

УДК 666.672

ВЛИЯНИЕ ВИДА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ГЕЛЯ ЭТС-32-ГЛИЦЕРИН НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЕГО ОБЖИГЕ ДО 1500 °С

© Д-р техн. наук Г.Д. Семченко, Е.Е. Старолат, И.Ю. Шутеева, О.Н. Борисенко, В.С. Зверева, Ю.М. Шмыгарев, В.А. Андропова

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина



Семченко Г.Д.

профессор кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей



Борисенко О.Н.

младший научный сотрудник

В данной статье авторы рассмотрели влияние вида предварительной термообработки геля ЭТС-32-глицерин на физико-химические процессы при его обжиге.

Ключевые слова: Ключевые слова: гель ЭТС-32-глицерин, предварительная термообработка, обжиг, физико-химические процессы.

In this paper authors considered the influence of the form of preliminary heat treatment gel ETS-32-glycerol on the physico-chemical processes in its firing up to 1500 °C.

Keywords: Keywords: gel ETS-32-glycerol, preliminary heat treatment, firing, physico-chemical processes.

Использование связующих золь-гель композиций на основе гидролизованного без органических растворителей этилсиликата ЭТС-32 обеспечивает как изготовление крупногабаритных изделий и изделий сложной конфигурации, так и получение материалов с заданным фазовым составом и структурой, гарантируя повышение их эксплуатационных характеристик, обеспечивая, в первую очередь, высокую прочность, термостойкость или трещиностойкость.

При изготовлении изделий и покрытий с высокодисперсным наполнителем (нитридкремниевым, карбидкремниевым, кремнеземистым) в качестве связующего чаще использовали гидролизаты [1–3], полученные гидролизом этилсиликата большим количеством воды — ЭТС-32/60. При этом в процессе гидролиза образуются поликремниевые кислоты, которые при хранении и нагревании конденсируются, образуя полисилоксановые связи в кремнеземистом кластере, что обеспечивает [4] достаточно высокую прочность сырцу отлитых изделий. В зависимости от режима термообработки, вероятно, физико-химические процессы превращений геля будут несколько отличаться.

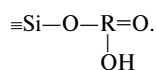
Вязущие свойства гидролизатов этилсиликата определяются золь-гель переходом, сопровождающимся появлением объемной структурной сетки (каркаса) гелевого кластера за счет образования полисилоксановых связей в результате поликонденсации

продуктов гидролиза, а также адгезионным взаимодействием дисперсионной среды и дисперсной фазы.

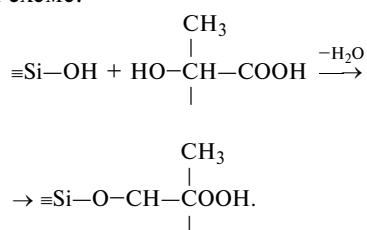
Известно, что в кислой среде в процессе поликонденсации продуктов гидролиза этилсиликата образуются линейные полимеры, в щелочной — разветвленные кластеры [5, 6]. При гидролизе этилсиликата большим количеством воды образование разветвленных кластеров может происходить и при использовании кислотных катализаторов [6].

Известно, что глицерин окисляется HNO_3 , при этом образуется сильная одноосновная глицериновая кислота, которая также как и глицерин хорошо растворяется в воде и спирте. Присутствие сильных кислот ускоряет процесс конденсации поликремниевых кислот. Учитывая то, что в наших экспериментах при гидролизе этилсиликата использованы малые количества сильных неорганических кислот [1], в данном случае 0,6 %, а модифицирование этилсиликатных связей проводили глицерином (в количестве 4 %) с целью придания им большей пластичности и для улучшения процесса сушки, образование глицериновой кислоты не учитывалось. Однако образование даже минимального количества глицериновой кислоты не будет мешать созданию разветвленного гелевого кластера из продуктов поликонденсации поликремниевых кислот.

