

нуждающихся в оперативном лечении больных в Беларуси.

Проблема импортозамещения сложнонагруженных деталей сельскохозяйственной техники будет решена за счет разработки технологии и специальной оснастки для формообразования, ее изготовления, испытания, наладки и организации производства по всему технологическому циклу на производственных площадях ГНУ «ФТИ НАН Беларуси».

Планируется продолжение работ по совершенствованию технологии изготовления деталей ходовой части и тормозной системы автомобилей семейства МАЗ. Реализация технологии изготовления колец и втулок из точных поковок обеспечит на ОАО «Завод тормозной аппаратуры и механизмов («ТАиМ», г. Бобруйск) повышение коэффициента использования металла с 0,13 до 0,52 для колец и с 0,36 до 0,9 для втулок; повышение производительности механообработки на 40–50 %; уменьшение расхода режущего инструмента на 25–30 %.

Будут осуществлена разработка технологий, специализированного оборудования и технологической оснастки для изготовления плужных деталей с лемешно-отвальными поверхностями

методом продольно-поперечной прокатки. Предполагаемая технология предусматривает термопластическую обработку заготовок, вырезанных плазменным методом. Формообразование режущих элементов лемехов и долот будет производиться методом продольно-поперечной прокатки валками на специализированном оборудовании, адаптированном к обработке плоских заготовок. Кроме придания особых механических свойств материалу лемехов и долот, рабочий цикл машины составит ~10 с. По сравнению с операцией фрезерования, применяющейся на РУП «Минский завод шестерен», производительность увеличивается в 5 раз. Износостойкость деталей, изготавливаемых методом термопластической обработки, установленных в результате предварительных испытаний на БелМИС и полевых испытаниях в агрохозяйствах, увеличивается в 1,5 раза. После внедрения на РУП «Минский завод шестерен» технология может быть ратифицирована на Минской области межрайонном объединении «Агропромтехника», Пинском ПО «Кузлитмаш», Дрогичинском трактороремонтном заводе, а также на других предприятиях концернов «Белагросервис», «Белагромаш».

УДК 666.3

СИНТЕЗ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ФУТЕРОВОК ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

А.Т. Волочко, А.А. Жукова, К.Б. Подболотов
Физико-технический институт НАН Беларуси
г. Минск, Беларусь

The paper discusses the possibility of production of porous ceramic materials by the method of chemical pore-formation using a synthetic wollastonite and silicon-containing components. The physicochemical properties and microstructure of obtained materials have been studied.

Obtainment of refractory protection coatings using the self-propagating high-temperature synthesis (SHS) in the system Al – SiO₂ – MgO with application of different activation agents are considered in this paper. The role of part agents is identified and possible processes and mechanism of their influence on the synthesis of refractory protection coatings is shown. Investigation of physicochemical properties and regularities of coating obtainment are presented.

Теплоизоляционные пористые керамические материалы на основе синтезированного волластонита

Применение теплоизоляционных материалов при футеровании промышленных печей снижает материалоемкость, экономит расход электроэнергии и способствует интенсификации тепловых процессов. Поэтому теплоизоляционные материалы входят в обязательный ассортимент огнеупорной промышленности [1].

К теплоизоляционным относят большую группу разных по своему составу материалов, отличительные особенности которых — высокая пористость и обусловленные ею малая объемная плотность и низкая теплопроводность [2].

В настоящее время на предприятиях Министерства промышленности Республики Беларусь широкое распространение при футеровании печных агрегатов распространение получили следующие теплоизоляционные материалы: шамотный легковес, плиты волокнистые муллит-кремнеземистые и отечественный известково-кремнеземистый материал. Однако в процессе длительной эксплуатации данных материалов были обнаружены их существенные недостатки. Для шамота характерна низкая термостойкость и достаточно высокая теплопроводность по сравнению с другими материалами, волокнистые плиты характеризуются низкими прочностными свойствами и со временем теряют теплопроводность.

Для расширения технических возможностей предложен материал на основе синтезированного волластонита CaSiO_3 (48,3 % CaO , 51,7 % SiO_2) [3].

Выбор данного материала можно объяснить следующим образом. Во-первых, волластонит характеризуется игольчатой структурой кристаллов, которые обладают хорошей армирующей способностью. Во-вторых, синтетический силикат кальция свободен от природных примесей, таких как натрий, железо, марганец и др. В-третьих, волластонит экологически безопасен и является заменителем асбеста.

