

УДК 666.3/7(075.8)

Сергиевич О.А.¹, кандидат технических наук;

Колонтаева Т.В.², кандидат технических наук, доцент;

Шевченко А.А.³, кандидат технических наук, доцент;

Дятлова Е.М.¹, кандидат технических наук, доцент

¹УО «Белорусский государственный технологический университет»,

²Белорусский национальный технический университет,

³УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

ИЗНОСОСТОЙКИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

***Аннотация.** Разработаны составы износостойких титаносодержащих керамических материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками, предназначенные для использования в машиностроительной отрасли.*

Последние десятилетия характеризуются усилением внимания к проблемам трения и изнашивания материалов. Применяемые в производстве узлы трения зачастую имеют короткий срок службы из-за интенсивного изнашивания, что может привести к сбою в работе машины. В связи с этой важной научной и технической проблемой является разработка новых износостойких материалов.

Интенсивное развитие современной техники требует создания новых конструктивных материалов с высокой износостойкостью, огнеупорностью и механической прочностью. Особый интерес представляет износостойкая керамика, изделия из которой работают в условиях длительных истирающих нагрузок. Нередко износостойкие детали работают при высоких температурах, резких перепадах температуры и других осложняющих факторах.

Важнейшими компонентами современной конструкционной и инструментальной керамики являются оксиды алюминия, циркония, нитриды кремния, бора, алюминия, карбиды кремния и бора, их твердые растворы и разнообразные композиты. Актуальным направлением современных исследований является сочетание различных систем, синтез и изучение новых материалов, полученных

на их основе. Поэтому проблема разработки новых керамических материалов с улучшенными износостойкими характеристиками и пониженной температурой синтеза является очень актуальной. Рассматривают получение рутиловой, корундовой керамики, а также керамики на основе других высокотемпературных оксидов.

В последние годы наблюдается повышенный интерес к износостойким материалам на основе диоксида титана. Современные титановые керамики по прочности соединения с металлом находятся на уровне с металлокерамическими системами на основе благородных металлов или сплавов без них. Титановая керамика – керамика на основе соединений титана. Наиболее широко используется керамика на основе рутила (TiO_2), перовскита (CaTiO_3), титаната стронция (SrTiO_3) и титаната бария (BaTiO_3) [1].

В связи с этим целью данной работы является разработка составов и технологических параметров получения керамических материалов на основе диоксида титана, обладающих высокой прочностью, износостойкостью, способностью работать длительное время в условиях истирающих нагрузок.

Диоксид титана встречается в природе в виде трех основных кристаллических формах: анатаз, рутил и брукит, последний в природе встречаются редко и коммерческого интереса не представляет. Анатаз – минерал, одна из трёх природных полиморфных модификаций TiO_2 . Кристаллизуется в тетрагональной системе. Твёрдость по минералогической шкале 5,5–6,0; плотность 3820–3950 кг/м³. Химический состав: титан (Ti) 60 %, кислород (O) 40 %. Брукит – по химическому составу идентичен рутилу и анатазу. Содержит 59,94 % титана и 40,06 % кислорода. При 750 °C переходит в рутил. Рутил – аллотропная модификация диоксида титана. В виде примеси содержит закись железа, обладает алмазно-металлическим блеском, прозрачен, цвет красно-коричневый, иногда желтоватый, синеватый, фиолетовый или черный, плотность минерала 4180–4280 кг/м³ [1].

При приготовлении масс, на основе анализа обзора литературы, с целью синтеза износостойкой керамики, выбрана система $\text{TiO}_2\text{-R}_x\text{O}_y$ при содержании TiO_2 более 80 %, дополнительными составляющими выбраны оксиды Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 , CaO , MgO . Для повышения механической прочности износостойкой керамики вводят или ZrO_2

(2,5–5 %¹), глинистые компоненты (глина, бентонит) использовались для улучшения формовочных свойств в количестве 2–3 %, для повышения спекаемости в массу вводится фторид кальция (1 %) и тальк (2–6 %). В качестве сырьевых материалов использовались: диоксид титана (ТУ 2321–001–17547702–2014); диоксид циркония (ТУ 95 2782–2001); фторид кальция (ТУ 6–09–5335–88); карбонат бария (ГОСТ 2149–75); глина огнеупорная «Керамик-Веско» Веселовского месторождения (ГОСТ 3226–93); бентонит Огланлыкского месторождения (ГОСТ 28177–89); тальк онотский (ГОСТ 21234–75).

