

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Зо Е Мо У на тему: «Пористая и высокопористая керамика из оксида алюминия и карбида кремния», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.11 – технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

В диссертационной работе Зо Е Мо У предпринята попытка решения большой проблема, существующей для многих тропических стран, где остро стоит вопрос, связанный с дефицитом чистой питьевой воды – разработана технология материалов фильтров для водоочистительных сооружений. В Республике Союз Мьянмы возможна реализация и внедрение технологии пористой проницаемой керамики, в качестве фильтров для очистки воды. Проницаемую керамику на основе электроплавленного корунда (ЭПК) повсеместно используют для приготовления керамических фильтров и мембранных подложек путем выбора зерновых композиций. Керамика на основе ЭПК обладает высокой химической стойкостью и прочностью, однако спекание ее происходит при высоких температурах. Для снижения температуры обжига пористой керамики на основе ЭПК обычно применяют различные добавки, играющие роль низкотемпературной связки, что позволяет получать керамику с достаточно высокой прочностью при сохранении высокой пористости.

Выбор упрочняющих связок в системе Al_2O_3 -MgO и SiC-MgO, при совместном применении с гидрокарбонатом аммония, который полностью удаляется при обжиге, существенно повышает пористость керамики, сохраняя при этом высокий уровень прочностных свойств, является весьма актуальным решением непростой задачи получения надежной и долговечной пористой проницаемой керамики. Такая керамика может использоваться в качестве фильтров с высокой водопроницаемостью и газопроницаемостью на стационарных и мобильных водоочистительных станциях в Республике Союз Мьянма, что делает результаты данной работы крайне актуальными для промышленного применения.

Работа представляется завершенным циклом исследований – от сырья до получения конечных опытных образцов и оценки их свойств. В связи с этим полученные результаты представляют значительный интерес как с теоретической, так и с практической точки зрения.

Целью работы является разработка технологий прочной пористой проницаемой керамики методом подбора зернового состава (наполнителя из ЭПК и полуфарфоровой связки), а также других связок на основе ЭПК и карбида кремния с открытой пористостью не менее 90 %, повышенной механической прочностью и температурой обжига не выше 1550 °С.

Степень обоснованности научных положений

Автором работы представлена адаптация существующих коммерчески доступных, дешевых порошков ЭПК к условиям производства высокопористых материалов. Установлены технологические параметры и показана связь между структурой заготовок при прессовании и свойствами ко-

нечных пористых материалов с изменениями отношения крупнозернистых и мелких фракций, а также количества и типа связки в полученной керамике.

Показано влияние одно-, двух- и трехфракционных шихтовых порошков ЭПК на характер прессования, температуру спекания, получаемую пористость, структуру, механические свойства и значения газопроницаемости.

Изучены механизмы упрочнения керамики при обжиге с использованием двух видов связок: системы Al_2O_3 - MgO – упрочнение в процессе обжига определяется степенью взаимодействия частиц глинозема между собой и поверхностью зерен электроплавленного корунда за счёт диффузионного процесса, эффективность которого зависит от дисперсности порошка связки и от дисперсности частиц глинозема и зерен электроплавленного корунда; системы SiC - MgO , при обжиге SiC частично окисляется с появлением на поверхности зерен пленки SiO_2 , которая с MgO образует эвтектический расплав, хорошо смачивающий зерна электроплавленного корунда и при охлаждении кристаллизующийся с существенным упрочнением образцов.

Применение выгорающей добавки (NH_4HCO_3) позволило увеличить пористость при неизменной, достаточно высокой прочности. Наиболее высокое значение прочности при изгибе (44 МПа) достигнуто для образцов, отпрессованных при давлении 100 МПа из состава наполнителя (ЭПК): (63–80 мкм) 5 %; (28–40 мкм) 15 %; (10–14 мкм) 80 %, связки (5 % смеси порошков SiC и MgO в соотношении 1 : 2) и 15 % выгорающей добавки NH_4HCO_3 после обжига при температуре 1450 °С, значение открытой пористости составляло 45 %.

