

**СОЗДАНИЕ МЕТОДОМ СВС МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ И КЕРАМИЧЕСКИХ  
ПОРОШКОВ И ПОЛУЧЕНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ  
И ИЗНОСОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ ВЗРЫВНОГО  
КОМПАКТИРОВАНИЯ И ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ.  
ПРОЕКТ № 29**

**Координаторы:** акад. Титов В. М., акад. Витязь П. А.

**Исполнители:** ИГиЛ СО РАН, ИПМ НАН РБ

Настоящий проект — комплексное исследование, связанное с решением проблем синтеза, детонационного напыления и взрывного компактирования порошков с целью получения новых материалов с повышенными эксплуатационными свойствами.

Порошки, полученные в ИПМ НАН РБ, были исследованы в Институте гидродинамики в качестве материала для напыления на детонационной установке «Обь». Комплекс аналитических исследований полученных покрытий включал следующие методики: фотографирование микроструктуры, рентгеноструктурный анализ химического состава, измерение твердости, тесты на абразивный и эрозионный износ, измерение трибологических характеристик покрытия.

Проведенные комплексные исследования показали, что при детонационном напылении порошки, полученные методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), имеют явные преимущества в сравнении с порошками, полученными традиционным способом. Особенно перспективным представляется композит  $\text{Cr}_3\text{C}_2/\text{TiC} + 30\% \text{NiCr}$ , из которого получают высококачественные износостойкие покрытия, практически не уступающие лучшим износостойким покрытиям из композитов на основе карбида вольфрама. При этом удельная стоимость покрытия оказывается намного меньшей из-за меньшей плотности материала и более низкой стоимости сырья.

Исследования эксплуатационных характеристик покрытий из порошка  $\text{NiAl}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , синтезированного методом СВС, не уступают покрытиям из такого композита, полученного

традиционным методом. При этом эффективность использования синтезированного порошка при детонационном напылении существенно выше.

Порошки, содержащие карбид титана, были исследованы на предмет динамического (взрывного) компактирования с целью получения образцов высокой твердости. Для этого невозмущающим электромагнитным методом были исследованы ударные сжимаемости порошков, полученных методом СВС. На основе этих данных разработаны схемы и оптимизированы режимы взрывного компактирования порошков. Получены компактные образцы металлокерамических композиционных материалов с плотностью, близкой к плотности монолитного материала. Исследования структуры компактов показали практически полное отсутствие пористости. Образцы показали высокую микротвердость —  $1100 \pm 80 \text{ HV}$  для компактов на основе карбидов титана и никеля.

Аналогичный цикл исследований был проведен с порошками  $\text{AlNi} + \text{Al}_2\text{O}_3$ . Микротвердость полученных компактов также весьма высока —  $580 \pm 45 \text{ HV}$ .

Эти исследования показывают, что материалы, получаемые методом СВС, содержащие карбид титана и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , могут быть перспективны для приложений.

Синтез этого материала представляет значительный интерес ввиду того, что он является потенциально сверхтвердым материалом, сравнимым по твердости с алмазом и нитридом бора. Порошки подобных материалов могут быть армирующей фазой при создании дисперсно-упрочненных металлокерамических композитов



Фотография спека кубического нитрида кремния (цена маленького деления — 1 мм).

Picture of sintered bulk of cubic silicon nitride (scale marker — 1 mm).

или необходимыми как инструмент при шлифовальных работах.

Задача решена посредством сочетания динамических и статических методов воздействия на вещество. Вначале гексагональная фаза  $\text{Si}_3\text{N}_4$  подвергалась ударно-волновому воздействию до давления  $\sim 50$  ГПа (при этом принимались специальные меры для понижения температуры ударного сжатия). После этого очищенный порошок полученной кубической фазы  $\text{Si}_3\text{N}_4$  помещался в беспрессовый аппарат

типа «разрезная сфера» Института минералогии и петрографии СО РАН, в котором вещество выдерживалось при температуре  $1100\text{—}1350$  °С и давлении  $5\text{—}6$  ГПа в течение нескольких часов. В результате были получены таблетки материала  $\varnothing 3 \div 6$  мм и высотой  $2,5\text{—}3,0$  мм. Микротвердость полученных спеков высока и достигает в максимуме  $55 \pm \pm 13$  ГПа.

Таким образом, впервые в России синтезирована кубическая фаза нитрида кремния: при ударно-волновом нагружении смеси порошков гексагональной фазы  $\text{Si}_3\text{N}_4$  и меди при давлении  $53$  ГПа практически весь нитрид кремния переходит в кубическую фазу (см. рисунок). Реализованная схема синтеза позволяет получать до  $1,5$  г этой фазы за один эксперимент.

Высокотемпературное спекание при давлении  $5\text{—}6$  ГПа позволяет получать объемные образцы нанокристаллического нитрида кремния размером  $\sim 5$  мм с микротвердостью, достигающей  $30\text{—}55$  ГПа, что значительно превышает известные результаты.

Приносим благодарность Ю. Н. Пальянову и А. А. Калинину (ИМП СО РАН) за содействие при спекании нитрида кремния в объемные образцы и В. И. Зайковскому (ИК СО РАН) за получение информации с использованием просвечивающего электронного микроскопа.

### Основные публикации

1. Ульяницкий В. Ю., Злобин С. Б., Витязь П. А. и др. Моделирование процесса детонационного напыления металлокерамических СВС-порошков// Республиканский межведомственный сборник научных трудов «Порошковая металлургия». Минск, Республика Беларусь. 2004. Вып. 27. С. 45—78.
2. Юношев А. С. Ударно-волновой синтез кубического нитрида кремния// Физика горения и взрыва. 2004. Т. 40, № 3. С. 132—135.
3. Deribas A. A., Silvestrov V. V., Yunoshev A. S. Shock-wave synthesis of cubic phase of silicon nitride  $\text{Si}_3\text{N}_4$ // Materials Science Forum. 2004. V. 465—466. P. 113—116.
4. Yunoshev A. S., Silvestrov V. V., Kalinin A. A., Pal'yanov Yu. N. Shock-wave synthesis and HPHT sintering of cubic silicon nitride// Proc. of the 14th Int. Conference «Shock Compression of Condensed Matter», July 31—August 5, 2005, Baltimore, USA. (In press).