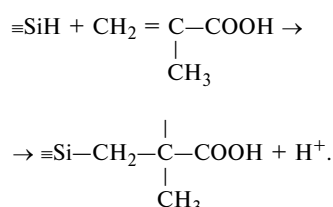
Известно, что модифицированные кремнеземы с кислотными свойствами получают его обработкой оксикислотами [7], молекулы которых имеют бифункциональную природу [8]. Эти кислоты способны взаимодействовать с гидроксильными группами кремнезема с образованием поверхностных соединений типа:



Поверхностные реакции протекают при температурах до 160–200 °С по следующей схеме:



Другим путем получения карбоксилорганокремнеземов является обработка кремнезема метилдихлорсиланом $\text{Cl}_2(\text{CH}_3)\text{SiH}$ при комнатной температуре. После удаления физически адсорбированного органосилана образец обрабатывают парами метакриловой кислоты. Реакция протекает по схеме:



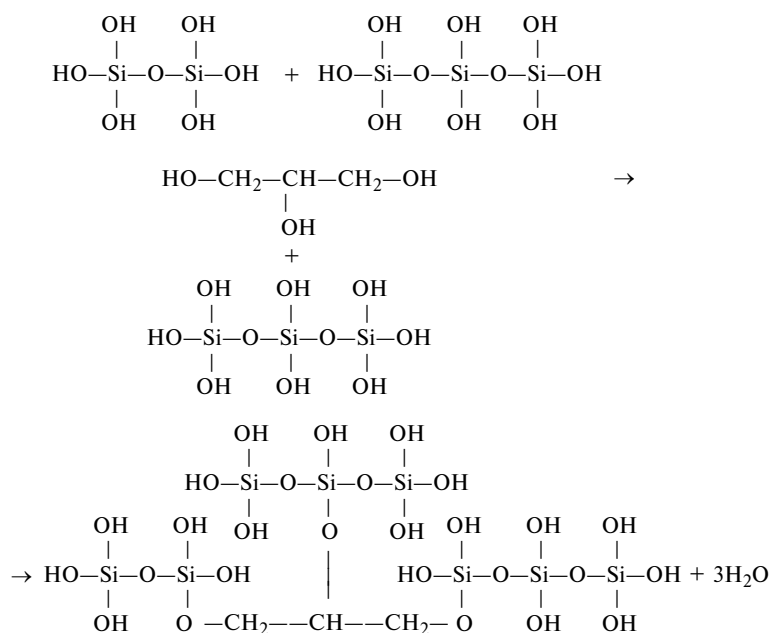
Синтез карбоксилорганокремнезема можно осуществить прививкой органического радикала с нитрильной группой с последующим омылением ее в карбоксильную, сополиме-

ризацией винилпроизводного органокремнезема с метакриловой кислотой [8].

При термообработке вышеуказанных органокремнеземов с поверхностной прививкой органических веществ происходит их термодеструкция с образованием оксидов углерода и кремнезема. Поэтому такие органокремнеземы не могут являться прекурсорами углерода для синтеза углеродсодержащих неорганических соединений.

Нами предложены и рассматриваются процессы образования клатратов углерода при термообработке разветвленных кластеров геля на основе поликонденсации поликремниевых кислот органического происхождения, образованных в результате гидролиза этилсиликата большим количеством воды в присутствии HNO_3 и глицерина. Модифицирование связок происходит в процессе гидролиза этилсиликата и поликонденсации поликремниевых кислот, при этом наблюдается сшивание связей на молекулярном уровне и образование аморфного кремнезема из гелей [9]. Клатраты углерода более устойчивы к процессу окисления [1], так как находятся в полостях решетки SiO_2 , а не на поверхности SiO_2 , как это наблюдается в [7, 8, 10] при модифицировании кремнезема поверхностными соединениями.

Учитывая возможность образования разветвленных кластеров при гидролизе этилсиликата большим количеством воды в присутствии любых сильных кислот можно предположить, как происходит встраивание молекул глицерина в кластерную гелевую структуру в процессе конденсации поликремниевых кислот, схема которого представлена ниже:



В дальнейшем при конденсации молекул поликремниевых кислот со встроенными молекулами глицерина или другого углеродсодержащего вещества вокруг внедренного углеродсодержащего компонента образуется плотное кольцо из разветвленного кремнеземистого кластера. Важно, чтобы при термообработке геля не происходило быстрое окисление органо-неорганического комплекса, образующегося в процессе физико-химических превращений геля, а сохранившийся углеродный прекурсор был полностью использован для синтеза бескислородных наноразмерных новообразований.