При получении керамических высокопористых ячеистых материалов дублированием полимерной матрицы из пенополиуретана (ППУ) изучены технологические параметры: пропитка шликером, удаление избытка шликера, сушка, позволяющие получать равномерный слой порошка на поверхности пор ППУ, который после подобранных режимов обжига, обеспечивающего удаление ППУ и спекание, позволяет получить керамику с ориентированной пористой структурой. Найденные технологические параметры позволили ускорить процесс и повысить его производительность.

Впервые установлены закономерности формирования структуры и свойств высокопористых проницаемых материалов на основе природного алумосиликатного сырья для Республики Союз Мьянма. Установлена роль параметров полимерной матрицы (разного диаметра ячейки, направления вспенивания, размеров заготовки) при получении высокопористых проницаемых материалов.

Установлено, что увеличение количества связки фарфоровой массы более 50 % приводит к понижению значения прочности высокопористых материалов (от 35 МПа до 1–3 МПа), но обеспечивает работу изделий при высоких температурах (1450 °С). Установлено, что применение предварительно синтезированного муллита с добавками Y_2O_3 (1-5 %) к порошку SiC повышают прочность образцов. Для повышения прочности высокопористых ячеистых материалов перспективно использовать не предварительно синтезированный муллит, а синтезировать его в процессе спекания из исходных оксидов.

Значимость полученных результатов для науки

Всесторонний комплекс исследований, проведённых в диссертационной работе позволяет сделать полную оценку качества полученных материалов, а также научного исследования в целом

и прийти к выводу, что объем исследований в диссертационной работе Зо Е Мо У подкреплен высоким количеством научных публикаций по материалам работы и имеющейся возможностью применения разработанных высокопористых материалов на основе оксида алюминия и карбида кремния, а именно в качестве фильтров с высокой водопроницаемостью и газопроницаемостью на стационарных и мобильных водоочистительных станциях в Республике Союз Мьянма.

Практическая значимость.

Работа, несомненно, имеет прикладной характер и высокое практическое значение для производства высокопористых керамических материалов на основе оксида алюминия и карбида кремния, в частности решены следующие важные задачи:

- исследованы в широком интервале составы пористой проницаемой керамики, получаемые методом варьирования зернового состава, дающие возможность изготавливать широкий ассортимент материалов для фильтрации с различными эксплуатационными свойствами, что позволит более обоснованно их применять в решении конкретных задач водоочистки и очистки других жидкостей в Республике Союз Мьянмы;

- установлены технологические параметры получения пористой проницаемой керамики методом варьирования зернового состава и высокопористой ячеистой керамики методом дублирования матрицы из пенополиуретана, которые, благодаря своей простоте, могут быть быстро реализованы для изготовления фильтров различного назначения в промышленном масштабе в Республике Союз Мьянма.

Исследованы в широком интервале составы пористой проницаемой керамики, получаемые методом варьирования зернового состава, дающие возможность изготавливать широкий ассортимент материалов для фильтрации с различными эксплуатационными свойствами, что позволит более обоснованно их применять в решении конкретных задач водоочистки и очистки других жидкостей в Республике Союз Мьянмы;

- установлены технологические параметры получения пористой проницаемой керамики методом варьирования зернового состава и высокопористой ячеистой керамики, путем дублирования матрицы из пенополиуретана, которые, благодаря своей простоте, могут быть быстро реализованы для изготовления фильтров различного назначения в промышленном масштабе в Республике Союз Мьянма.

Апробация работы, структура и объем диссертации

По теме диссертации автором опубликовано 32 работы, в том числе одно учебное пособие и 19 работ, из которых 12 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы. Общий объем диссертации – 253 страницы, включая 61 рисунок, 38 таблиц.