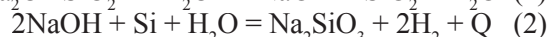
Жидкое натриевое стекло использовали как затворитель, способный при взаимодействии с водой и кремнийсодержащими компонентами образовывать в материале поры. Это неорганическое связующее более благоприятно в санитарно-гигиеническом отношении по сравнению с органическими веществами.

В качестве специальной добавки (порообразователя) использовали кремний и ферросилиций двух марок ФС-45 и ФС-75. Помимо функции по-

рообразователя, кремний и ферросилиций предполагается использовать и в качестве отвердителя.

При разбавлении жидкого натриевого стекла водой протекает гидролиз, в результате образуется достаточное количество гидроксида натрия для создания сильнощелочной среды. Продуктом взаимодействия кремния со щелочным раствором является водород, который способствует образованию пор.

Взаимодействие можно представить следующими химическими реакциями:



Реакции (2) и (3) являются экзотермическими, причем при взаимодействии кремния со щелочью тепловой эффект составляет

$$Q \approx \Delta H_{298}^0 = 351,26 \text{ кДж/моль,}$$

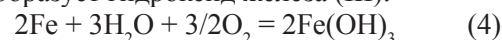
а при протекании реакции между ферросилицием и щелочью

$$Q \approx \Delta H_{298}^0 = 1157,74 \text{ кДж/моль,}$$

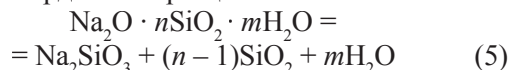
где ΔH_{298}^0 — изменение энтальпии реакции в стандартных термодинамических условиях.

Количество теплоты, выделившиеся в ходе протекания реакции 3, способствует дегидротации и твердению жидкого стекла, что приводит к ускорению как гидролиза, так и реакционного взаимодействия в смесях, а также обеспечивает меньшие затраты тепла при сушке изделий ввиду удаления значительного количества воды за счет испарения при саморазогреве системы.

При использовании ферросилиция взаимодействие протекает аналогично реакциям, описанным выше, за исключением образования соединений железа. Железо при взаимодействии с водой в щелочной среде и в присутствии кислорода воздуха образует гидроксид железа (III):

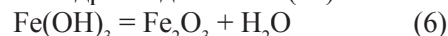


При сушке происходят полимеризация и отверждение жидкого стекла в результате чего идет процесс твердения образцов:

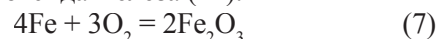


Однако при обжиге предположительно могут протекать следующие процессы:

– разложение гидроксида железа (III):



– окисление непрореагировавшего железа с образованием оксида железа (III):



– образование ферритов при сплавлении оксида железа(III) с гидроксидом натрия:



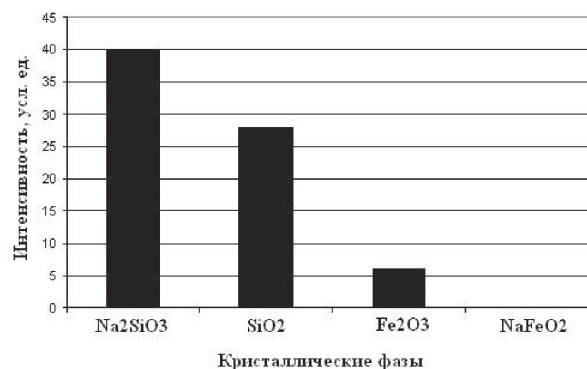
С целью определения полноты протекания реакций (6)–(8) проводили исследование фазового состава материалов, полученных с использованием в качестве кремнийсодержащего компонента ферросилиция марки ФС-45, после термообработки при температурах от 100 до 1100 °С. Дифрактограмма показала наличие основных кристаллических фаз волластонита и силиката натрия во всем диапазоне температур. При повышении температуры термообработки происходит небольшое снижение интенсивности дифракционных максимумов кристаллических фаз, что, вероятно, связано с образованием при высоких температурах расплава силиката натрия и частичного растворения волластонита, а при понижении температуры расплав не кристаллизуясь переходит в стекло, которое, как известно, рентгеноаморфно. Также при температуре 1000 °С наблюдается переход волластонита (β -CaSiO₃) в псевдоволластонит (α -CaSiO₃). При этом наличие металлического железа и его соединений на дифрактограммах не обнаружено.