В зависимости от способа получения гелей, наполненных углеродсодержащим компонентом, и режима их термообработки, вероятно, физико-химические процессы превращений гелей будут несколько отличаться.

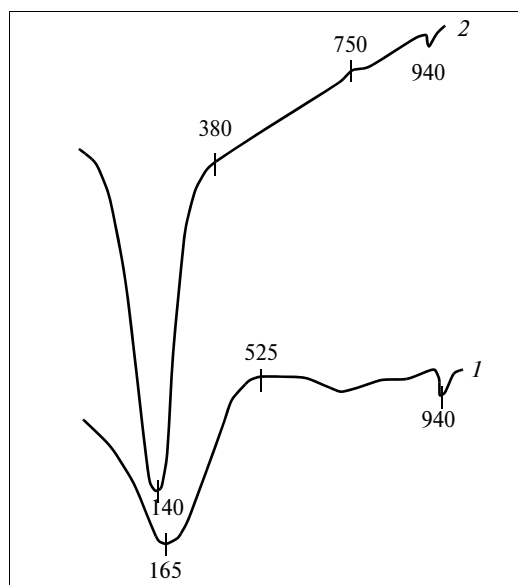
Целью данной работы является изучение влияния предварительной термообработки гелей, полученных из гидролизатов с большим количеством воды, модифицированных глицерином, на физико-химические процессы при их обжиге до 1500 °С.

Еще до термообработки на молекулярном уровне происходит, как это показано выше, сшивание связей $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ и $\equiv\text{C}-\text{C}\equiv$ при внедрении молекул глицерина в кластерную гелевую систему с образованием плотного кольца из силоксановых связей, что должно затруднять процесс выгорания углерода при термообработке. Однородность распределения незначительных количеств глицерина в созданном гелевом кремнеземистом кластере приводит к образованию связей $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{C}\equiv$ внутри остова из связей $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$. Однородность распределения

углеродсодержащего компонента сначала в кремнеземистом гелевом кластере, а затем — клатратов углерода в SiO_2 способствует сохранению углерода органо-неорганического комплекса $(-\text{CH}_3)-(\text{SiO}_2)_n-\text{C}$ в процессе термообработки до более высоких температур. Сохранение углерода в процессе термообработки геля при высоких температурах подтверждается данными ДТА (рис. 1). На кривых ДТА модифицированного предложенным способом кремнезема экзоэффект в отличие от ДТА чистой связки при температуре 380 °С исчезает, а экзоэффект при 700 °С свидетельствует о синтезе новообразований, так как не сопровождается потерей массы при нагревании со скоростью 4 град/мин до этой температуры. При термообработке геля, полученного из модифицированного глицерином золя, увеличивается пик эндоэффекта, потери массы при этом увеличиваются, а его температура сдвигается в область более низких температур (с 165 до 140 °С), что подтверждает облегчение вывода молекул воды из внутренних слоев золя и с поверхности кремнезема. Экзоэффект термодеструкции этоксигрупп, наблюдаемый при 525 °С при термообработке геля без модифицирующей добавки, при введении глицерина, как уже указывалось, исчезает, на ДТА наблюдается только перелом кривой при температуре 380 °С. При температуре 750 °С наблюдается незначительный экзоэффект без потери массы, что подтверждает синтез новообразований. При температуре 940 °С наблюдается эндотермический эффект образования расплава, который будет предохранять окисление продуктов синтеза. Поэтому интересен вопрос, как достичь более высокой степени сохранения углерода в геле и увеличения интенсивности экзоэффекта синтеза бескислородных соединений.

