

## **ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ И ОГНЕУПОРНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, РАЗРАБОТАННЫЕ В ОАО «БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ».**

*© Сакулин В.Я., канд. техн. наук Мигаль В.П., Маргишвили А.П., Скурихин В.В., Клопова Н.Н. (ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров»)*

### **ВВЕДЕНИЕ.**

Развитие экономики России выдвигает ряд научно-технических задач, решение которых предполагает радикальное снижение энергетических и тепловых потерь, материалоемкости продукции, рациональное и эффективное использование всех видов ресурсов. Поданным института «Теплопроект», сегодня, на выпуск товарной продукции, в среднем, расходуется: в Западной Европе – 0,5 кг условного топлива на 1 доллар продукции, в США – 0,8, в России – 1,4 [1]. Производство и рациональное использование эффективных высокотемпературных теплоизоляционных материалов (далее – ВТИМ) позволяет обеспечить: снижение материалоемкости конструкций тепловых агрегатов, сократив массу печей в 9-11 раз, и непроизводительные теплотери в окружающую среду, снизить общий расход топлива в печах непрерывного действия в 10-15 раз, а в печах периодического действия – на 45 % и более [2]. Потребность в эффективных современных ВТИМ особенно остро определилась при развитии ковшевой металлургии, переводе футеровки сталеразливочных ковшей на периклазоуглеродистые, а промежуточных – на основные огнеупоры, теплопроводность которых в 2-6 раз больше ранее применявшихся, в результате чего, для осуществления металлургических операций, приходится перегревать расплав стали на 50-100 °С [3].

Применяемые в промышленности способы придания материалам пористой структуры [4-10]: введение выгорающих добавок, пенообразование, химическое порообразование, не всегда могут обеспечить требуемого сочетания свойств: высокой прочности при низкой плотности и теплопроводности ( $\lambda=0,2\div0,6$  Вт/(м·К),  $\gamma=0,25\div1,2$  г/см<sup>3</sup>,  $\sigma_{сж.}=2\div6$  МПа). Не оправдались излишне оптимистические ожидания, возлагаемые на волокнистые теплоизоляционные материалы [2,11-17], которые при низкой плотности и теплопроводности ( $\gamma=260\div400$  кг/м<sup>3</sup>,  $\lambda=0,15\div0,30$  Вт/(м·К)) имеют низкую прочность, склонность к кристаллизации при высокой температуре, неустойчивы при термоциклировании.

Все это обусловило развитие исследований, проводимых исследовательским центром ОАО «БКО», по созданию новых высокотемпературных и огнеупорных теплоизоляционных материалов.

### **ЦЕНТР СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОИЗВОДСТВА - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ОАО «БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ»**

В декабре 2001 года исследовательский отдел ЦЗЛ был выделен в отдельное исследовательское подразделение ОАО «БКО» - Центр совершенствования технологий и производства (ЦСТиП). Создание ЦСТиП было вызвано объективной необходимостью обновления ассортимента выпускаемой продукции, присущего каждому развивающемуся предприятию в условиях рыночной конкуренции. Опыт последнего десятилетия показал, что, в силу ряда причин, специализированные отраслевые институты не смогли обеспечить огнеупорные предприятия своими новыми конкурентоспособными разработками, поэтому практически прекратили своё существование [18].

Практическая ценность этого инженерного подразделения, так называемой «заводской» науки, состоит в том, что здесь решаются сугубо прикладные задачи для нашего предприятия, не отвлекаясь на теоретические и фундаментальные исследования. Структура Центра, отражающая основные направления его деятельности, а также перечень испытаний огнеупорных материалов, проводимых как для определения основных физико-химических свойств, так и для исследовательских работ отражены на рисунке 1.