Рассматриваемая диссертация является законченным исследованием, направленным на решение важной и актуальной проблемы. Она выполнена на высоком научном уровне, с использованием оригинальных подходов и представляет серьезный вклад в создание физико-химических основ проектирования свойств и разработку технологии высокопористых материалов на основе оксида

алюминия и карбида кремния, практическая реализация которого позволит решить важную хозяйственную задачу – получение фильтров различного назначения в промышленном масштабе в Республике Союз Мьянма.

Автореферат диссертации написан хорошим научным языком. Обращает на себя внимание информативность представленных рисунков, таблиц и четкость обсуждения полученных результатов. В целом, работа Зо Е Мо У производит хорошее впечатление. Диссертация является цельным и завершенным исследованием на актуальную тему, отличающимся новизной, имеющим научную и практическую значимость. Результаты диссертации достоверны, а заключение и рекомендации – научно обоснованы.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и сформулированы цель и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы положения и выносимые на защиту.

В первой главе, представляющей собой аналитический обзор литературы по теме диссертационного исследования, рассмотрены структура и свойства пористой керамики и ее характеристики: пористость, величина и распределение пор по размерам, удельная поверхность пор, проницаемость, некоторые дополнительные характеристики структуры пор, механические и физические свойства, прочность, термостойкость, деформационные свойства, теплопроводность, электропроводность, испаряемость, кислотостойкость, проанализированы области применения и приведены методы получения пористых и высокопористых ячеистых материалов, а также области применения керамических высокопористых ячеистых материалов.

Во второй главе приведены характеристики исходных материалов и методы их изготовления, методы и приборы для исследований структуры пористых и высокопористых материалов.

В третьей главе описана разработка технологии пористых корундовых материалов.

3.1. Керамические свойства на основе монофракционных порошков ЭПК со связкой из полуфарфора

Приготовлены составы ЭПК/ полуфарфор (1, 3, 5, 7 и 10 мас. %) при давлении прессования – 25 и 50 МПа и температура обжига – 1350 и 1450 °С.

Показано, что при увеличении содержания полуфарфора (от 1 до 5 %) пористость начинает уменьшаться – от 33 до 30 % (для 25 МПа) и от 31 до 29 % (для 50 МПа), а при увеличении содержания полуфарфора от 5 до 10 % – от 30 до 22 % (для 25 МПа) и от 29 до 21 % (для 50 МПа). После обжига образцов при 1450°С увеличение количества жидкой фазы приводит к тому, что эта закономерность слабо просматривается (у образцов, спрессованных под давлением 25 МПа). У образцов, спрессованных при давлении 50 МПа, зависимость уменьшения $P_{отк}$ от содержания полуфарфора приближается к линейной.

Анализ результатов показывает, что давление прессования способствует формированию каркаса, обеспечивающего прочность образцов после спекания. Области, не входящие в каркас, вносят основной вклад в пористость керамики. Увеличение количества полуфарфора меняет структуру каркаса и окружающих его областей. Присутствие ПВС и глинистых компонентов способствует

при прессовании перераспределению компонентов полуфарфора между каркасом и окружающими его областями. При спекании жидкая фаза также способствует процессам перераспределения компонентов полуфарфора.

3.2. Коэффициент газопроницаемости пористых керамических материалов на основе монофракционных порошков ЭПК с полуфарфоровой связкой

В разделе приведены исследования коэффициента газопроницаемости пористых керамических материалов на основе монофракционных порошков в зависимости от размера наполнителя из ЭПК и содержания полуфарфоровой связки.

После обжига при 1350 и 1450 °С при уменьшении количества связки из полуфарфора от 10 до 1 %, коэффициент газопроницаемости и средний размера пор увеличиваются. Для повышения прочности при сохранении достаточно высокой пористости и проницаемости решено исследовать двухфракционные составы наполнителя из ЭПК.