В результате экспериментов установлено, что даже в отсутствии полиорганосилоксанов в геле, которые обычно получают гидролизом этилсиликата малым количеством воды, углеродсодержащий компонент, введенный дополнительно при гидролизе и включенный в трехмерную структуру гелевого кластера при конденсации поликремниевых кислот, становится недоступным для полного окисления даже при небольшой скорости нагревания. Это способствует в дальнейшем образованию клатратов углерода в SiO_2 подобно процессу их образования в гелях при термообработке полиорганосилоксанов [1]. Следователь-

Рис. 1. Кривые ДТА этилсиликатного геля, полученного гидролизом ЭТС-32 большим количеством воды в кислотной среде геля без (1) и с добавкой глицерина (2), скорость нагревания 4 град/мин



но, глицерин может не только снижать напряжения в геле при его термообработке, но и является дополнительным источником углерода наряду с захваченными в гелевую структуру радикалами ($-\text{CH}_3$) (из этилового спирта и этоксигруппами неподвергнутых термодеструкции органических продуктов) для последующих процессов синтеза таких соединений из компонентов геля как оксинитрид кремния, $\beta\text{-SiC}$ и $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ [1].

Использование модифицированной этилсиликатной связки при получении изделий сложной конфигурации на основе Si_3N_4 приводит к повышенному содержанию углерода в композициях. Содержание углерода выше там, где оказалось большим количество модифицированной связующей золь-гель композиции в любой керамической матрице. Распределение углерода в матрице из Si_3N_4 показано на рис. 2. Использование этилсиликатных связок, в том числе и модифицированных глицерином, приводило к образованию в порах нитридкремниевой матрицы нитевидных кристаллов $\beta\text{-SiC}$, синтез которых происходит из атомарного углерода и паров SiO , образованного в результате восстановления аморфного кремнезема связки [1], при захвате азота из воздуха синтезируются нитевидные кристаллы $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ в порах матрицы. Как видно (рис. 2), максимум углерода наблюдается в поре отлитой керамики на модифицированной этилсиликатной связке. Именно в поре накапливается большее количество связующего из модифицированной глицерином этилсиликатной связки.

Таким образом, если при поверхностном модифицировании кремнезема разного типа органическими и кремнийорганическими соединениями могут образовываться связи $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{C}\equiv$, $\equiv\text{Si}-\text{C}\equiv$, $\text{Si}-\text{N}-\text{C}^\circ$ [7, 9] только на поверхности кремнезема, то в модифицированной глицерином этилсиликатной связке при поликонденсации внутри гелевого остова из связей $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ образуются связи $-\text{O}-\text{C}\equiv$. Эти связи в процессе термообработки при кислородном дефиците переходят в связи $\equiv\text{Si}-\text{C}\equiv$, за счет чего образуются первые координационные сферы SiC , что облегчает зародышеобразование карбида кремния при низких температурах термообработки. Синтез SiC при обжиге литых образцов на этилсиликатных связках приводит к армированию матриц наноразмерными кристаллами $\beta\text{-SiC}$ и уменьшению их пористости за счет образования