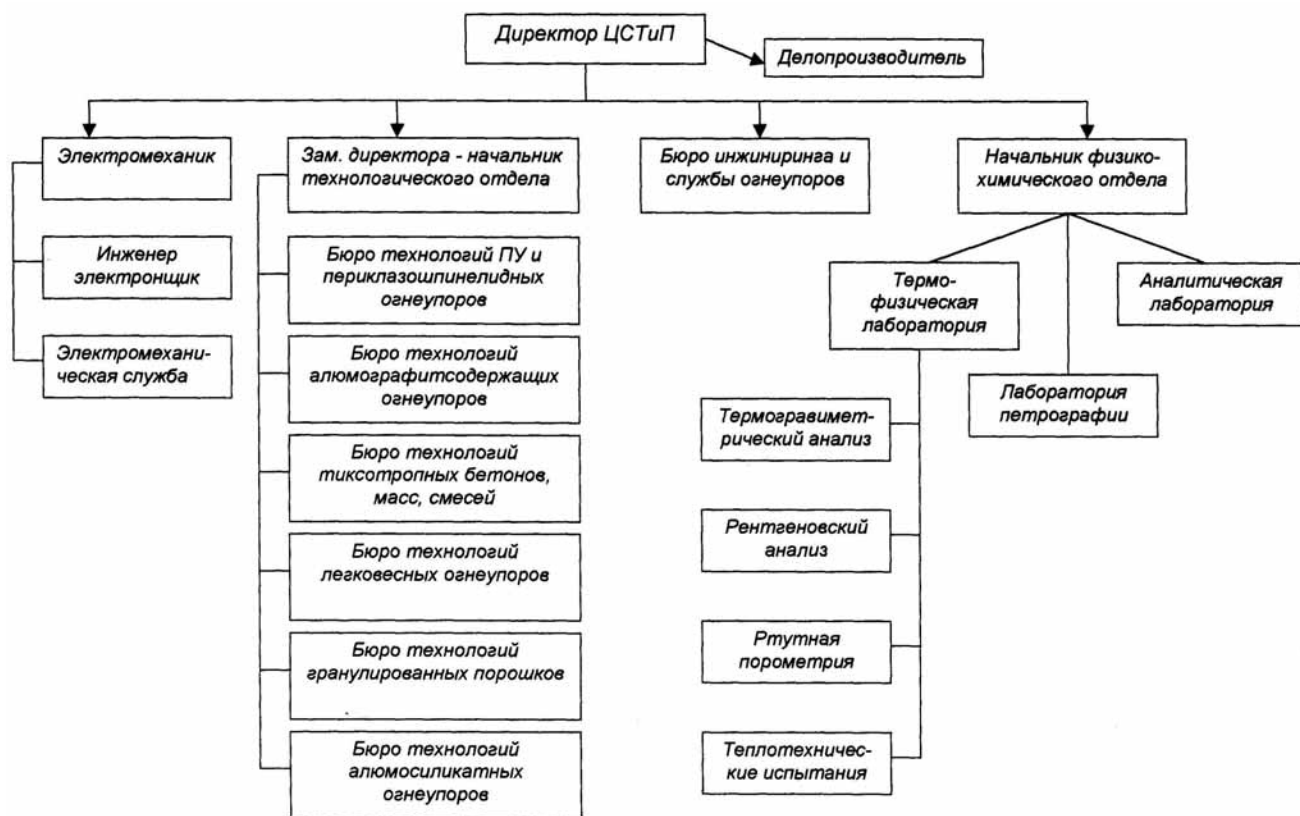


Рис. 1. Структура Центра совершенствования технологий и производства.

В своем выступлении я остановлюсь на результатах некоторых наиболее значительных разработок по созданию новых высокотемпературных и огнеупорных теплоизоляционных материалов, выполненных ЦСТиП в последнее время.

#### ОБЩИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕГКОВЕСНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОЗДАНЫХ В ОАО «БКО».

Не смотря на различия применяемых исходных сырьевых материалов и технологических приемов при изготовлении, легковесные теплоизоляционные материалы, созданные в исследовательском центре ОАО «БКО» имеют общие особенности, отличающие их, среди которых:

- Это твердые непластичные и неэластичные высокопористые материалы,
- Отсутствие стекловолоконистых материалов в свободном и связанном виде обеспечивает их высокую экологичность при применении,
- Термостабильность, объемопостоянство за счет отсутствия фазовых превращений во всем интервале рабочих температур,
- Мелкодисперсная непрерывная огнеупорная матрица обеспечивает изделиям высокую прочность при низкой кажущейся плотности,
- Низкая теплопроводность, как следствие высокой пористости.

#### ОГНЕУПОРНЫЕ ЛЕГКОВЕСНЫЕ ИЗДЕЛИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫГОРАЮЩИХ ДОБАВОК

Метод использования выгорающих добавок для создания пористых материалов является одним из самых изученных и распространенных. Этим методом получены шамотные легковесные изделия ШЛ-1,3 с кажущейся плотностью  $1,3 \text{ г/см}^3$ . В зависимости от вида выгорающей добавки изделия выпускаются как с физико-химическими и термо-механическими показателями, соответствующими ГОСТ 5040-96, так и превышающими его.