3.3. Керамические свойства пористых материалов на основе двухфракционных порошков ЭПК со связкой из полуфарфора

В качестве наполнителя применяли огнеупорные фракции из ЭПК 2 – 3 мм и 0,5 мм. В качестве упрочняющей связки применяли порошок полуфарфоровой массы. Количество зернистого наполнителя во всех массах составляло 95 мас. %, связки – 5 мас.% при разном соотношении зерен наполнителя крупной и мелкой фракций. Давление прессования составляло 25-100 МПа, температура обжига – 1350 и 1450 °С.

Уменьшение содержания мелкой фракции не приводит к заметному изменению открытой пористости, но заметно влияет на величину средней плотности и особенно прочности. Причем эти явления сохранялись при увеличении давления прессования от 25 до 100 МПа и при повышении температуры обжига от 1350 до 1450 °С.

Переход на двухфракционные массы дает возможность оптимизировать получение достаточной открытой пористости и одновременно достаточно высокой прочности. Основной вклад в $P_{отк}$ спеченных образцов вносит пористость областей, находящихся в пустотах каркаса. Свойства каркаса и областей, находящихся в его пустотах, определяют изменение открытой пористости и прочности спеченных образцов. Высокие плотность и прочность каркаса в заготовке приводят к тому, что прочность спеченного изделия тоже увеличивается.

3.4. Коэффициент газопроницаемости пористых керамических материалов на основе двухфракционных порошков ЭПК с полуфарфоровой связкой

В разделе описаны исследования коэффициента газопроницаемости пористых керамических материалов на основе двухфракционных порошков ЭПК и полуфарфоровой связки. Прочность полученных материалов заметно повысилась, но не превышала 15 МПа. Поэтому решено с учетом полученных результатов применить трёхфракционные составы ЭПК.

Из анализа микроструктуры материалов сделан вывод, что трещина, образующая сколы, проходит по полуфарфоровой связке, соединяющей зерна ЭПК. Это указывает на то, что полуфарфоровая связка является менее прочной, чем зерна ЭПК. Кроме того, ТКЛР полуфарфора обычно меньше, чем ТКЛР корунда. В результате при охлаждении в связке возникнут растягивающие

напряжения, уменьшающие ее прочность. Увеличение прочности связки – путь повышения прочности пористой керамики, состоящей из зерен ЭПК. Перспективно введение в фарфоровую массу добавок, повышающих ее прочность и ТКЛР до значения ТКЛР корунда.

3.5. Пористая керамика с наполнителем из трехфракционного ЭПК и упрочняющей связкой из полуфарфора

Соотношение фракций ЭПК было выбрано следующим: (63 – 80 мкм) 50%, (28 – 40 мкм) 10%, (10 – 14 мкм) 40%. Кроме того, для оценки роли самой мелкой фракции ЭПК выбран состав, состоящий преимущественно (на 80%) из нее: (63 – 80 мкм) 5%; (28 – 40 мкм) 15%; (10 – 14 мкм) 80%. Присутствие небольшого количества более крупных фракций должно влиять на реологию массы и способствовать упрочнению образующегося каркаса. Давление прессования 25 МПа, температура спекания 1450 и 1500 °С. Содержание связки из полуфарфора составляло 3 и 5 % сверх 100 % наполнителя.

Максимальной газопроницаемостью (1,45 мкм²) характеризуются образцы 40/10/50 со связкой из полуфарфора 3 %, обожженные при температуре 1450 °С. Их открытая пористость составила 44%, но прочность при изгибе невелика (8,2 МПа). Более предпочтительны образцы 80/15/5 со связкой из полуфарфора 3 %, обожженные при температуре 1500 °С. Они имели газопроницаемость 0,91 мкм², прочность при изгибе 13,4 МПа и открытую пористость 41 %.

В работе установлено, что повышение прочности пористой керамики и снижение температуры обжига возможно с помощью активных связок. Для исследованных составов прочность пористой керамики возрастала с увеличением содержания тонких фракций в наполнителе, повышения содержания связки и температуры обжига. Образцы из трехфракционных составов наполнителя из ЭПК показали наиболее высокую прочность со связкой из полуфарфора. При этом открытая пористость образцов находилась в пределах 39 – 45%.

