

**С.М. Смагулова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г. Алматы, Казахстан,  
saulesha02.11@mail.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

**Аннотация.** В данной работе проводилось модифицирование смеси из механо-химически обработанных порошков диоксида кремния и карбоната кальция. Активация и модифицирование поверхности частиц шихтовой смеси обеспечивают высокие теплоизоляционные свойства СВС-композитов на основе кварца, кальцита и волластонита. В результате проведенных экспериментов на основе разработанных шихтовых смесей синтезированы покрытия на керамической и металлической поверхности с теплопроводностью до 0,028Вт/мК. Полученные значения характеризуют синтезированный материал, как хороший теплоизолятор, который обеспечивает малые потери тепла от нагретой поверхности, сопоставимые с показателями при использовании в качестве теплоизолятора.

**Аңдатпа.** Осы жұмыста механика-химиялық әдіспен өңделген кремний оксиді мен кальций карбонаты ұнтақтарынан тұратын қоспаны модификациялау жүргізілді. Шихталық қоспа бөлшектерінің бетін белсендіру мен модификациялау әдістері кварц, кальцит және волластонит негізіндегі ӨТС-композиттердің жоғары жылу өткізбеушілік қасиеттерін қамтамасыз етеді. Алынған шихталық қоспалар негізіндегі жасалған ғылыми тәжірибелер нәтижесінде керамикалық және метал бетінде 0,028Вт/мК-ге дейін жылуөткізгіштігі бар жабындылар синтезделген. Алынған көрсеткіштерге сүйене отырып, біз осы синтезделген материалды жақсы жылу оқшаулағыш ретінде қолдана аламыз. Себебі осы материя арқасында қыздырылған беттен жылуды аз мөлшерде ғана жоғалтады.

**Abstract.** In this paper carried out the modification of the mixture of mechano-chemically treated silica powder and calcium carbonate. Activation and modification of the surface of the particles the feedstock mixture provide high thermal insulation properties of SHS-composites based on quartz, calcite and wollastonite. As a result of the experiments conducted on the basis of the developed charge mixtures synthesized coating on the surface of the ceramic and metal with a thermal conductivity up 0,028Vt / mK. The obtained values characterize the synthesized material as a good thermal insulator, which provides low loss of heat from the heated surface, with comparable performance when used as a heat insulator.

**Ключевые слова:** керамические материалы, композит, огнеупорные материалы, теплоизоляторы.

**Түйінді сөздер:** керамикалық материалдар, композит, жылуға төзімді материалдар, жылытқыш.

**Keywords:** ceramic materials, composite, refractory materials, thermal insulation.

Одна из важных задач, которая принимается во внимание при сооружении различных строительных объектов как гражданского, так и промышленного назначения – это энергосбережение, путем сокращения потерь тепла в зданиях, промышленном оборудовании и тепловых сетях. Решается эта задача применением высокоэффективных теплоизоляционных изделий. Существует большое разнообразие теплоизоляционных материалов, которые классифицируются по характеру используемого сырья, форме и внешнему виду, структуре, плотности, жесткости и теплопроводности [1]. Для изготовления теплоизоляторов используют органическое, неорганическое и смешанное сырье. Это могут быть волокнистые (минераловатные, стекло-волокнистые), зернистые (перлитовые, вермикулитовые), ячеистые (ячеистый пенобетон, пеностекло) и

керамические материалы широкого спектра фазового состава и структурных параметров. Для индустриализации различных строительных работ все большее применение находят жесткие крупноразмерные теплоизоляционные изделия, особенно для изоляции тепловых агрегатов, технологической аппаратуры и трубопроводов. Эффективность и сфера использования теплоизоляционных изделий (материалов) определяется их техническими характеристиками, включающими: теплопроводность, плотность, прочность, сжимаемость, водопоглощение, паропроницаемость, огнеупорность, морозостойкость, биостойкость и отсутствие токсичных выделений при эксплуатации.