Анализ рентгенограмм образцов, полученных с использованием ФС-75 (рис. 1), показал отсутствие элементарного железа в синтезированных образцах. При сравнении рис. 1, а и 1, б было установлено, что обжиг образца при 800 °С способствует полиморфному превращению кремнезема (β -кварц превращается в α -кварц), а также образованию новой фазы — феррита натрия (температура образования феррита натрия 675–700 °С).

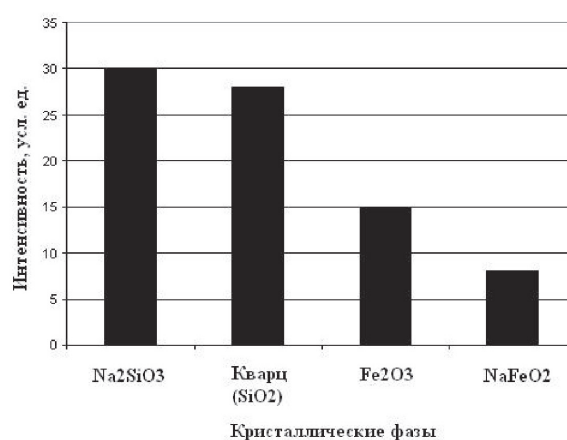
Проведены исследования (рис. 2) по влиянию количества вводимого кремния, ферросилиция ФС-45 и ФС-75 на общую пористость, кажущуюся прочность материалов.

Для всех материалов наблюдается линейная зависимость увеличения общей пористости от количества вводимой добавки. Причем по степени влияния природы кремнийсодержащих компонентов на пористость конечных изделий порообразователи можно расположить по возрастанию в ряд: кремний, ФС-75, ФС-45.

Как видно из приведенных данных, наименьшую плотность 450–550 кг/м³ имеют составы, содержащие кремний, что объясняется его большей активностью протекания реакции газовой выделения. При использовании ферросилиция наблюдается увеличение плотности материала с уменьшением концентрации кремния в составе ФС. Наиболее оптимальным для использования является ферросилиций марки ФС-75, который обеспечивает получение материала с плотностью 600–700 кг/м³.



а)



б)

Рис. 1. Зависимость интенсивности дифракционных максимумов кристаллических фаз от температуры термообработки.

Температура обжига:
а — 100 °С; б — 800 °С

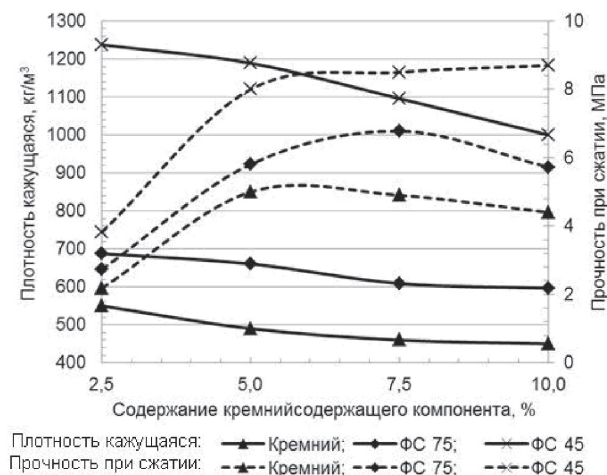


Рис. 2. Зависимость плотности и прочности при сжатии от количества кремнийсодержащих компонентов

Измерение коэффициента теплопроводности материала, полученного с использованием ферросилиция марки ФС-75 при различном его содержании (рис. 3), показало уменьшение тепловой проводимости материала при увеличении количества ферросилиция в составе смеси, при этом коэффициент теплопроводности хорошо коррелирует со значениями плотности материала.

Таким образом, оптимальное количество ферросилиция марки ФС-75 по данным измерения плотности, прочности при сжатии и теплопроводности составляет 5–7,5 %. Получаемый теплоизоляционный материал имеет плотность 610–660 кг/м³, прочность при сжатии 6,2–7,2 МПа и коэффициент теплопроводности (50–200 °С) — 0,12–0,25 Вт/(м·К).