При использовании в качестве выгорающей добавки литейного кокса фракции 3-0 мм и древесных опилок получены изделия с кажущейся плотностью и пределом прочности в пределах требований ГОСТ 5040-96 (таблица 1).

Таблица 1.

Показатели свойств изделий марки ШЛ-1,3 с использованием коксика и опилок.

№№ пп	Наименование показателя	Требования ГОСТ 5040- 96 для марки ШЛ-1,3	Фактические значения для марки ШЛ-1,3	Фактические значения для марки ШЛ-1,3
1.	Вид выгорающей добавки		коксик	опилки
2.	Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	Не более 1,3	1,22	1,27
3.	Предел прочности при сжатии, МПа	Не менее 3,5	5,2	4,1
4.	Доп. усадка, %, при обжиге при температуре 1300 °С	Не более 1,0	0,0	0,2
5.	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К) при температуре 320 ± 25 °С 650 ± 25 °С	Не более 0,6 Не более 0,7	0,44 0,48	0,40 0,42

В 1994 году для замены импортных легковесных огнеупорных изделий особосложного фасона в печах металлизации окатышей Оскольского электрометаллургического комбината специалистами ЦЗЛ ОАО «БКО» была разработана и запатентована технология производства шамотных огнеупорных легковесных изделий марки ШЛ-1,3 пластического способа формования с применением в качестве выгорающей добавки вспененного полистирола [19]. Использование вспененного полистирола позволило, за счет оптимизации структуры изделий и применения специальных добавок оптимизировать структуру изделия, на основе чего были получены термомеханические и теплоизоляционные свойства изделий значительно превосходящие требования ГОСТ 5040-96 (таблица 2). Изделия с такой прочностью используются уже и в несущих конструкциях печей.

Таблица 2.

Показатели свойств изделий марки ШЛ-1,3 с использованием вспененного полистирола.

№№ пп	Наименование показателя	Требования ГОСТ 5040-96 для марки ШЛ-1,3	Фактические значения для марки ШЛ-1,3
1.	Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	Не более 1,3	1,24
2.	Предел прочности при сжатии, МПа	Не менее 3,5	10,2
3.	Доп. усадка, %, при обжиге при температуре 1300 °С	Не более 1,0	0,1
4.	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К) при температуре 320 ± 25 °С 650 ± 25 °С	Не более 0,6 Не более 0,7	0,34 0,48

## ШАМОТНЫЙ ПЕНОЛЕГКОВЕС

Пенометод при производстве огнеупорных легковесных изделий является наиболее трудоемким и сложным, но он позволяет получать изделия различного состава с низкой кажущейся плотностью. Определяющими в этом методе являются [20]:

- Выбор пенообразователя, позволяющего получить мелкоячеистую пену с устойчивостью не менее 4 часов,
- Тонкое измельчение огнеупорного заполнителя для получения устойчивой пеномассы,
- Использование пористого заполнителя для улучшения структуры изделий и снижения воздушной и огневой усадки пеномассы.

Применяя дисперсные огнеупорные различного химико-минерального состава, а также варьируя содержание пенообразователя и пористого заполнителя, можно получать огнеупорные изделия различные как по составу, так и по плотности. Разрабатывая это направление, мы прошли пока только первую часть пути, получив возможность производства шамотных легковесных изделий с задаваемой кажущейся плотностью. Характеристики полученных пеношамотных легковесных изделий различной кажущейся плотности приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Показатели свойств пеношамотных изделий различной кажущейся плотности.

№№ пп	Наименование показателя	ШЛ-0,4	ШЛ-0,6	ШЛ-0,8
1.	Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	0,36	0,54	0,77
2.	Предел прочности при сжатии, МПа	2,1	2,8	10,3
3.	Доп. усадка, %, при обжиге при температуре	0,1 при 1150 °С	0,5 при 1150 °С	0,3 при 1300 °С
4.	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К), при температуре			
	320 ± 25 °С	0,16	0,22	0,28
	650 ± 25 °С	0,19	0,28	0,35

### КОРУНДОВЫЙ ЛЕГКОВЕС

Корундовый легковес был получен путем сочетания методов выгорающей добавки и химического порообразования. Вспененный полистирол выполняет роль выгорающей добавки и образует макорпоры, микропоры образуются при разложении карбоната кальция, добавляемого в шихту, образующийся при этом оксид кальция служит спекающей добавкой. Свойства корундовых легковесных изделий марки КЛ-1,3 приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Показатели свойств корундовых легковесных изделий марки КЛ-1,1.