Огнеупорные теплоизоляторы – это керамические материалы с температурой эксплуатации выше 1500 °С. К ним относятся шамотные, полукислые, каолиновые, высокоглиноземистые и дианасовые изделия, а также хромитовые, муллитокремнеземистые и муллитокорундовые. Плотность их не превышает 1,4 г/см<sup>3</sup>. Такие теплоизоляционные изделия применяют в рабочей (незащищенной) футеровке печей, не подвергающейся действию расплавов, истирающих усилий и механических ударов, или в промежуточной (защищенной) изоляции [2]. Теплоизоляционные огнеупорные материалы с плотностью менее 1г/см<sup>3</sup> - это легковесные теплоизоляторы. Производство их осуществляется тремя способами: использованием выгорающих добавок, применением пенообразующих веществ и химическим введением в массу из смеси глины с шамотом добавок, взаимодействующих между собой с выделением газообразных продуктов. Производство легковесных огнеупоров способом выгорающих добавок является наиболее простым и распространенным. В качестве выгорающих добавок в шихту вводят древесные опилки, лигнин, антрацит или другие малозольные горючие вещества. Состав шихты для изготовления легковесных шамотных огнеупоров по методу выгорающих добавок следующий: древесных опилок 30—45%, шамота 20—30% и пластичной связующей глины 35—40%. Шихту тщательно обрабатывают на бегунах и увлажняют до 25—30%. Переработанную и увлажненную на бегунах массу пропускают через ленточный пресс и укладывают в хранилище для вылеживания, которое продолжается не менее двух дней. После этого масса подвергается вторичной переработке в ленточном прессе с мундштуком, обеспечивающим получение сырца необходимой формы, который затем допрессовывают на специальных прессах. Сушка сырца в туннельных сушилах продолжается около 30—40 ч при температуре 100—120° С. Обжиг сырца производят в периодических или туннельных печах при температуре 1430—1450° С.

При изготовлении огнеупорной теплоизоляционной керамики с ячеистой структурой обычно используют высокодисперсные минеральные порошки (например, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, ZrO<sub>2</sub>) и жидкую пену [3]. При сушке образовавшейся пеномассы жидкая фаза испаряется и образуется «твёрдая» пена, которая затем подвергается обжигу (для упрочнения). Средняя плотность такой пенокерамики зависит от пористости, например у материала на основе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; с пористостью 30% она равна 1200 кг/м<sup>3</sup>, а с пористостью 85% - 600 кг/м<sup>3</sup>. Коэффициент теплопроводности базовых конструкций из таких материалов составляет 0,03-0,05 Вт/(м·К).

К категории огнеупорных легких материалов, используемых в качестве теплоизоляции различных тепловых агрегатов, относятся материалы, основными компонентами смесей которых являются легковесные пористые заполнители определенного зернового состава, с содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 15 до 99% и гидравлическое вяжущее [3]. В качестве примера в таблице 1 приведены свойства таких легковесов, в зависимости от вариации состава и условий подготовки.

Таблица 1 – Свойства огнеупорных легковесов

Химический состав, %	Плот-	Предел прочности	Темпе-	Тепло-
----------------------	-------	------------------	--------	--------

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	плотность после обжига при 800°С, г/см <sup>3</sup>	прочность при сжатии, Н/мм <sup>2</sup>		температура применения, °С	коэффициент теплопроводности при средней температуре 500°С Вт/м·К
						Через 3 сут., после формирования	После обжига при 800°С		
9-20	40-60	<10	<30	-	1,2	7-15	6-10	1100	0,2
9-20	40-60	<10	<30	-	0,6	1-3	1-2	1100	0,16
9-20	40-60	<10	<30	-	0,7	2-5	1,5-3	1100	0,17
9-20	40-60	<10	<30	-	0,8	3-7	2-4	1100	0,18
9-20	40-60	<10	<30	-	1,0	10-16	5-8	1100	0,22
9-20	40-60	<10	<30	-	1,1	17-22	8-12	1100	0,25
40-60	30-45	<3	8-13	0,1-0,5	1,4	20-25	8-15	1350	0,35
70-75	0,2-0,5	<0,3	5-7	20-22	1,45	12-15	7-10	1550	0,85
94-97	0,1-0,2	<0,2	5-7	0,1-0,15	1,5	15-20	8-10	1600	0,8

