%
20	от 1 до менее 3 мм	29 масс.%
	от 0,1 до менее 1 мм	22 масс.%
	от более 0 до менее 0,1 мм	29 масс.%

25 Массовое отношение периклаза к кальцинированному глинозему у покрытых зерен составляло 7:3, и поэтому покрытые зерна второго сырьевого компонента содержали магнезию в массовой доле 70 масс.% и кальцинированный глинозем в массовой доле 30 масс.% в пересчете на общую массу этих покрытых зерен.

30 Полученный во втором примере обожженный огнеупор имел химический состав, согласно которому присутствовали следующие оксиды в следующих количествах:

	MgO	94,00 масс.%
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,90 масс.%
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,39 масс.%
	CaO	1,86 масс.%

SiO <sub>2</sub>	0,69 масс.%
MnO	0,03 масс.%
потери при прокаливании	0,13 масс.%

5 Массовая доля зерен из магнезии в огнеупоре составляла 90 масс.%, а покрытых зерен – 10 масс.%, в каждом случае в пересчете на общую массу огнеупора.

Покрывание из магнезиальной шпинели имело толщину приблизительно 380 мкм.

10 По результатам анализа минералогического состава огнеупора он содержал периклаз в количестве от 94 до 95 масс.%, магнезиальную шпинель в количестве от 3,5 до 4,5 масс.% и двухкальциевый силикат в количестве от 1 до 2 масс.%, в каждом случае в пересчете на общую массу огнеупора. Магнезиальная шпинель присутствовала в виде стехиометрической магнезиальной шпинели.

Огнеупор имел следующие физические показатели:

15 динамический модуль упругости	27,9 ГПа
температура T <sub>0,5</sub> для сопротивления размягчению при нагреве под давлением	более 1700°С
прочность на сжатие при комнатной температуре	72 МПа
прочность на изгиб при комнатной температуре	4,6 МПа

20 Первый сравнительный пример

В сравнительных целях получали огнеупор, который не соответствовал примеру по изобретению.

25 Полученный в первом сравнительном примере огнеупор получали в соответствии со вторым примером, но с тем единственным отличием, что покрытые зерна второго сырьевого компонента шихты имели размер в пределах от 0,5 до 1 мм.

Полученный в первом сравнительном примере обожженный огнеупор имел химический состав, согласно которому присутствовали следующие оксиды в следующих количествах:

30 MgO	93,90 масс.%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,03 масс.%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,33 масс.%
CaO	1,82 масс.%



SiO <sub>2</sub>	0,69 масс.%
MnO	0,03 масс.%
потери при прокаливании	0,20 масс.%

Такой огнеупор имел структуру из спеченных между собой зерен в виде  
5 зерен из магнезии, а также покрытых зерен, которые имели размер в пределах от 0,5 до 1 мм и состояли из магнезии, поверхность которой имела покрытие из магнезиальной шпинели.

Покрытие из магнезиальной шпинели имело толщину приблизительно 80  
мкм.

10 Огнеупор имел следующие физические показатели:

динамический модуль упругости	69,3 ГПа
температура T <sub>0,5</sub> для сопротивления размягчению при нагреве под давлением	более 1700°C
прочность на сжатие при комнатной температуре	96 МПа
15 прочность на изгиб при комнатной температуре	12,8 МПа

Второй сравнительный пример

В сравнительных целях получали еще один огнеупор, который не соответствовал примеру по изобретению.

Полученный в этом втором сравнительном примере огнеупор получали в  
20 соответствии со вторым примером, но с тем единственным отличием, что первый сырьевой компонент содержался в количестве 95 масс.%, а второй сырьевой компонент – в количестве лишь 5 масс.%, в каждом случае в пересчете на общую массу шихты.

Полученный во втором сравнительном примере обожженный огнеупор  
25 имел химический состав, согласно которому присутствовали следующие оксиды в следующих количествах:

MgO	95,30 масс.%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,43 масс.%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,39 масс.%
30 CaO	1,93 масс.%
SiO <sub>2</sub>	0,71 масс.%
MnO	0,03 масс.%
потери при прокаливании	0,21 масс.%

Покрытие из магнезиальной шпинели имело толщину приблизительно 130 мкм.

Огнеупор имел следующие физические показатели:

	динамический модуль упругости	48,8 ГПа
5	температура $T_{0,5}$ для сопротивления размягчению при нагреве под давлением	более 1700°C
	прочность на сжатие при комнатной температуре	73 МПа
	прочность на изгиб при комнатной температуре	6,2 МПа

Обсуждение результатов экспериментов

10 Каждый из огнеупоров, полученных в соответствии с первым и вторым примерами осуществления изобретения, обладал крайне высокой упругостью структуры, показателем чего служит крайне низкий модуль упругости, составлявший у каждого из этих огнеупоров менее 30 ГПа, а именно 26,6 ГПа, соответственно 27,9 ГПа. Одновременно эти огнеупоры обладали хорошими  
15 показателями сопротивления размягчению при нагреве под давлением, прочности на сжатие при комнатной температуре и прочности на изгиб при комнатной температуре.