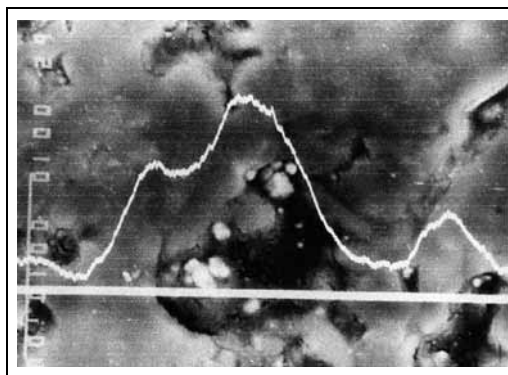


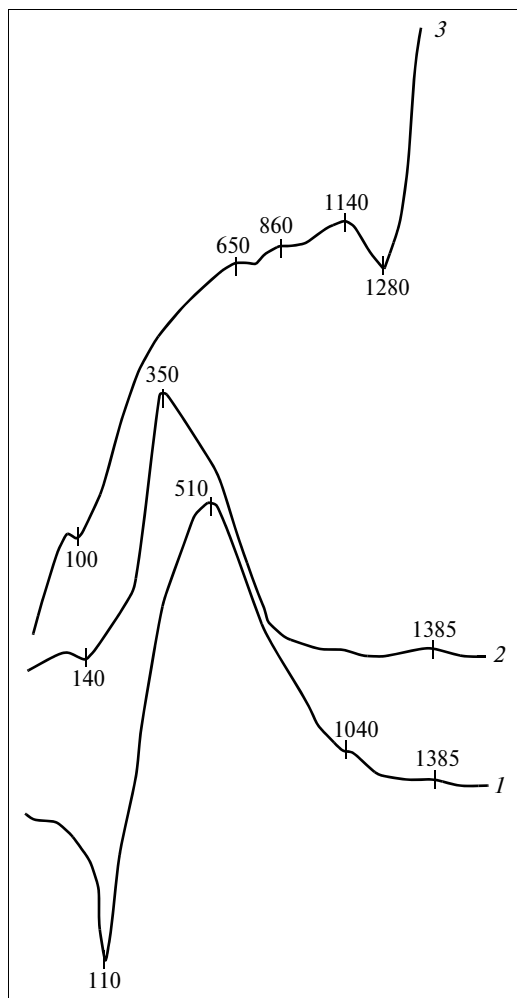
Рис. 2. Распределение углерода в литой нитридкремниевой керамике на модифицированной глицерином этилсиликатной связке. Увеличение $\times 6000$

внутри единичных пор сферических конгломератов из переплетенных нитевидных кристаллов $\beta\text{-SiC}$ и $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ (количество последних будет резко возрастать при обжиге в среде азота).

Для исследования влияния вида термообработки гелей и изделий с их применением до обжига для экспериментов использовали золь-гель связующую композицию после выдержки на воздухе в течение нескольких дней. Кремнеземистый кластер (гель), характеризующийся одной структурной сеткой, был разделен на несколько частей, которые подвергали предварительной сушке по разным режимам до проведения дериватографических исследований до температуры 1500°C . Пробу 1 выдержали при температуре 20°C в течение суток. Пробу 2 геля подвергали после выдержки при комнатной температуре сушке со скоростью подъема температуры $12^\circ\text{C}/\text{мин}$ до 200°C с последующей выдержкой при этой температуре в течение 4 ч. Следующую пробу геля 3 высушивали в естественных условиях, затем термообработывали со скоростью $12^\circ\text{C}/\text{мин}$ до 500°C и охлаждали. Все охлажденные пробы геля, подвергнутые предварительной сушке по выше указанным режимам, подвергали термообработке в печи установки ОД-102 в процессе дериватографических исследований со скоростью подъема температуры $10^\circ\text{C}/\text{мин}$. Исходные навески всех проб были одинаковы.

На рис. 3 представлены кривые ДТА этих проб геля. Кривая ДТА 1 имеет один эндоэффект при температуре 110°C и три экзоэффекта: при 510 , 1040 и 1385°C . Энзоэффект при температуре 510°C соответствует термодеструкции этоксильных групп продуктов поликонденсации геля. Потери массы при этом составляют 20 %. При дальнейшем нагревании потери массы не наблюдаются. Следовательно, следующие экзоэффекты соответствуют синтезу новых

Рис. 3.
Кривые ДТА проб геля модифицированного глицерином: термообработанные по разным режимам:
1 — длительно при комнатной температуре;
2 — при температуре 200 °С 4 час, скорость нагревания 12 град/мин;
3 — при температуре 500 °С, скорость нагревания 12 град/мин



кристаллических фаз. Рентгенофазовый анализ этих проб свидетельствует только о наличие β-кristобалита, в который превращается аморфный кремнезем геля. Количество наноразмерных новообразований в термообработанном геле 1 настолько мало, что на дифрактограммах они не фиксируются.