Кроме теплопроводности и огнеупорности, важным показателем для огнеупорных теплоизоляторов является прочность, которая при низкой плотности (т.е. высокой пористости) существенно понижается. Прочность определяется, как способность материалов оказывать сопротивление разрушительным действиям внешних сил, которые вызывают внутренние напряжения в материале и деформацию. Это свойство теплоизоляционных материалов имеет зависимость от структуры, прочности остова (твердой составляющей) и пористости материала. Если материал обладает структурой с крупными неравномерными порами, то он менее прочен, чем материал с мелкими порами. Кроме того, долговечность конструкции зависит и от химической стойкости покрытия теплоизоляционного материала (данный фактор следует особенно тщательно учитывать при выборе материалов для утепления покрытий производственных сооружений). Повышению прочности способствует вариация фазового состава материала, например введение карбида кремния.

Заметное повышение этой характеристики у теплоизоляционных материалов отмечено при использовании для получения теплоизоляторов волластонита CaSiO<sub>3</sub>. Керамические материалы, в состав которых входит волластонит, обладают низкой теплопроводностью при достаточной механической прочности, а также несмачиваемостью в расплавах некоторых цветных металлов, что делает их идеальными для экономичного производства литья и транспортирования цветных металлов, например алюминия [8]. Они отличаются также низкой усадкой при обжиге. В частности волластонит вводят в монокремнеземистые конструкционные материалы, которые являются композитами, сочетающими в себе кварцевый наполнитель с различной гранулометрией, и вяжущее, состоящее также, в основном, из SiO<sub>2</sub> и некоторого количества щелочных соединений, выполняющих роль минерализаторов. Такой материал обладает теплостойкостью (до 1000 °С), удельной плотностью до 200-400 кг/м<sup>3</sup> и коэффициентом теплопроводности в диапазоне 0,08-0,11 Вт/м·К. Огнестойкость материала повышается при введении в его состав волластонита [4]. Кроме того, кристаллы волластонита имеют игольчатую форму с плоскостями, образующими вокруг себя ассоциаты, составляющие матрицу основного состава, поэтому подвижность их друг относительно друга снижается. Это приводит к резкому уменьшению процессов усадки при сушке и эксплуатации. По этой же причине применение волластонита в составах, используемых для огнезащитных конструкций и кабелей, позволяет избежать отслаивания этих покрытий при высоких температурах из-за резкого снижения степени их усадки и растрескивания.

Для определения теплопроводности синтезируемых образцов использовалась эмпирическая формула, полученная [5] для расчета толщины теплоизоляции горячих поверхностей, согласно нормам проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования электростанций.

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из}(t_T - t_n)}{\alpha_n(t_T - t_0)} \quad (1)$$

где:  $\lambda$ - коэффициент теплопроводности (Вт/мК),  $t_T$  – температура теплоносителя,  $t_n$  – температура холодной поверхности,  $t_н$  – температура комнаты,  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,  $\delta$  – толщина изоляции (м).

Для керамических материалов  $\alpha = 12,6$  [5]. Расчетная формула получена из условия равенства величины теплового потока, определяемого через теплопроводность изоляционного слоя и через теплообмен поверхности изоляции и окружающего воздуха.

Значения теплопроводности СВС-образцов объемом 21,1 и 49 см<sup>3</sup>, полученные на основе активированного и модифицированного кварца, представлены на рисунке 62.