№№ пп	Наименование показателя	Требования ГОСТ 5040-96 для марки КЛ-1,1	Фактические значения для марки КЛ-1,1
1.	Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	Не более 1,1	0,85-0,87
2.	Предел прочности при сжатии, МПа	Не менее 2,5	2,8-3,6
3.	Доп. усадка, %, при обжиге при температуре 1550 °С	Не более 1,0	0,5

### ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВЕРМИКУЛИТА.

Одним из широко применяемых в промышленности способов придания материалам пористой структуры является введение пористого заполнителя. Вспученный вермикулит обладает рядом уникальных свойств: малой насыпной плотностью (80-120 кг/м<sup>3</sup>), низкой теплопроводностью (0,04-0,12 Вт/(м×К)), сравнительно высокой температурой плавления (1240-1430 °С), он

химически инертен, долговечен, экологически безопасен [21], что характеризует его как перспективный материал для использования в качестве пористого заполнителя при изготовлении высокотемпературных теплоизоляционных материалов. Теплоизоляционные материалы на основе вермикулита имеют огнеупорность ниже 1580 °С, поэтому они не относятся к огнеупорным, но так как температура их эксплуатации превышает 1000 °С, то это высокотемпературные материалы.

Вермикулитовые теплоизоляционные изделия на глинистом связующем состоят из вспученного вермикулита (пористый заполнитель), огнеупорной глины, возможно, с добавками (связка), непластичного огнеупорного материала – шамота, пыли от электрофильтров и т.п. (огнеупорный заполнитель). Путем варьирования содержания компонентов, а также вещественного состава связки и огнеупорного наполнителя, применительно к условиям огнеупорного производства ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров», были получены высокотемпературные теплоизоляционные материалы, названные интегрированными высокотемпературными теплоизоляционными материалами, сокращенно – ИТОМ [22,23]. Каждый из ингредиентов ИТОМ выполняет индивидуальную функцию в теплоизоляционной композиции: дисперсные огнеупорные заполнители, совместно с пластичным минеральным связующим (огнеупорная глина, каолин), образуют после обжига огнеупорную матрицу, придают повышенную механическую прочность и огнеупорные свойства материалу, вспученный вермикулит формирует высокие теплозащитные свойства и термостойкость.

Надежность, долговечность и эффективность работы тепловых агрегатов зависит от физико-механических и высокотемпературных свойств материалов, применяемых в теплоизоляции. Для определения технических показателей свойств интегрированных теплоизоляционных высокотемпературных материалов были изготовлены изделия с различной кажущейся плотностью, которые подвергли тестовым испытаниям. Полученные результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Основные технические показатели свойств разработанных теплоизоляционных изделий.

№ п/п	Наименование показателя	Значения показателей для изделий марки				Метод определения или наименование прибора
		ИТОМ-440	ИТОМ-620	ИТОМ-860	ИТОМ-1000	
1.	Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	420-500	600-640	850-900	1000-1100	ГОСТ 24468-80
2.	Предел прочности при сжатии, Н/мм <sup>2</sup>	0,9-1,0	1,0-1,4	1,4-1,7	2,0-2,4	ГОСТ 4070.2-97
3.	Пористость открытая, %	80-82	75-78	65-68	62-65	ГОСТ 2409-95
4.	Остаточные изменения размеров при нагреве, %					
	Усадка, выдержка 2 часа при 1150 °С	1,4-1,5	1,2-1,4	1,1-1,3	1,0-1,2	ГОСТ 5402.2-2000
	Усадка, выдержка 8 часов при 900 °С	0,2	Данных не имеется			
5.	Температура начала размягчения, °С					ГОСТ 4070-2000
	Под нагрузкой 0,05 Н/мм <sup>2</sup>	1109	1119	1135	1140	
	Под нагрузкой 0,04 Н/мм <sup>2</sup>	1120	-	-	-	
	Под нагрузкой 0,06 Н/мм <sup>2</sup>	-	1118	-	-	
	Под нагрузкой 0,08	-	-	1117	-	