Перспективно введение в фарфоровую массу добавок, повышающих ее прочность и ТКЛР до значения ТКЛР корунда. Но при переходе на трехфракционные составы плотность упаковки частиц возрастает. Это привело к тому, что коэффициент газопроницаемости трехфракционных составов оказался ниже, чем при использовании двух и монофракционных составов. Поэтому решено применять не полуфарфоровую связку, а другие, более прочные связки.

3.6. Пористая керамика с наполнителем из трехфракционного ЭПК и упрочняющими связующими на основе высокодисперсного корунда и системы SiC – MgO

Для увеличения прочности пористой керамики применяли связку на основе высокодисперсного корунда с добавками MgO и связку материалов в системе SiC-MgO при температурах спекания 1450, 1500 и 1550 °С. Содержание связки составляло 1-5 % сверх 100 % наполнителя.

Связка системы SiC-MgO при массовом соотношении 2:1 оказалась значительно более эффективной, чем связка Al₂O₃-MgO. Для монофракционных образцов влияние вида связки менее значительно, чем для трехфракционных. Прочность образцов со связкой Al₂O₃-MgO из монофракционных составов в 3 раза меньше, чем для трехфракционных при давлении прессования 25 МПа. При использовании связки системы SiC-MgO прочность образцов из монофракционных составов значительно (в 5 раз) меньше, чем для трехфракционных при давлении прессования. При обжиге

образцов со связкой системы SiC-MgO на воздухе SiC частично окисляется до SiO₂. Различие в ТКЛР связки и наполнителя может отрицательно сказаться при использовании материала в условиях изменяющихся температур и, особенно, при термических ударах. В результате работы для монофракционных и трёхфракционных составов наполнителя из ЭПК установлено, что повышение прочности пористой керамики и снижение температуры обжига возможно с помощью активных к спеканию связок. Наибольшее влияние на прочность образцов оказывала связка системы SiC-MgO. При этом открытая пористость образцов находилась в пределах 25 – 40%.

3.7. Газопроницаемость пористой керамики из трёхфракционных порошков ЭПК с упрочняющими добавками на основе Al₂O₃ и системы SiC – MgO

В разделе описаны исследования коэффициента газопроницаемости пористых керамических материалов на основе трёхфракционных порошков ЭПК с упрочняющими связками на основе высокодисперсного корунда с добавками MgO и системы SiC-MgO при температурах спекания 1450, 1500 и 1550 °С.

Для образцов 80/15/5 коэффициент газопроницаемости при повышении температуры обжига с 1450 до 1500 °С изменялся от 0,94 до 1,6 мкм². При этом прочность при изгибе увеличивалась от 31,5 до 36 МПа при 5 % связки и от 19,8 до 27,6 МПа при 3 %.

Для смеси трёхфракционных порошков ЭПК у образцов 80/15/5 коэффициент газопроницаемости при повышении температуры обжига с 1500 до 1550 °С возрастал с 0,94 до 1,62 мкм². При этом прочность при изгибе увеличивалась от 12 до 15,2 МПа при 5 % связки и от 10,4 до 12,6 МПа при 3 %. Однако коэффициент газопроницаемости трёхфракционных составов оказался ниже, чем при использовании двух и монофракционных составов. Поэтому решено для повышения пористости и газопроницаемости использовать выгорающие добавки.

3.8. Пористая керамика из трёхфракционных порошков ЭПК со связующими на основе высокодисперсного Al₂O₃ или системы SiC – MgO и выгорающими добавками

В разделе описаны исследования в области получения пористых керамических материалов на основе трёхфракционных порошков ЭПК с упрочняющими связками на основе высокодисперсного корунда с добавкой MgO и системы SiC-MgO с выгорающими добавками. В качестве порообразователей использовали гидрокарбонат аммония NH₄HCO₃.

