

гоплавкая глина месторождения «Городное», обработанная 50%-ным раствором  $H_3PO_4$ , в количестве 10 мас.% (состав В); 70 мас.% трепела, обработанного  $NaOH$ , и 30 мас.% алюминия (состав С); 70 мас.% трепела, обработанного  $NaOH$ , 30 мас.% алюминия и 10 мас.% глинофосфатного связующего (состав D).

По данным рентгенофазового анализа основными фазами, образующимися в СВС-смесях состава В, являются корунд ( $\alpha-Al_2O_3$ ) – 65%, свободный кремний (Si) – 26% и силицид кальция ( $CaSi_2$ ) – 9%; состава С – Si (69%),  $Al_2O_3$  (14%),  $CaSi_2$  (13%),  $\alpha-Al_2O_3$  (4%); состава D – Si (33%),  $\alpha-Al_2O_3$  (31%); шпинель ( $MgAl_2O_4$ ) – 11%,  $Al_2O_3$  (14%),  $CaSi_2$  (2%), а также присутствуют фазы  $Ca(OH)_2$  – 12%,  $Na_2CO_3$  – 11%.

Синтезированные СВС-материалы обладают следующими показателями основных свойств: плотность кажущаяся 800–1540 кг/м<sup>3</sup>, плотность истинная 2200–2650 кг/м<sup>3</sup>, пористость истинная 62–65%, механическая прочность при сжатии 2,4–3,8 МПа, теплопроводность при 200°C 0,18–0,20 Вт/(м·К) и могут быть использованы в качестве огнеупорных и теплоизоляционных материалов при конструировании теплозащиты любого теплового агрегата.

УДК 666.762.5:54-162

### **Особенности структурной инженерии в технологиях триботехнических материалов и изделий**

Шмурадко В.Т., Степкин М.О.

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики»

Актуальность, научная значимость и практическая направленность исследования состоит в разработке физико-химических основ структурной инженерии и создании на базе материаловедческой программной формулы «состав-структура-свойство» высокопрочных износостойких материалов и изделий триботехнического назначения на основе корунда, модифицированного ультрадисперсными оксидами Mg, Si, Y, Zr, что позволит в дальнейшем организовать их выпуск на уровне мобильных производств. Имеются в виду такие изделия, как уплотнительные элементы высокоскоростных устройств, дюзы для риммеров подземной проходки грунтов, износостойкие элементы бурового оборудования и пр.

Используя разработанные принципы и механизмы управления структурными уровнями, в рамках программной материаловедческой формулы «состав-структура-свойство» - «триботехнический материал», созданы и реализованы физико-химические подходы синтеза износостой-

ких корундовых материалов с добавками-модификаторами. Получены базовые составы триботехнических материалов  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  –  $\text{MgO}$  (M1),  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  –  $\text{ZrO}_2$  ЧСЦ  $\text{Y}_2\text{O}_3$  (M2), заменившие твердосплавные. На их основе получены гранулированные пресспорошки. Исследованы механизмы пресования материалов из гранул при 50-300 МПа и процессы их тепловой обработки при 1600 °С – 1800 °С. Установлены и обоснованы закономерности фазовых переходов моноклинного (m)- $\text{ZrO}_2$  в тетрагонально-кубические фазы (t-c)  $\text{ZrO}_2$  в корундовой матрице ( $\alpha$ -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) при скоростном охлаждении (1800 → 1200 °С) оксидной композиции  $\alpha$ -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{ZrO}_2$ . Проведен анализ механизмов дисперсного упрочнения корундовой матрицы ультрадисперсными частицами (30-100 нм) из диоксида циркония частично стабилизированного оксидом иттрия ( $\text{ZrO}_2$  ЧСЦ  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) в температурном режиме 24 → нагрев → 1800°С → скоростное охлаждение → 1300°С. Установлено, что наиболее эффективно механизмы дисперсного упрочнения выполняются при введении в корундовую матрицу частиц  $\text{ZrO}_2$  размером 50–75 нм. Разработаны температурно-временные режимы спекания и получения дисперсно-упрочненных корундовых материалов. Исследованы их физико-механические свойства. Изготовлены экспериментальные образцы уплотнительных колец и абразивно-износостойких дюз (сопла) (рис. 1,2) для риммеров подземной бестраншейной проходки грунтов и одновременной прокладки кабельных коммуникаций в промышленно-городских условиях. Проведены успешные натурные испытания



Рисунок 1 – Дюзы для риммеров подземной проходки грунтов



Рисунок 2 – Кольца керамические уплотнительные для высокоскоростных устройств

экспериментальных образцов. Разработанные материалы имели следующие свойства: для M1:  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  +  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  -  $K_{1c} = 3,5 - 5,6$  МПа  $\times$   $\text{м}^{0,5}$ , тогда как для  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  -  $K_{1c} = 1,8 - 2$  МПа  $\times$   $\text{м}^{0,5}$ ;  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $K_{1c} = 3,6 - 4,6$  МПа  $\times$   $\text{м}^{0,5}$ ;  $E_{M1} = 398$  ГПа,  $\sigma_{изг.M1} = 274$  МПа,  $\rho = 3,94$  г/см<sup>3</sup>,  $K_{тр.M1} = 0,3 - 0,48$ ,  $K_{изн-ст.} = (4,3 - 5,0) \times 10^{-5}$  г/ч; для M2:  $\alpha$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  +  $\text{ZrO}_2$  ЧСЦ 3 масс. %  $\text{Y}_2\text{O}_3$  -  $K_{1c} = 6,6 - 7,4$  МПа  $\times$   $\text{м}^{0,5}$ ,  $E_{M2} = 350 - 357$  ГПа,  $\sigma_{изг.M2} = 530 - 598$  МПа,  $\rho = 4,25 - 4,33$  г/см<sup>3</sup>,  $K_{тр.M2} = 0,2 - 0,45$ ,  $K_{изн-ст.} = (4,0 - 6,10) \times 10^{-5}$  г/ч.