	Н/мм <sup>2</sup>					
	Под нагрузкой 0,1 Н/мм <sup>2</sup>	-	-	-	1108	
6.	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К)					ГОСТ 12170-85
	При средней температуре 200 °С	0,090	0,120	0,183	0,230	
	При средней температуре 380 °С	0,120	0,139	0,194	0,250	
7.	Термостойкость, теплосмен (1000 °С-воздух)	> 100	> 100	> 100	> 100	ГОСТ 4071.2-94

При сушке и обжиге сырца ИТОМ наблюдается равномерная усадка изделий по всем направлениям, что позволяет получить изделия точных размеров и формы, в том числе большемерные, без необходимости послеобжиговой механической обработки (рис. 2). Воздушная усадка изделий возрастает (от 1,2 до 3,5 %) с увеличением содержания глинистой составляющей в составе материала (от 40 до 50 %). Огневая усадка изделий с различной кажущейся плотностью находится в очень узком интервале – 1,8-2,3 %.

Разработанные вермикулитовые теплоизоляционные изделия, при низкой кажущейся плотности, имеют высокую, для теплоизоляционных материалов, прочность ( $\sigma_{сж} = 0,9-2,4$  Н/мм<sup>2</sup> при  $\rho_{каж} = 400-1000$  кг/м<sup>3</sup>), облегчающую их транспортировку, монтаж и работу в тепловых агрегатах. При сопоставимой, с известными высокотемпературными теплоизоляционными материалами, кажущейся плотности, ИТОМ обладают существенно более низкой теплопроводностью: коэффициент теплопроводности, при температуре 200 °С, для изделий с кажущейся плотностью от 400 до 1000 кг/м<sup>3</sup> находится в пределах 0,09-0,23 Вт/(м×К), для изделий из волокнистых теплоизоляционных материалов коэффициент теплопроводности находится в пределах 0,12-0,15 Вт/(м×К), диатомитовых изделий – 0,2-0,3 Вт/(м×К), шамотного ультралегковеса ( $\rho_{каж} = 400$  кг/м<sup>3</sup>) – 0,18-0,22 Вт/(м×К).



Рис. 2. Интегрированные высокотемпературные теплоизоляционные материалы – внешний вид изделий.

Зависимость теплопроводности от кажущейся плотности изделий может быть выражена следующим образом (рис. 3):

при средней температуре 200 °С

$$\lambda(\rho) = \lambda_{400} + 0,000292 \cdot \rho,$$

при средней температуре 380 °С

$$\lambda(\rho) = \lambda_{400} + 0,000217 \cdot \rho,$$

где  $\lambda(\rho)$  - теплопроводность изделий с кажущейся плотностью  $\rho$  кг/м<sup>3</sup>,

$\lambda_{400}$  - теплопроводность изделий с кажущейся плотностью 400 кг/м<sup>3</sup>.

С возрастанием температуры влияние кажущейся пористости материала на теплопроводность ИТОМ уменьшается, что обусловлено ростом радиационной составляющей в теплопереносе. Такая зависимость характерна для большинства пористых тел.