Образцы износостойкой керамики изготавливались по технологии полусухого прессования. Предварительно подготовленные и отдозированные весовым способом согласно рецепту компоненты (500 г.) подвергались совместному сухому помолу в микромельнице «SPEEDY-1» в течение 20 мин. до остатка на контрольном сите № 0063 в количестве не более 1–2 %. Затем смесь увлажнялась до 7 % и вылеживалась в течении суток в закрытой таре с целью усреднения влажности. Образцы в виде дисков диаметром 20 мм, высотой 3 мм формовались методом полусухого прессования на лабораторном прессе при давлении 20 МПа. Сушка полуфабриката проводилась в сушильном шкафу при температуре (100±5) °С. Обжиг образцов производился в электрической лабораторной печи SNOOL 1,6,2,5.1/13,5-Y1 при температурах 1350–1400 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч. Скорость подъема температуры составляла 250 °С/ч. Были исследованы физико-химические свойства образцов и установлена их зависимость от состава и температуры обжига.

Установлено, что с повышением температуры обжига пористость и водопоглощение образцов уменьшаются. Это объясняется тем, что с ростом температуры обжига усадка образцов увеличивается вследствие более полного спекания, нарастания количества жидкой фазы и сближения частиц под действием капиллярных сил и сил поверхностного натяжения. В первую очередь растворяются мелкие кристаллы и выпуклые участки других кристаллов, т.е. осуществляется перенос веществ через расплав, при этом укрупняются кристаллы, сглаживаются их поверхности, что обеспечивает уплотнение системы и увеличение усадки с ростом температуры обжига.

¹ здесь и далее по тексту содержание приведено в массовых процентах.

Зависимость водопоглощения образцов от количества вводимых добавок и температуры обжига представлена на рисунке 1 (а, б).

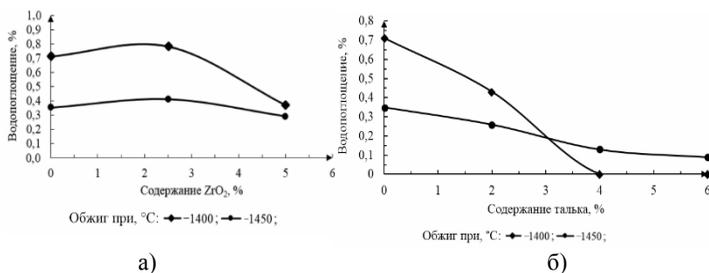


Рисунок 1 – Зависимость водопоглощения опытных образцов от количества добавок и температуры обжига: а – ZrO_2 , б – тальк

Активизация спекания связана с интенсификацией процессов переноса вещества и увеличения количества расплава, способного к вязкому течению, в результате чего уменьшаются пористость и водопоглощение образцов, возрастает их плотность. С увеличением содержания ZrO_2 пористость и водопоглощение материала уменьшается, а кажущаяся плотность соответственно увеличивается. Несмотря на высокую температуру плавления, оксид циркония при спекании участвует в диффузионном переносе вещества, способствуя повышению плотности и снижению пористости спекаемой системы. С введением талька водопоглощение опытных образцов составляет менее 1 %, оксид магния активизирует процесс спекания, поэтому пористость и водопоглощение несколько уменьшаются. Однако, изменение кажущейся плотности носит сложный характер, она при увеличении содержания талька также несколько снижается, что вероятно можно объяснить уменьшением истинной плотности образцов при введении MgO с небольшой молекулярной массой по сравнению с TiO_2 .

Механическая прочность при сжатии опытных образцов находилась в пределах 615–632 МПа, наблюдалось небольшое (на 3–5 МПа) увеличение прочности при повышении температуры спекания до 1450 °С, а добавки практически не повлияли на ее показатели.