После предварительной длительной сушки геля при температуре 200 °С потери массы при высокотемпературной термообработке составляют около 20,0 %. На кривой 2 ДТА зафиксирован один эндозффект при температуре 140 °С и большой по площади экзоэффект с максимумом при температуре 350 °С. После предварительной сушки при 200 °С обычно наблюдаемый на кривых ДТА (рис. 1) мощный эндозффект, образующийся в результате диссоциации спирта и испарения воды на поверхности кремнеземистых частиц, практически вырождается. Потери массы при 100 °С составляют всего 1,5 %. При нагревании до 370 °С потери растут незначительно и составляют 4 %. При этой тем-

пературе происходит термодеструкция этоксильных групп поликонденсированных продуктов гидролиза этилсиликата. Она продолжается при дальнейшем нагревании до температуры 700 °С, сопровождаясь потерями массы около 2 %. При нагревании до 1500 °С не наблюдается потерь массы геля. Незначительный экзотермический эффект при температуре 1385 °С свидетельствует о синтезе новообразований. При этом наибольший экзоэффект наблюдается на кривой 3 ДТА геля, предварительно термообработанного до 500 °С с большой скоростью нагревания — 12 град/мин.

На кривой ДТА геля 3, предварительно термообработанного до 500 °С перед проведением дериватографических исследований, потери массы начинаются после нагревания геля до этой температуры. Экзоэффект с максимумом при 650 °С свидетельствует, что термодеструкция этоксильных групп, захваченных при нагревании в кремнеземистый каркас кластера при предварительном нагревании до 500 °С, происходит тяжело, так как температура их термодеструкции увеличивается с обычных 350 до 650 °С, и потери при этом достаточно небольшие, составляют всего 6 %. Термодеструкция, вероятно, продолжается, и наблюдается еще один экзоэффект с максимумом при 840 °С. Потери массы происходят ступенчато: 2 % — при температуре 650 °С, 2 % — при 840 °С. Дальнейшее нагревание геля сопровождается еще одним экзоэффектом при температуре 1140 °С. Потери массы при этом не наблюдаются, следовательно, идет синтез новообразований. Вероятно, синтезируются кристаллы оксинитрида кремния. При взаимодействии его с β-кristобалитом, в который превращается кремнезем геля, наблюдается эндозффект, свидетельствующий об образовании расплава. Масса исследуемого вещества не изменяется при этом. При дальнейшем нагревании начинается реакция синтеза нитрида кремния, экзотермический пик которого только намечается на кривой 1 геля без предварительной термообработки перед исследованием физико-химических процессов при нагревании геля методом ДТА.

РФА геля, термообработанного перед ДТА до 500 °С, не идентифицирует синтеза кристаллических соединений: их слишком мало после термообработки геля, во-первых, и размер их тоже очень мал, во-вторых. Для увеличения количества синтезирующихся новообразований необходимо уве-

личить в кластерном остове кристобалитовой структуры количество углеродистого прекурсора. Именно модифицирование золя из поликремниевых кислот органическим веществом дает возможность на молекулярном уровне внедрить углеродсодержащие молекулы, например, глицерина, в кремнеземистую структуру [12]. И при большой скорости нагревания предостеречь попадание кислорода в пустоты гелевого кластера, заполненные углеродистым прекурсором. Вышеуказанные исследования подтверждают, что для сохранения углеродистого прекурсора после модифицирования внутренней структуры золь-гель композиции глицерином, термообработку необходимо проводить при температурах не менее 10 град/мин.

Данные рекомендации по улучшению сушки отливок и интенсификации синтеза наноразмерных новообразований при их обжиге использовали в технологии литых нитридкремниевых изделий на золь-гель композициях, модифицированных глицерином. При проведении физико-химических исследований процессов при термообработке модифицированного геля вновь использовании ДТА метод при нагревании до 1500 °С с длительным проявлением образцов геля при комнатной температуре и предварительной сушкой при температуре не более 500 °С.