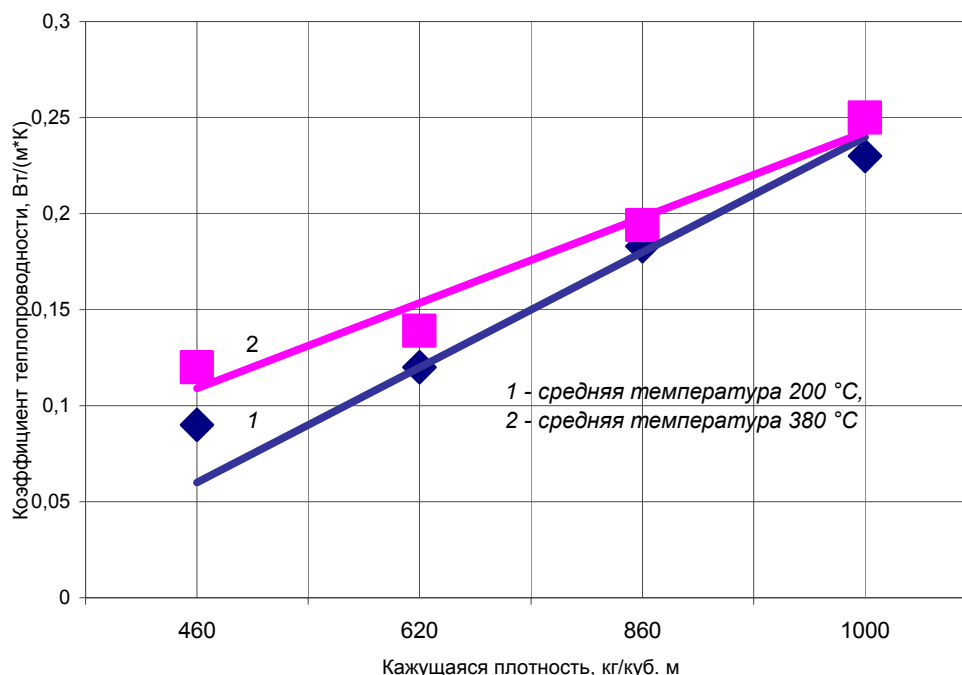


Рис.3. Зависимость теплопроводности от кажущейся плотности ИТОМ.

Огнеупорная матрица интегрированных высокотемпературных теплоизоляционных материалов, состоящая из каолина и дисперсного шамота, обеспечивает обожженным изделиям объемопостоянство при последующих нагревах и высокую температуру начала размягчения. Эти показатели определяют предельную температуру службы высокотемпературных теплоизоляционных материалов.

Температура начала размягчения по ГОСТ 4070-2000 определяется под нагрузкой 0,2 Н/мм<sup>2</sup>. Такая нагрузка может возникать в нижних рядах кладки тепловых агрегатов, выполненной из плотных огнеупорных материалов (с плотностью более 2,0 г/см<sup>3</sup>). В то же время нагрузка даже в нижних рядах кладки теплоизоляции, из-за низкой плотности изделий, значительно ниже. Международным стандартом ИСО 1893-89, для определения температуры начала размягчения легковесных теплоизоляционных материалов рекомендована нагрузка 0,05 Н/мм<sup>2</sup>. Для исследования теплоизоляционных материалов, в последнее время, принята нагрузка, по аналогии со средней кажущейся плотности материала (например, при кажущейся плотности 400 кг/ м<sup>3</sup> нагрузка должна быть 0,04 Н/мм<sup>2</sup>) [24]. Поэтому температуру начала размягчения для каждого материала определяли дважды: под нагрузкой 0,05 Н/мм<sup>2</sup> и под нагрузкой, аналогичной его средней кажущейся плотности. Полученные значения температуры начала размягчения,

для изделий различной плотности, находятся в пределах 1108-1140 °С, различаются между собой в пределах погрешности метода.

Мерой объемопостоянства при высокой температуре является дополнительная линейная усадка после повторного обжига при температуре 1150 °С и выдержке 2 часа при этой температуре. Значения дополнительной линейной усадки разработанных материалов не превышают 1,5 %. Хотя в ГОСТ 5040-96 предельное значение дополнительной линейной усадки установлено 1,0 %, учитывая специфику работы теплоизоляционных материалов, данные по объемопостоянству, полученные при испытании ИТОМ, можно признать вполне удовлетворительными.

Таким образом, на основании данных определений температуры начала размягчения и дополнительной линейной усадки, температура 1100 °С является предельной для использования разработанных интегрированных высокотемпературных теплоизоляционных материалов.

Высокая пористость теплоизоляционных материалов обуславливает их важнейшие теплофизические и термомеханические свойства, такие как кажущаяся плотность, теплопроводность, прочность. Определяющее значение на свойства оказывают вид пористости, строение пор, их распределение по размерам. Определение поровой структуры производилось методом ртутной порометрии на порозиметрах высокого давления PASCAL-140 и PASCAL-240 при максимальном давлении 400 МПа (рис. 4).