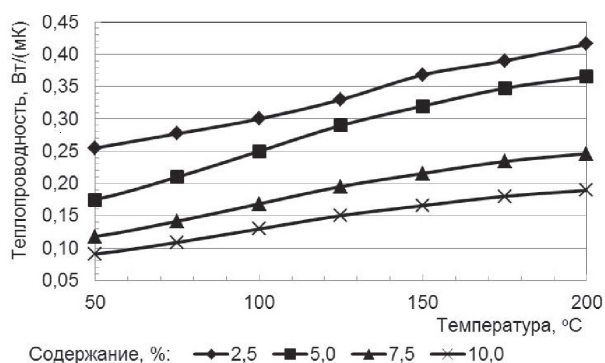


Рис. 3. Коэффициент теплопроводности материалов в зависимости от количества ферросилиция ФС-75

Результаты измерений физико-механических свойств показали, что в качестве теплоизоляционного каркаса многослойной футеровки тепловых агрегатов можно использовать материал на основе волластонита с ФС-75, характеризующийся оптимальными прочностными и тепловыми свойствами.

Исследования и анализ (рис. 4, 5) показали, что при использовании синтетического волластонита фракцией 0,75 мм образцы имеют как закрытую, так и открытую пористость, что не характерно для образцов, полученных на основе волластонита фракции 0,125 мм.

Также проводились исследования по влиянию фракционного состава порообразователя (ФС-75) теплофизические свойства пористых теплоизоляционных материалов.

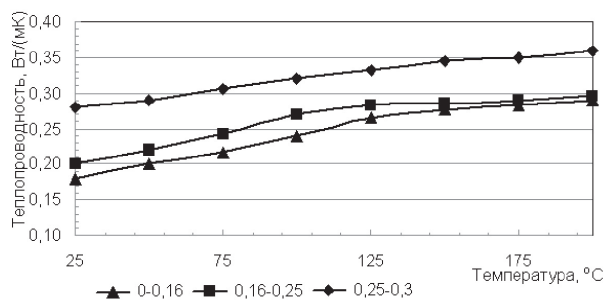
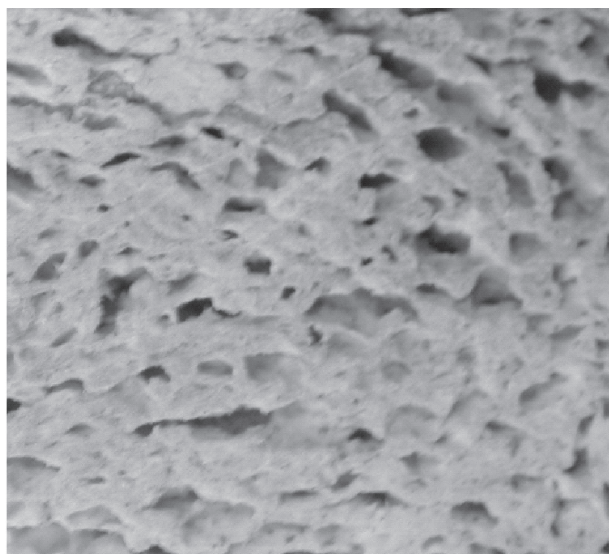
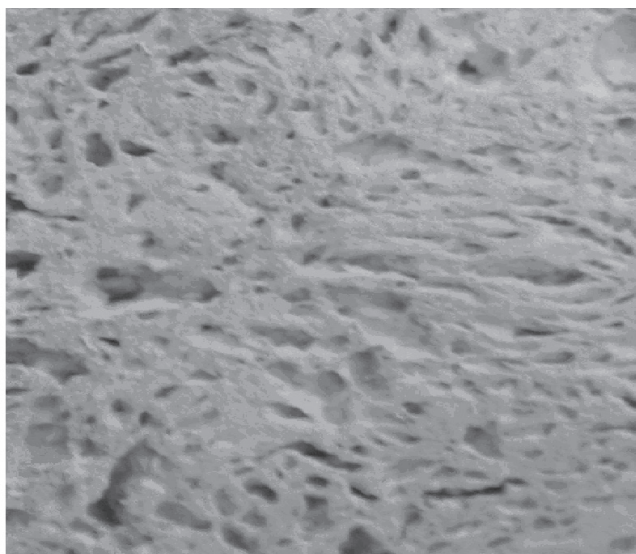