При этом ДТА кривая (рис. 4) модифицированного геля ЭТС-32/60 глицерином при термообработке до 1500 °С со скоростью 10 град/мин, имеет один небольшой эндоэффект при 100 °С, соответствующий удалению остатков воды и спирта, и два больших экзоэффекта с максимумами при 360 °С и в области 1250—1400 °С. Последний экзоэффект ответственен за синтез соединений, так как при температуре выше 1150 °С начинается прирост массы. В области 1400—1450 °С масса увеличивается на 8 %, несмотря на то, что при взаимодействии новообразований с β-кристобалитом кремнеземистого кластера образуется расплав при температуре 1320 °С. Образование расплава предохраняет углеродистые компоненты органо-неорганического комплекса от окисления и тем самым способствует синтезу наночастиц и нановолокон карбида и нитрида кремния, особенно в случае использования связующего в шихтах бескислородных соединений, обжиг которых производится в азотной среде. ДТА производили в воздушной среде, следовательно, азотсодержащие со-

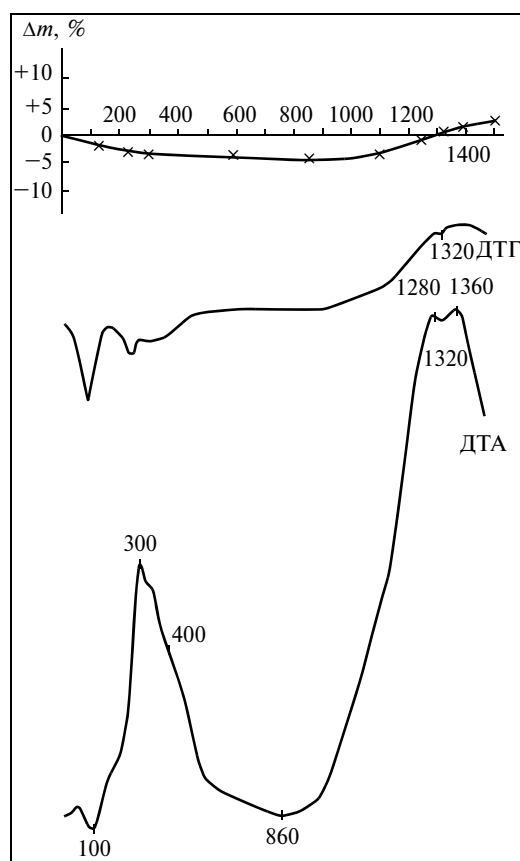


Рис. 4. ДТА и ДТГ кривые геля ЭТС 32/60, модифицированного глицерином, и потери массы при его термообработке со скоростью нагревания 10 град/мин

единения могли синтезироваться путем взаимодействия с азотом воздуха. Однако результаты рентгенофазового анализа проб геля после термообработки не показали кроме β-кристобалита наличия других новообразований ввиду их, вероятно, малого количества с одной стороны, и малых размеров новообразований, с другой стороны. В обожженных образцах на основе литьевых масс из смеси наполнителя Si₃N₄ и модифицированного связующего наблюдаются сферические глобулы из наночастиц и нитевидных кристаллов бескислородных соединений кремния [4, 11].

Таким образом, модифицирование геля ЭТС 32/60 глицерином аморфизует кремнеземистый каркас. Образующиеся в структуре гелевого кластера связи O—Si—C являются прообразом связи Si—C, создается возможность синтеза наноразмерного карбида кремния и нитрида кремния, однако их синтез наблюдается при более высоких температурах [4].

Встраивание углеродсодержащих молекул в пустоты кластерного кремнеземистого остова гелей при его модифицировании и длительная сушка при комнатной температуре рекомендуется для создания устойчивой углеродистой системы компо-

зиции $(-CH_3)-(SiO_2)_n-C$, являющейся прекурсором атомарного углерода и монооксида кремния [11] для синтеза бескислородных соединений при обжиге литых изделий сложной конфигурации на модифицированной этилсиликатной связке.

Именно поэтому в настоящее время в развитии технологии специальных керамических материалов с повышенными физико-механическими свойствами все большее значение приобретает золь-гель процесс — предвестник синтеза наночастиц, которые в зависимости от того, где образуются, самоармируют керамические матрицы и дисперсионно их упрочняют, или заполняют пустоты и дефекты структуры материала, упрочняя и уплотняя его [1, 4, 11].

