

В рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России» и «Программы развития nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года» решаются комплексные задачи по созданию и производству изделий из наноматериалов специального назначения. Особый интерес представляет анализ факторов, влияющих на полученные изделия с содержанием наноразмерных компонентов и изучение внутренних поверхностей образцов, подвергшихся внешним нагрузкам. Одним из перспективных направлений получения наноразмерных энергонасыщенных материалов является криохимическая технология [1]. Большой теоретический и практический интерес вызывают исследования, проводимые в данном направлении: изучены закономерности уплотнения наноразмерных солей окислителей, получены зависимости плотностей от рабочих давлений прессования, установлено влияние скорости на процесс уплотнения изделий в глухой матрице, определены рациональные режимы ведения процесса [2, 3]. Известно, что плотность спрессованного изделия является функцией трех основных параметров: давления, температуры и времени. Увеличение времени выдержки, уменьшение скорости прессования способствуют получению изделий большей плотности, в меньшей мере проявляются упругие напряжения, приводящие к образованию расслойных трещин в извлеченном из матрицы изделии. Проведенный анализ упругого последействия спрессованных наноразмерных солей окислителей, таких как  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{KClO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  позволил установить, что изделия из наноразмерного  $\text{NaNO}_3$  (скорость прессования 10 мм/мин) по высоте увеличились в среднем на 4,8 %, а по диаметру на 2,7 %. Наибольший рост происходил в течение первых 48 - 72 часов, затем замедлялся и практически прекращался. Для образцов, полученных на скорости прессования 4 мм/мин, увеличение по высоте составило в среднем 5,4 %, по диаметру - 1,6 %. Увеличение по высоте для изделий, полученных при скорости прессования 2 мм/мин, составило в среднем 1,8 %, по диаметру - 1,7 %. Температура хранения готовых образцов составляла  $20 \pm 2$  °C, прочность при хранении в течение 10-12 дней в условиях небольших температурных колебаний не изменилась. Изделия, полученные из гранул наноразмерного  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ , с течением времени показали уменьшение по высоте в среднем на 14,73 % и по диаметру на 1,54 % (скорость прессования 10 мм/мин) (рис.1). а Рис. 1 - Изменение размеров изделий из наноразмерного  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  со временем по высоте и диаметру: , , - исследуемые образцы, а - скорость прессования 10 мм/мин Также происходило уменьшение по высоте и диаметру образцов, полученных на скоростях прессования 4 и 2 мм/мин (по высоте в среднем 9,83 %, по диаметру - 1,44 %). Наноразмерные материалы проявили свойства гигроскопичных окислителей в гораздо большей степени, чем исходные составы. Изделия из наноразмерного  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  показали увеличение размеров по высоте (в среднем на 0,8 %), а также по диаметру (0,92 %). Для

образцов из наноразмерного  $Pb(NO_3)_2$  наблюдалось уменьшение размеров по высоте (11 %) и по диаметру (1,1 %). Для изделий из исходного и наноразмерного  $(CH_2)_6N_4$  изменения размеров спрессованных образцов не выявлено. Все изделия из исходных порошков солей нитратов, полученные методом глухого прессования в матрицу, после снятия приложенных нагрузок своих размеров не изменили. Как видно из представленных выше результатов, после снятия приложенных нагрузок, спрессованные образцы из наноразмерных гранул солей нитратов вели себя неоднозначно. Ряд изделий (например,  $NaNO_3$ ,  $NH_4NO_3$ ) увеличивались по высоте и диаметру. Образцы из наноразмерного  $KNO_3$  увеличивались в диаметре, но уменьшились по высоте. Образцы из наноразмерных  $Sr(NO_3)_2$  и  $Pb(NO_3)_2$  активно проявляли гигроскопические свойства, выраженные сильнее иных образцов: с течением времени уменьшаясь в размерах, как по высоте, так и по диаметру. Полученные спрессованные изделия из наноразмерных гранул  $(CH_2)_6N_4$  и  $KClO_4$  с течением времени размеров не изменяли. Таким образом, анализ упругого последействия спрессованных образцов исследуемых веществ позволяет предположить зависимость большинства наноразмерных солей нитратов от изменения влажности окружающей среды. Изделия, полученные из гранул наноразмерного диапазона, эти свойства проявляются гораздо активнее. Из литературных и экспериментальных данных известно, что процесс прессования ультрадисперсных порошков определяется совокупностью нескольких факторов, среди которых заметное уменьшение запрессованного воздуха, в результате которого активно снижаются местные напряжения и возрастают внутренние силы сцепления [4]. Изображения, полученные с помощью растрового электронного микроскопа (JIB-4501 «Мультибим» Япония, ускоряющее напряжение зондирующего электронного пучка 10 кВт, увеличение от 50 до 20000 крат), позволили оценить микроструктуру наноразмерных гранул спрессованных наноразмерных солей нитратов и показали наличие четко выраженных пор, соответствующих нанометровому диапазону. Некоторые результаты представлены на рис. 2. Анализ полученных фотографий показывает, что в изделиях, полученных из исходных порошков солей нитратов методом глухого прессования в матрицу, присутствуют поры, которые располагаются на границах зерен. Остаточные микропоры нанометрового диапазона геометрически неравномерны, локализуются в основном на участках стыковки нескольких зерен. Для энергонасыщенных материалов с содержанием наноразмерных компонентов наличие проникающих остаточных микропор, расположенных преимущественно на участках стыковки нескольких зерен, в спрессованном изделии при соответствующих условиях может стать источником разрушений и нарушения устойчивого послойного горения систем. Минимальная предельная пористость, которая может быть получена методом глухого прессования, зависит от индивидуальных свойств веществ [5, 6]. а б Рис. 2 -

Микроструктура поверхностей стекла изделий из наноразмерных солей окислителей: а, б - исходный и наноразмерный  $Pb(NO_3)_2$ . Увеличение  $\times 2000$