Рис. 5. Зависимость теплопроводности от фракционного состава ФС-75



а



б

Рис. 4. Структура керамических пористых материалов в зависимости от фракции волластонита: а — 0,75 мм; б — 0,125 мм

При анализе данных рис. 5 установлено, что образцы, полученные при использовании ФС-75 фракции 0,25–0,30, имеют высокий коэффициент теплопроводности по сравнению с образцами, где применяли ФС-75 фракции 0,16–0,25 и 0–0,16. Однако принимая во внимание механические свойства, можно предположить, что для теплоизоляции подходит материал, где в качестве порообразователя использовали ФС-75 фракции 0,25–0,3.

В табл. 1 проведен сравнительный анализ физико-механических свойств предлагаемого материала с известными.

Результаты сравнительного анализа табл. 1 показали, что данный материал можно использовать как заменитель шамотного легковеса, т. к. последний уступает по теплофизическим и прочностным свойствам. Помимо теплоизоляции материал на основе синтетического волластонита может выполнять функцию каркаса.

Табл. 1

Физико-механические свойства теплоизоляционных материалов

Материал на основе волластонита с ФС-75	Известково-кремниземистые плиты марки D200	Шамот легковесный ШЛ-1,3	Плиты муллито-кремниземистые КТПУ
Кажущаяся плотность, кг/см ³			
650–700	176–182	1300	350
Теплопроводность, Вт/(м·К) при 600 °С			
0,2	0,13	0,7	0,19
Температура применения, °С			
1100	600	1300	1250
Предел прочности при сжатии, МПа			
6,5–7	0,7	3,5	0,3–0,35

Керамические покрытия, синтезируемые в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза

Огнеупорные материалы, используемые в промышленных печах и нагревательных установках, подвержены различным видам разрушений, в частности для алюминиевого литья влияние алюминия на огнеупорные материалы заключается в химическом взаимодействии, термоударах и механическом воздействии. Основными материалами футеровки термических и металлургических печей являются алюмосиликатные и магниевые огнеупоры [4]. Однако данные материалы имеют недостаточную термостойкость и шлакоустойчивость, в связи с этим для предотвращения разрушения футеровки и увеличения межремонтного промежутка необходимо создание защитного слоя на поверхности огнеупора.

В данном сообщении рассматриваются возможности получения огнеупорных защитных покрытий с использованием высокотемпературного самораспространяющегося синтеза (СВС) на основе системы MgO – SiO₂ – Al. Использование СВС позволяет снизить энергоемкость и обеспечить адгезионную прочность.

Особенностью получения термо- и шлакоустойчивых покрытий СВС-методом в рассматриваемой системе являются тепловые потери, кото-

рые приводят к прекращению распространения волны горения.

Повышение интенсивности взаимодействия в системе возможно путем проведения механической либо химической активации системы. Несмотря на то, что проведение механической активации позволяет усилить интенсивность реакционного взаимодействия, она сопряжена со значительными энергетическими затратами на ее проведение. В связи с этим более предпочтительным является проведение химической активации путем введения в систему добавок различных реакционноспособных соединений, которые в условиях синтеза взаимодействуют с основными компонентами, повышая тепловой эффект реакции. В качестве добавок могут быть использованы металлы (Cu, Fe, Mg), оксиды (TiO₂, MnO₂, Fe₂O₃), борсодержащие (H₃BO₃, Na₂B₄O₇) и фторсодержащие вещества (NaF, CaF₂, AlF₃, Na₂SiF₆) [5]. Данные добавки способствуют дополнительному выделению тепла за счет образования новых фаз в результате возникновения газотранспортного механизма [6].

Сравнительный анализ результатов термического анализа, измерений скорости волны горения и максимальной температуры СВС-реакции (табл. 2), показали, что максимальное активирующее воздействие на систему оказывает кремнефтористый натрий и оксид титана.