Как известно, износостойкость материала зависит от твердости его поверхности. Этот показатель опытных образцов оценивался по шкале Мооса и значениям микротвердости. Установлено, что твер-

дость образцов по шкале Мооса зависит от температуры обжига, вида и соотношения кристаллической и стекловидной фаз и находится в пределах 7–8. Микротвердость образцов, обожженных при 1400 °С, колеблется в пределах 6290–8100 МПа, при 1450 °С ее значения возрастают до 7140–8410 МПа, при этом вводимые добавки ZrO_2 и талька не оказывают существенного влияния на показатель.

Следует отметить, что после механической обработки (шлифовки поверхности) микротвердость образцов значительно уменьшается до 4500–6400 МПа, что можно объяснить более мелкозернистой структурой поверхностного слоя, формирующегося при спекании на границе раздела фаз (Т–Г). Как известно мелкозернистые кристаллы обладают большими прочностными характеристиками, чем более крупные, которые формируются во внутренних слоях материала [2].

Все синтезированные материалы имеют высокую механическую прочность. Для образцов, обожженных при 1400 °С, прочность при сжатии составляет 616–627 МПа, а при 1450 °С повышается до 626–635 МПа. Образец материала оптимального состава имеет показатели: температура обжига – 1400 °С, кажущаяся плотность – 3630 кг/м³, водопоглощение – 0,0 %, открытая пористость – 0,0 %, ТКЛР– $6,631 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, прочность при сжатии – 619,8 МПа, твердость по Моосу – 8, микротвердость – 8409,33 МПа. Фазовый состав керамики, обожженной при температуре 1400 °С, представлен рутилом и незначительными примесями перовскита (рисунок 2).

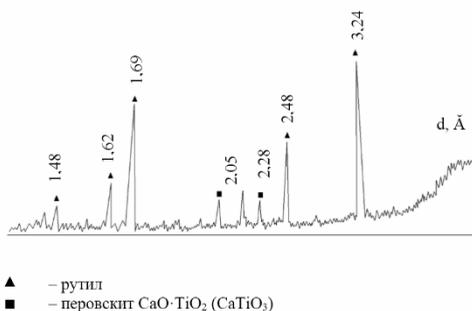


Рисунок 2 – Дифрактограмма образца оптимального состава

Результаты оптической микроскопии поверхности образца оптимального состава и внутреннего скола представлены на рисунке 3.

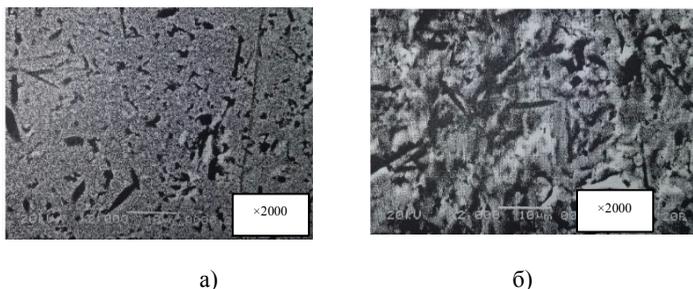


Рисунок 3 – Оптическо-микроскопическое изображение поверхности (а) и скола (б) синтезированных образцов

Исследование структуры скола и поверхности опытных образцов показало, что на поверхности размер кристаллов значительно меньше, поры практически отсутствуют. Сколы образуются с более гетерогенной структурой, что проявляется в микротвердости.

Таким образом, разработанные составы титаносодержащих керамических материалов могут быть использованы в электронной, химической и машиностроительной отрасли, а также для получения износостойких деталей для применения на предприятиях легкой промышленности.

Список использованных источников

1. Оксид титана. // Библиотека ГОСТов [Электронный ресурс]. – 2015.– Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/20/20691.shtml> – Дата доступа: 15.12.2017.
2. Белый, А.В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев / А.В. Белый, Г.Д. Карпенко, Н.К. Мышкин. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.

Abstract. Compositions of wear-resistant titanium-containing ceramic materials with improved performance characteristics have been developed for use in the machine-building industry.