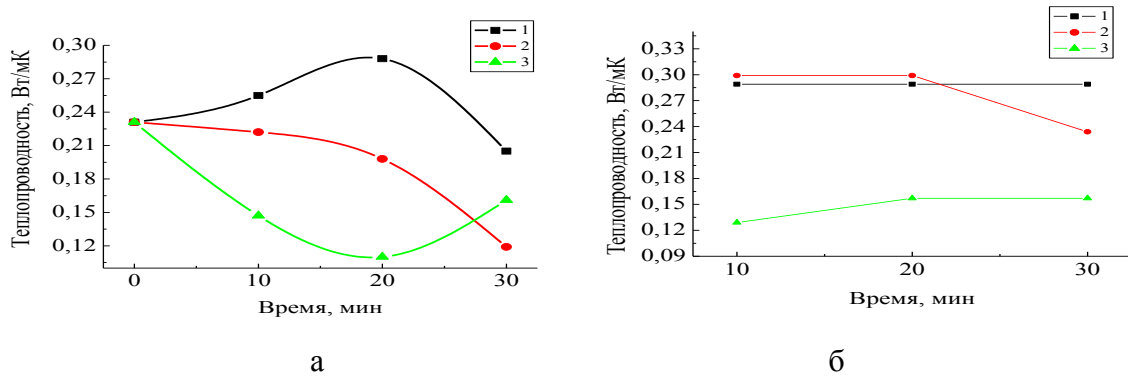


Рисунок 1 – Изменение теплопроводности СВС-образцов объемом 21,1 (а) и 49 см<sup>3</sup> (б) от времени МХО шихты, полученные на основе систем:

[SiO<sub>2</sub>+5% волластонит] (1), [(SiO<sub>2</sub>+5% C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>4</sub>)+5%волластонит<sub>исх</sub>] (2), [(SiO<sub>2</sub>+5%(C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>ОН)<sub>п</sub>+5%волластонит<sub>исх</sub>] (3)

Во-первых, на образцах меньшего объема сильнее проявляется зависимость от режимов МХО шихтового материала. Во – вторых, с увеличением размера образца более стабильными становятся значения теплопроводности для каждой из исследуемых систем. При модифицировании шихты поливиниловым спиртом значения теплопроводности образца устойчиво снижаются до 0,15 – 0,12 Вт/мК.

Для более сложных систем, содержащих кварц и кальцит, зависимость от условий модифицирования и масштабного фактора проявляется сильнее как в изменении плотности, так и теплопроводности СВС-образцов (таблица 2). Значения теплопроводности изменяются в пределах от 0,31 до 0,091 Вт/мК.

Таблица 2 - Результаты измерения плотности ( $\rho$ ) и теплопроводности ( $\lambda$ ) СВС-образцов различного размера, синтезированных на основе модифицированной в течение 20 минут шихтовой смеси (кварц+кальцит) в планетарно-центробежных мельницах с различным  $g$

Система	$g$ , см/сек <sup>2</sup>	$d/h$ , мм/мм (Vсм <sup>3</sup> )	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/мК
[(70%SiO <sub>2</sub> +30%CaCO <sub>3</sub> )+5%B*+ 5%Я.К**] <sub>МХО</sub> +5%B <sub>исх</sub> .	20	20/20(6,3)	2134	0,198
		30/30(21,1)	1863	0,189

		50/25(49)	1679	0,140
		50/50 (91)	1771	0,16
[(70%SiO <sub>2</sub> +30%CaCO <sub>3</sub> )+5%В+5%Я.К] <sub>МХО</sub> +5%В <sub>ИСХ</sub> .+5%Н.С***	20	20/20 (6,3)	2143	0,309
		30/30(21,1)	1881	0,275
		50/25(49)	1702	0,200
		50/50 (91)	1600	0,281
[(50%SiO <sub>2</sub> +50%CaCO <sub>3</sub> )+5%В+5%Я.К] <sub>МХО</sub> +5%В <sub>ИСХ</sub>	20	20/20(6,3)	2012	0,180
		30/30(21,1)	1667	0,155
		50/25(49)	1598	0,197
		50/50(91)	1440	0,129
[(50%SiO <sub>2</sub> +50%CaCO <sub>3</sub> )+5%В.+5%Я.К] <sub>МХО</sub> +5%В <sub>ИСХ</sub> +5%Н.С <sub>ИСХ</sub>	20	30/30(21,1)	1633	0,091
		50/50(91)	1625	0,192
[(70%SiO <sub>2</sub> +30%CaCO <sub>3</sub> )+5%В+5%Я.К] <sub>МХО</sub> +5%В <sub>ИСХ</sub>	40	30/30(21,1)	2311	0,152
		50/25(49)	1781	0,133
[(50%SiO <sub>2</sub> +50%CaCO <sub>3</sub> )+5%В+5%Я.К] <sub>МХО</sub> +5%В <sub>ИСХ</sub>	40	30/30(21,1)	1727	0,097
		50/25(49)	1699	0,060
[(70%SiO <sub>2</sub> +30%CaCO <sub>3</sub> )+5%В+5%ПВС] <sub>МХО</sub> +5%В <sub>ИСХ</sub>	40	30/30(21,1)	1582	0,113
		50/25(49)	1464	0,153
[(50%SiO <sub>2</sub> +50%CaCO <sub>3</sub> )+5%В+5%ПВС***] <sub>МХО</sub> +5%В <sub>ИСХ</sub>	40	30/30(21,1)	1521	0,141
		50/25(49)	1394	0,186