Свойства СВС-покрытий от вида используемых добавок

Вид добавки	Свойства		
	$T_{\max}, ^\circ\text{C}$	скорость фронта волны горения, мм/с	адгезионная прочность, МПа
TiO ₂	1500	7,8	0,88
Fe ₂ O ₃	1493	6,2	0,59
H ₃ BO ₃	1485	6,9	0,51
Na ₂ SiF ₆	1520	8,0	0,33

Результаты рентгенофазового анализа (РФА) показали, что в исследуемой системе с добавками кремнефтористого натрия, оксида железа и титана, ортоборной кислоты образуются следующие фазы: корунд, кремний, диоксид кремния, оксид магния и силикат магния. Однако наличие фаз пижонита ($\text{Mg}_{1,08}\text{Fe}_{0,92}\text{Si}_2\text{O}_6$) и рид-мерджерита (NaBSi_3O_8) характерно только для составов с добавкой оксида железа и ортоборной кислоты соответственно. При этом качественный и количественный фазовый состав варьируется в зависимости от состава исходной смеси.

Важным моментом при создании теплоизоляционных материалов является выбор связующего вещества. В качестве связующих веществ исследовали: алюмохромфосфатное связующее $\text{CrAl}_3(\text{H}_2\text{PO}_4)_{8,8-9,6}$, калиевое жидкое стекло $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, натриевое жидкое стекло $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ огнеупорная глина и вода, триполифосфата натрия $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ и вода, а также связующие композиции: калиевое жидкое стекло и триполифосфат натрия, натриевое жидкое стекло и триполифосфат натрия.

Результаты показали, что наилучшей адгезией к алюмосиликатной подложке обладают покрытия на натриевом жидком стекле и триполифосфате натрия (1,90 МПа).

Низкие значения адгезионной прочности показали покрытия на алюмохромфосфатном связующем (1,11 МПа) связаны с тем, что это связу-

ющие содержит в своем составе ортофосфорную кислоту, поэтому при термообработке покрытий при температурах выше 700 °С происходит разложение конденсированных фосфатов, миграция паров оксида фосфора (V) из глубины к поверхности покрытий, а также частичное его удаление, что приводит к образованию микротрещин и возникновению пористой структуры.

Заключение

Разработан новый теплоизоляционный материал с использованием синтезированного сырья (воластонита), отличающийся достаточно высокой прочностью (6,5–7 МПа), теплопроводностью (0,05–0,2 Вт/м·К) и способный выполнять одновременно функцию теплоизоляции и каркаса футеровки.

Разработан новый состав огнеупорного защитного покрытия, который состоит из СВС-смеси, активирующей добавки и модифицированного связующего. Результаты исследований показали, что в качестве активирующей добавки эффективно использовать кремнефтористый натрий. Наибольшее увеличение адгезии получаемого покрытия (более чем в 3,5 раза) по сравнению с покрытием без добавок наблюдается в случае применения добавок оксида титана. Полученные покрытия могут быть использованы для защиты алюмосиликатных и магнезиальных огнеупоров от термоударов в термических и металлургических агрегатах.

Література

1. Гузман, И.Я. Высокоогнеупорная пористая керамика / И.Я. Гузман. — М.: Металлургия. — 1971. — 208 с.
2. Балкевич, В.Л. Техническая керамика: учеб. пособие для вузов / В.Л. Балкевич. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1984. — 256 с.
3. Воластонит: сб. статей / АН СССР, отделение геологии, геофизики и геохимии; под ред. Петрова В.П. — М.: Наука, 1982. — С. 111.
4. Губинский, В.И. Металлургические печи: теория и расчеты: учеб. для студентов металлург. и технол. специальностей учреждений, обеспечивающих получение высш. образования: в 2 т. / В.И. Губинский [и др.]; под общ. ред. В.И. Тимошпольского, В.И. Губинского. — Т. 1. — Минск: Белорусская наука, 2007. — 832 с.
5. Волочко, А.Т. Синтез керамических покрытий на основе тугоплавких фаз в системах Mg – SiO₂ – Al и Al – SiO₂ – C методом СВС / А.Т. Волочко, К.Б. Подболотов, А.А. Жукова // Современные перспективные материалы / под ред. В.В. Клубовича. — Глава 13. — Витебск: ВГТУ, 2011. — С. 340–380.
6. О роли газофазного переноса при горении системы тантал – углерод / А.Г. Мержанов [и др.] // Инженерно-физический журнал, 1989. — Т. 59; № 1. — С. 5–13.