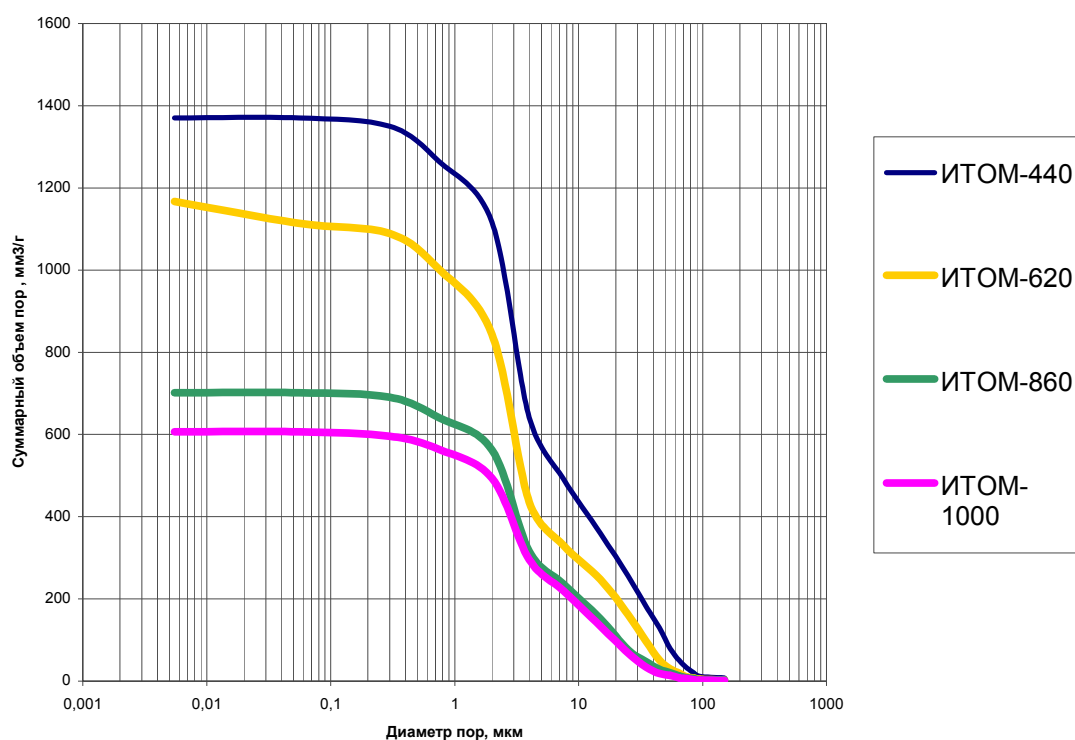


Рис. 4. Распределение пор по размерам в изделиях ИТОМ различной кажущейся плотности.

С ростом кажущейся плотности материала от 440 до 1000 кг/м<sup>3</sup> объем пор уменьшается с 1370 до 606 мм<sup>3</sup>/г, в 2,2 раза, т.е. объем пор уменьшается пропорционально увеличению кажущейся плотности. При этом, распределение пор по размерам практически не изменяется. В изделиях преобладают поры размерами от 0,5 до 10 мкм, они занимают от 65 до 70 % объема всех пор. Объем, занимаемый микропорами размерами менее 0,1 мкм и макропорами размерами более 100 мкм незначительный.

Мелкопористая структура интегрированных теплоизоляционных высокотемпературных материалов обеспечивает им, при низкой кажущейся плотности, высокую прочность и теплоизолирующую способность в области высоких температур, термостойкость. Определение термической стойкости производили на образцах в форме куба с ребром 50 мм. Регламентируемая

ГОСТ 4071.2-94 процедура охлаждения образцов в проточной воде, после нагрева до 1000 °С, не подходит для интегрированных высокотемпературных теплоизоляционных материалов из-за их высокого водопоглощения. Поэтому, при проведении испытаний, изделия, после нагрева в электрической печи до 1000 °С, охлаждали на воздухе.

Не зависимо от состава, изделия показали высокую термостойкость. После 100 тепло-смен 1000 °С – воздух испытания были остановлены, образцы не разрушились, лишь на отдельных изделиях появились трещины.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследовательским центром ОАО «БКО» разработана технология производства целого ряда огнеупорных и высокотемпературных теплоизоляционных материалов, различных по своим функциональным характеристикам, способных выполнять роль не только теплоизоляции, но и работать в несущих конструкциях печей, рабочем слое кладки печей.