\*В – волластонит, \*\*ЯК-янтарная кислота, \*\*\*НС-нашатырный спирт, \*\*\*\*ПВС-поливиниловый спирт

Зависимость  $\lambda$  от масштаба (размера) образцов не линейная. Минимальные значения теплопроводности показали образцы объемом 21,1 и 49 см<sup>3</sup>, в зависимости от условий модифицирования. Добавки нашатырного спирта, увеличивая пористость, снижают теплопроводность СВС-образцов. Эффективность в снижении теплопроводности показала обработка шихты на мельнице с более высоким значением ускорения (40g). Для системы, содержащей 50%CaCO<sub>3</sub>, волластонит в активированном и исходном состоянии, а также модифицированной янтарной кислотой, образцы показали снижение теплопроводности до 0,06Вт/мК.

Таким образом, вариацией состава шихты, условий ее механохимической обработки, подбором модификаторов и размеров синтезируемого изделия можно в режиме СВС получить объект с высокими теплофизическими свойствами. Так, проводя синтез покрытия на металлической подложке из шихтового материала состава №6, согласно таблице 2, разной толщины и со связующим железосодержащим слоем толщиной 1-2мм, были получены образцы с хорошими теплоизоляционными свойствами (рисунок 2).

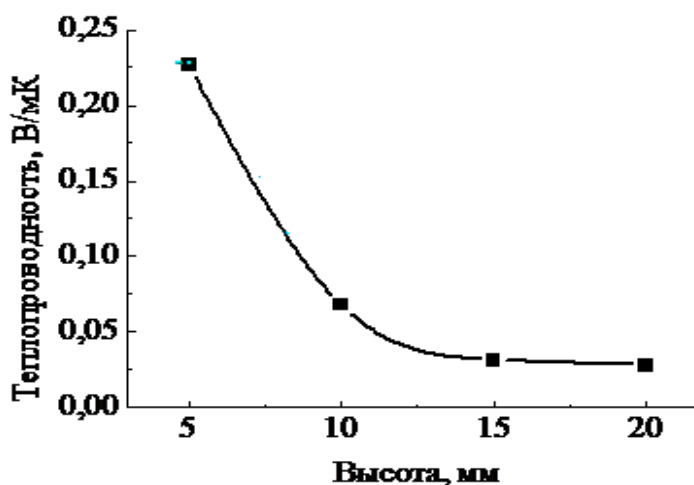


Рисунок 2 – Изменение теплопроводности изоляционных покрытий на металлической подложке от высоты слоя

Синтезированное покрытие показало, что с увеличением высоты слоя теплопроводность его снизилась почти на порядок (до 0,028Вт/мК). Полученные значения характеризуют синтезированный материал, как хороший теплоизолятор и уже при толщине в 20 мм он обеспечивает малые потери тепла от нагретой поверхности, сопоставимые с показателями при использовании в качестве теплоизолятора вспученного перлита.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. – М.: Высшая школа, 1989г. – 384с.
- [2] Бобров Ю.Л., Овчаренко Е.Г., Шохтер Б.М., Петухов Е.Ю. Теплоизоляционные материалы и конструкции.- М.:ИНФРА-М, 2003 – 263 с.
- [3] Замятин С.Р., Пургин А.К., Хорошавин Л.Б. Огнеупорные бетоны: Справочник. – М.: Металлургия, 1982. - 190с.
- [4] Ладыгичев М.Г., Гусовский в.Л., Кащеев И.Ю. Огнеупоры для нагревательных и термических печей. –М.: Теплотехника, 2004.- 253с.
- [5] Бакунов В.С., Балкевин В.Л., Власов Керамика из высокоогнеупорных окислов. – М.: Металлургия, 1977. -304 с.