При увеличении содержания выгорающих добавок от 15 до 45 %, прочность образцов значительно уменьшилась для всех составов. Для трёхфракционных составов со связкой Al₂O₃-MgO самая высокая пористость (51 %), его механическая прочность составляла 10 МПа.

Максимальную газопроницаемость (2,8 мкм²) показали образцы 80/15/5 со связкой материалов в системе SiC-MgO 5 % и 45 % выгорающей добавки, обожженные при температуре 1450 °С. Их открытая пористость составила 55 %, однако прочность при изгибе была невелика (19 МПа). Более предпочтительны образцы 80/15/5 с выгорающими добавками 30 %. С повышением содержания выгорающих добавок понижается количество межчастичных контактов. Полученные виды пористой керамики перспективны для использования в качестве фильтров и подложек керамических мембран, применяемых при высоких механических нагрузках.

В четвертой главе описана разработка технологии получения высокопористых материалов.

4.1. Особенности и получения высокопористых корундовых материалов, их структура и свойства

Высокопористые ячеистые материалы изготавливали нанесением керамического шликера на формообразующую подложку, в данном случае из пенополиуретана. Использовали заготовки с размером ячейки 0,3-0,5; 0,8-1 и 3-5 мм. В перемычках пенополиуретанового образца отсутствуют поры, поэтому уплотнения отливки осуществляется при испарении дисперсной водной среды при сушке, а не за счет удаления ее из шликера при капиллярном всасывании в поры формы. Таким образом, данный метод формования можно считать литьем в непористые полимерные формы. Обжиг образцов проводили в воздушной атмосфере при температуре 1450 °С.

Из полученных результатов видно, что диаметр ячейки структурного каркаса влияет на прочность при сжатии. Максимальное значение прочности при температуре обжига 1450 °С составило 35 МПа. На ухудшение свойств влияет рекристаллизация муллита, а при охлаждении происходит его кристаллизация в виде более крупных кристаллов. При высоком содержании Al_2O_3 образуется много игольчатых кристаллов, которые при дальнейшем нагревании растут, приводя к расширению заготовки (уменьшая конечную усадку), разрыхляя структуру керамики и снижая ее прочность. На спекание влияет газовая среда. В восстановительной среде можно снизить температуру обжига (на 100-120 °С). Охлаждение изделий после обжига вызывает напряжения в материале, при переходе из пиропластического состояния в хрупкое, при модификационных превращениях кварца и при перепадах температур. Пористость перемычек при содержании полуфарфора в количестве 50-90 % мас. увеличивается, а прочность уменьшается. Это может быть связано с образованием значительного количества стекловидной фазы.

4.2. Высокопористая проницаемая ячеистая керамика из карбида кремния с добавками муллита

В качестве упрочняющего и спекающего компонента, соединяющего частицы SiC, использовали муллит с добавками оксида иттрия (1-5 %), который синтезировали отдельно. Полученным шликером пропитывали заготовки из пенополиуретана. Обжиг образцов проводили при температурах 1350 и 1450 °С. После обжига получены керамические образцы с пористостью, приближающейся к пористости ППУ – до 95 %. С повышением концентрации Y_2O_3 происходит увеличение прочности изделий. Прочность изделий, обожженных при температуре 1350 °С ниже, чем у изделий, обожженных при 1450 °С.

Применение предварительно синтезированного муллита с добавками Y_2O_3 в качестве связки, скрепляющей частицы SiC, позволило получить высокопористый ячеистый материал из керамики, прочность которого не превышала 15 МПа, что объясняется высокой пористостью и недостаточной прочностью перемычек, которая не превышала 1,5 МПа.

4.3. Кислотостойкость и щелочестойкость пористой керамики и высокопористого ячеистого материала

Для определения кислотостойкости отбирали образцы по оптимальному результату свойств пористой керамики и высокопористого ячеистого материала и кипятили их в растворе серной кис-

лоты в течение 24 ч. В качестве щелочной среды использовали 2н раствор КОН. Образцы кипятили в растворе в течение 24 ч.