Для внедрения в производство всех этих разработок на уровне руководства комбината утверждена и в течение 2004 года будет реализована программа по созданию опытно-промышленных (пилотных) установок по производству всех упомянутых теплоизоляционных изделий. По результатам использования этих изделий у потребителей и формирования структуры спроса пилотные проекты будут реализованы в промышленные поточные линии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. *Овчаренко Е.Г.* Производство утеплителей в России // Веб-сайт акционерного общества открытого типа «Инжиниринговая компания по теплотехническому строительству «ТЕПЛО-ПРОЕКТ»: <http://www.cnt.ru/users/thermo-tp/teploproekt/links/insulation.htm>.
2. *Ковылов В.М., Лебедев Ю.Н.* Производство теплоизоляционных волокнистых материалов // Новые огнеупоры. – 2002. – № 1. – с. 73-77.
3. *Суворов С.А.* Современные проблемы производства огнеупорных материалов для металлургической промышленности // Новые огнеупоры. – 2002. - № 3. – с. 38-45.
4. *Гузман И.Я.* Высокоогнеупорная пористая керамика. – М.: Металлургия, 1971, 208 с.
5. *Соков В.Н.* О потенциальных возможностях способа выгорающих добавок при производстве теплоизоляционных огнеупоров // Огнеупоры. – 1994. - № 7. – с. 17-25.
6. *Соков В.Н., Соков В.В., Шелковкина Н.В., Науменко В.А., Талакуев Н.П.* Теплоизоляционные легковесные изделия на основе отходов производства кварцевых огнеупоров// Новые огнеупоры. – 2002. – № 3, с. 38-45.
7. Foam ceramics process development // Ceram. Ind. Int. – 1996. – 106, № 1118. – p. 2.
8. Schaumkeramik – ein Product mit Zukunft // K+R: Klima und Raum. – 1996. – 64, № 6. – с.8.
9. *Белецкая В.А., Дроганов Е.А., Шаповалова Л.Н. Поляков А.Н.* Теплоизоляционный материал на основе алюмосиликатной суспензии // Междунар. Конф. «Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций». Научн. чтения, посвящ. 25-летию Белгор. гос. Технол. акад. строит. матер., Белгород, 26-29 сентября 1995 : Тез. докл. 4.1. – Белгород, 1995. – с. 170-171.
10. *Черепанов Б.С.* Физико-химические процессы в технологии пенокерамики // Техн. и технол. силикатов. – 1994. 1, № 2. с. 37-39.
11. Silica blanket shields against hight temperatures / Portik Robert // Chem. Eng. (USA), - 1990.-97, № 3. – p. 155.
12. Nuevo fieltro de fibra ceramica // Tech. ceram. – 1990. № 189. – p. 739.
13. *Дергануцкая Л.А., Серова Л.В.* Влияние различных видов связующих на свойства теплоизоляционных изделий из глиноземистых волокон // Огнеупоры. – 1990. - № 12. – с.8-11.
14. *Мартыненко В.В., Дергануцкая Л.А.* Эффективные теплоизоляционные легковесные и волокнистые огнеупоры // Огнеупоры. – 1993. - № 6. – с.19-21.
15. *Белякова Н.П.* и др. Теплоизоляционные волокнистые материалы из природного и техногенного алюмосиликатного сырья // Огнеупоры. – 1993, № 6. – с. 22-25.

16. Carborundum develops a new speciality fibre insulation products // World Ceram. and Refract. – 1994. – 5, № 6. – p.10.
17. *Кривенко П.В., Бродько О.А., Мохорт Н.А.* Теплоизоляционные огнеупорные материалы на основе муллитокремнеземистого волокна и алюмосиликатного связующего // Будівництво України. – 1996. - № 6. – с. 31-34.
18. Пат. 2083528 Россия. МПК<sup>6</sup> C04 B33/22. Легковесный огнеупор и способ его производства / *Красницкая Л.А., Цветков А.Е., Приндик Н.А., Мигаль В.П.* // Бюллетень. 1997. – № 19.
19. *В. Я. Сакулин* В ногу со временем // Новые огнеупоры. – 2002. – № 2. – С. 6 – 13.
20. Высокотемпературная пористая керамика. *Гузман Р.Я.* Изд-во «Металлургия», 1971, с. 27-42.
21. Производство и применение вермикулита / Под ред. Н.А. Попова. – М.: Стройиздат, 1964. – с.62-74.
22. *Суворов С.А., Скурихин В.В.* Оптимизация пластичных свойств связующих глин с использованием симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента / Огнеупоры и техническая керамика. – 2002. - № 10. – с. 36-42.
23. *Суворов С.А., Скурихин В.В.* Высокотемпературные теплоизоляционные материалы на основе вермикулита / Огнеупоры и техническая керамика. – 2002. - № 12. – с. 39-44.
24. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов/Учебное пособие для вузов. 2-е изд., пераб. и доп. *Стрелов К.К., Кащеев И.Д.* – М.: Металлургия, 1996. – с.14-16.
25. *Спирина В.Я., Ахтямов Р.Я.* Керамовермикулитовые изделия для футеровки тепловых агрегатов в промышленности строительных материалов: Аналит. Обзор. – М: ВНИИЭСМ. – 1991. – с. 31-33.