Интерес к золь-гель процессу в технологии специальных керамических материалов основан на том, что его использование позволяет обеспечить низкотемпературный синтез наночастиц $\beta-SiC$ или $\alpha-Si_3N_4$, самоармирование керамических матриц, их дисперсионное упрочнение и уплотнение материала, в том числе за счет заполнения дефектов структуры новообразованиями. Поэтому знание физико-химических процессов при термообработке гелей и способы интенсификации синтеза бескислородных соединений путем регулирования процесса науглероживания кластерной гелевой системы всегда представляет не только научный, но и практический интерес.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семченко Г.Д. Золь-гель процесс в технологии керамики. — Харьков: БИ, 1997. — 144 с.
2. Семченко Г.Д., Опрышко И.Н., Старолат Е.Е., Анголенко Л.А., Калин В.В., Вернигора К.П. Но-

вейшие технологии трещиностойкой керамики на основе бескислородных соединений для машиностроения / Сб. научн. тр. «Проблемы создания новых машин и технологий», вып. 1/2000 (7). — Кременчуг: КГУ, 2000. — С. 400—407.

3. Николаенко В.Н., Старолат Е.Е., Семченко Г.Д., Клещев Н.Ф. Физико-химические свойства литых кварцевых образцов низкотемпературного обжига / Вестник НТУ «ХПИ». — Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. — № 18. — С. 75—79.
4. Семченко Г.Д., Шутеева И.Ю., Бутенко А.Н., Борисенко О.Н., Старолат Е.Е., Николаенко В.Н., Повишук В.В. Золь-гель композиции полифункционального назначения. — Харьков: Радуга, 2011. — 240 с.
5. Klein L.C., Garvey G.J. Drying and firing monolithic silica shapes from sol-gel // Ultrastruct. Process. Ceram., Glasses and Composites.: New-York, 1984. — P. 88—99.
6. Brinker C.I., Keefer K.D., Schaefer D.W. Sol-gel transition in simple silicates: glasses and glass ceramics from gels // J. Non-Cryst. Solids. — 1984. — V. 63. — № 1—2. — P. 45—49.
7. Неймарк И.С. Синтетические минеральные адсорбенты и носители катализаторов. — Киев: Наукова думка. — 1982.
8. Павлик Г.Б. Поверхностные химические соединения с кислыми функциональными группами на кремнеземах. Автореферат дис. канд. хим. наук (по специальности 02.00.01). — Киев, 1968.
9. Ristic M.M. The kinetic of silica gel-cristobalite transition / В кн.: Proc. 9 Conf. Silicate Ind. (Siliconf.) Budapest: AN YNR. — 1968. — P.153—158.
10. Щербаклова К.Д. Химическое модифицирование поверхности твердых тел и ее применение для газовой хроматографии. Автореферат дис. докт.хим.наук (по специальности 02.00.01). — М., 1967.
11. Семченко Г.Д. Современные процессы в технологии конструкционной керамики. — Харьков: Изд-во «Гелиос», 2011. — 276 с.

Группа Магнезит

увеличит производство плавленного периклаза на 100 тыс. т в год

Группа Магнезит увеличит объемы производства качественного плавленного периклаза на 100 тыс. т в год в среднесрочной перспективе. Новые мощности для производства этой конкурентной продукции будут построены на российских производственных площадках компании в Челябинской области и Красноярском крае. Объем инвестиций в проект составит более 2 млрд рублей.

Группа Магнезит также заключила контракт на поставку 10 электрических плавильных печей мощностью 10 тыс. т в год каждая с немецкой компанией SMS Siemag, мировым лидером в сфере производства агрегатов электроплавки для сталелитейной промышленности. Планируется, что 5 печей будут установлены на новом участке Цеха магнезитового порошка № 4 на Саткинской производственной площадке (г. Сатка, Челябинская область), а еще 5 — на новом комплексе по переработке сырья сибирских месторождений высококачественного магнезита на Нижне-Приангарской производственной площадке (пгт. Раздолинск, Красноярский край).

www.magnezit.ru