Анализируя полученные данные можно сказать, что образцы являются устойчивыми к воздействию кислоты ($K_k = 99,2-99,6 \%$), что является обязательным условием для применения керамики для очистки загрязненной воды. Основные потери по массе выявлены в первые часы испытаний. Коэффициент щелочестойкости $K_{щ}$ составил 98,0-98,8 %.

По содержанию работы возникли следующие замечания и вопросы:

1. В тексте работы не корректно писать «разработана технология получения», поскольку термин «технология» и так подразумевает под собой получение материалов;
2. На всех картинках структур материалов плохо читается линейка, что не позволяет оценить размер частиц полученной керамики;
3. В работе не сказано, плёнка стекловидной фазы какого состава образуется на поверхности зерен электроплавленного корунда?
4. При упоминании факта, что трещина проходит по полуфарфоровой связке на микрофотографиях структуры, для ясности, нужно было бы пометить ее стрелками. Также стрелками можно было бы пометить разные фазы материала на микрофотографиях структур;
5. Автор не поясняет почему материалы, состоящие из трехфракционных шихтовых порошков при переходе от более крупно- к более мелкофракционным шихтовым порошкам при практически разных значениях пористости и плотности имеют прочность выше в 1,6-2,0 раза (табл. 3.7 и 3.8);
6. С чем связана, полученная в работе, такая большая разница в пористости материалов из трёхфракционных шихтовых порошков при переходе от крупной к мелкой шихтовой фракции. И почему для материалов из мелкой шихты пористость увеличивается, и прочность также возрастает (табл. 3.9)?
7. Не совсем правильное утверждение автора работы, что карбид кремния окисляется до оксида кремния, на самом деле на нём формируется свой SiO_2 определенной толщины, препятствующий дальнейшему окислению;
8. Неясно, как автор определил, что карбид кремния переходит в SiO_2 , проводил ли он РФА, а также, как выяснилось, что в процессе обжига может образоваться монооксид кремния?
9. Не согласен с высказыванием автора, что «газообразные продукты SiO и CO попадая в расплав снижают его температуру»;
10. Автор не предлагает решения, как можно увеличить прочность перемычек в композиционном материале SiC-мулит- Y_2O_3 , хотя высказывает предположение, что это единственный вариант для увеличения прочности материала?
11. Непонятно зачем при испытаниях на кислотоустойчивость образцы, после промывания водой, сушили при температуре 500 °С, когда достаточно было бы просушить образцы от воды при температуре ≥ 100 °С?
12. Также надо отметить, что в работе имеется много орфографических ошибок и опечаток.

Заключение и выводы

Несмотря на большое количество замечаний, которые носят, скорее, характер пожеланий, они не снижают высокого научного уровня и не влияют на общую оценку выполненных исследований. Диссертация хорошо структурирована, грамотно оформлена и **полностью соответствует паспорту заявленной специальности 05.17.11.**

Считаю, что рассматриваемая диссертационная работа представляет собой законченное исследование, свидетельствующее о большом вкладе соискателя в развитие направления науки о силикатных и тугоплавких неметаллических материалах, и соответствует требованиям пп. 9-14 «Положение о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук. Её автор, **Зо Е Мо У**, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.11 – технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

И.о. старшего научного сотрудника лаборатории
Кремнийорганических соединений и материалов
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Ордена Трудового Красного Знамени Института химии силикатов
им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук,
доктор технических наук, по специальности 05.17.11 – Технология
силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

Сергей Николаевич Перевислов

18.04.2019г

Адрес ИХС РАН: 199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 2

Тел. отд. кадров ИХС РАН: 8(812) 328-85-78

Тел. сот.: 8(904) 551-49-55

E-mail: perevislov@mail.ru

Подпись Перевислова С.Н. заверяю,
ВРИО Заместителя директора
по научной работе, к.х.н.



Н.Н. Тюрнина