Полученный в соответствии с первым сравнительным примером огнеупор имел химический состав, который соответствовал химическому составу  
20 предлагаемого в изобретении огнеупора. Однако размер покрытых зерен, который составлял от 0,5 до 1 мм, был меньше размера покрытых зерен у предлагаемого в изобретении огнеупора. Огнеупор из первого сравнительного примера обладал по сравнению с огнеупорами из первого и второго примеров осуществления изобретения явно худшей упругостью структуры, о чем  
25 свидетельствовал высокий модуль упругости, равный 69,3 ГПа.

Полученный в соответствии со вторым сравнительным примером огнеупор имел размер покрытых зерен, который соответствовал размеру покрытых зерен у предлагаемого в изобретении огнеупора. Однако (по причине малой доли покрытых зерен в огнеупоре) доля  $Al_2O_3$  согласно химическому составу данного  
30 огнеупора была ниже доли  $Al_2O_3$  у предлагаемого в изобретении огнеупора. Огнеупор из второго сравнительного примера обладал по сравнению с огнеупорами из первого и второго примеров осуществления изобретения явно худшей упругостью структуры, о чем свидетельствовал высокий модуль упругости, равный 48,8 ГПа.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Огнеупор, имеющий химический состав, согласно которому присутствуют следующие оксиды в следующих количествах:

- 5        MgO                по меньшей мере 92 масс.%,  
          Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>              от 1,5 до 7 масс.%,  
          Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>            менее 3 масс.%,  
          CaO + SiO<sub>2</sub>      от 1 до 3 масс.%,

10        и содержащий покрытые зерна, которые имеют размер по меньшей мере 2 мм и которые состоят из магнезии, поверхность которой по меньшей мере частями имеет покрытие из магнезиальной шпинели.

15        2. Огнеупор по п. 1, который имеет химический состав с долей MgO в пределах от 92 до 96 масс.%.

3. Огнеупор по меньшей мере по одному из предыдущих пунктов, который имеет химический состав с долей Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в пределах от 2 до 3,5 масс.%.

20        4. Огнеупор по меньшей мере по одному из предыдущих пунктов, который имеет химический состав с долей Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> менее 1 масс.%.

5. Огнеупор по меньшей мере по одному из предыдущих пунктов, который имеет динамический модуль упругости менее 40 ГПа.

25        6. Огнеупор по меньшей мере по одному из предыдущих пунктов, который имеет температуру T<sub>0,5</sub> для сопротивления размягчению при нагреве под давлением свыше 1700°C.

30        7. Огнеупор по меньшей мере по одному из предыдущих пунктов, у которого покрытие из магнезиальной шпинели имеет толщину в пределах от 10 до 500 мкм.

8. Огнеупор по меньшей мере по одному из предыдущих пунктов, у которого покрытые зерна имеют размер в пределах от 3 до 5 мм.

5 9. Огнеупор по меньшей мере по одному из предыдущих пунктов, который содержит покрытые зерна в количестве от 5 до 24 масс.%.

10 10. Огнеупор по меньшей мере по одному из предыдущих пунктов, который содержит покрытые зерна в количестве от 5 до 24 масс.%, а в остальном содержит магнезию в количестве от 76 до 95 масс.%.

11. Огнеупор по меньшей мере по одному из предыдущих пунктов в виде формованного обожженного керамического огнеупора.

15 12. Шихта для получения огнеупора по меньшей мере по одному из предыдущих пунктов, содержащая следующие компоненты:  
– первый сырьевой компонент, состоящий из зерен из магнезии,  
– второй сырьевой компонент, состоящий из покрытых зерен, которые имеют размер по меньшей мере 2 мм и которые состоят из магнезии, поверхность которой по меньшей мере частями имеет покрытие из оксида алюминия.

20

13. Шихта по п. 12, в которой покрытые зерна имеют размер в пределах от 3 до 5 мм.

25 14. Способ получения огнеупора по п. 11, заключающийся в выполнении следующих стадий:  
– подготавливают шихту по меньшей мере по п. 12 или 13,  
– шихту подвергают переработке формованием с получением формованного необожженного огнеупора,  
30 – формованный необожженный огнеупор подвергают обжигу с получением формованного обожженного керамического огнеупора.

15. Применение огнеупора по меньшей мере по одному из пп. 1-11 для футеровки цементных вращающихся трубчатых печей.