

УДК 620.17

**Физико-механические свойства керамики на основе карбонитрида циркония,
консолидированной методом горячего прессования**Е.Д. Кузьменко

Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.В. Матренин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: kuzmenko70egor@yandex.ru

**Physical and mechanical properties of ceramics based on zirconium carbonitride,
consolidated by hot pressing**E.D. Kuzmenko

Scientific Supervisor: Assoc. Prof., PhD. S.V. Matrenin
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: kuzmenko70egor@yandex.ru

Abstract. *In the study, ceramic samples based on zirconium carbonitride were obtained. It was found that by changing the stoichiometry of the material, as well as controlling its porosity, it becomes possible to change the physical and mechanical properties of the material in a wide range.*

Key words: *Zirconium carbonitride, hot pressing, ceramics, nanoindentation.*

Введение

Керамика на основе карбонитрида циркония обладает набором перспективных свойств, среди которых выделяется высокие твердость и термостойкость материала, способность работы в условиях воздействия агрессивных сред, а также повышенная прочность материала [1]. Однако, несмотря на обозначенные преимущества, данный материал за счет низкой трещиностойкости имеет значительные ограничения на введение в эксплуатацию [2]. С целью повышения параметра критического коэффициента интенсивностей напряжения, определяющего трещиностойкость материала, становится актуальным поиск оптимальной стехиометрии материала [3], а также введение специальных добавок, способных препятствовать распространению роста трещины [4].

Экспериментальная часть

В ходе работы были получены образцы на основе карбонитрида циркония методом горячего прессования из керамических порошков карбида и нитрида циркония. Спекание осуществлялось при температуре 2000 °С, давлении 30 МПа. Спекание образцов осуществлялось в условиях вакуума. Были получены образцы цилиндрической формы. Для полученных образцов была выполнена пробоподготовка, заключающаяся в шлифовании и полировании до достижения зеркального блеска поверхности. Поверхность подготовленных образцов была изучена при проведении растровой электронной микроскопии. В топографическом режиме была определена пористость материалов и характер распределения пор. В композиционном режиме был выполнен анализ наличия фаз и их распределение друг относительно друга. С целью определения фазового состава был проведен рентгенофазовый анализ. Механические свойства образцов были определены на приборе NanoIndenter G200. В режиме индентирования при малых нагрузках 500 мН определялись твердость и модуль Юнга исследуемых образцов. По методу скрэтч-тестирования на данном приборе выполнялось измерение предела прочности для образцов [5]. Была определена трещиностойкость исследуемых образцов по методу Маршалла-Эванса, при проведении индентирования пирамидой Виккерса на приборе ПМТ-3 [6].

Результаты

В результате проведения работы было установлено, что в исследуемых материалах присутствует вторичная фаза, равномерно распределенная по поверхности образца, а также имеются поры (рис. 1).

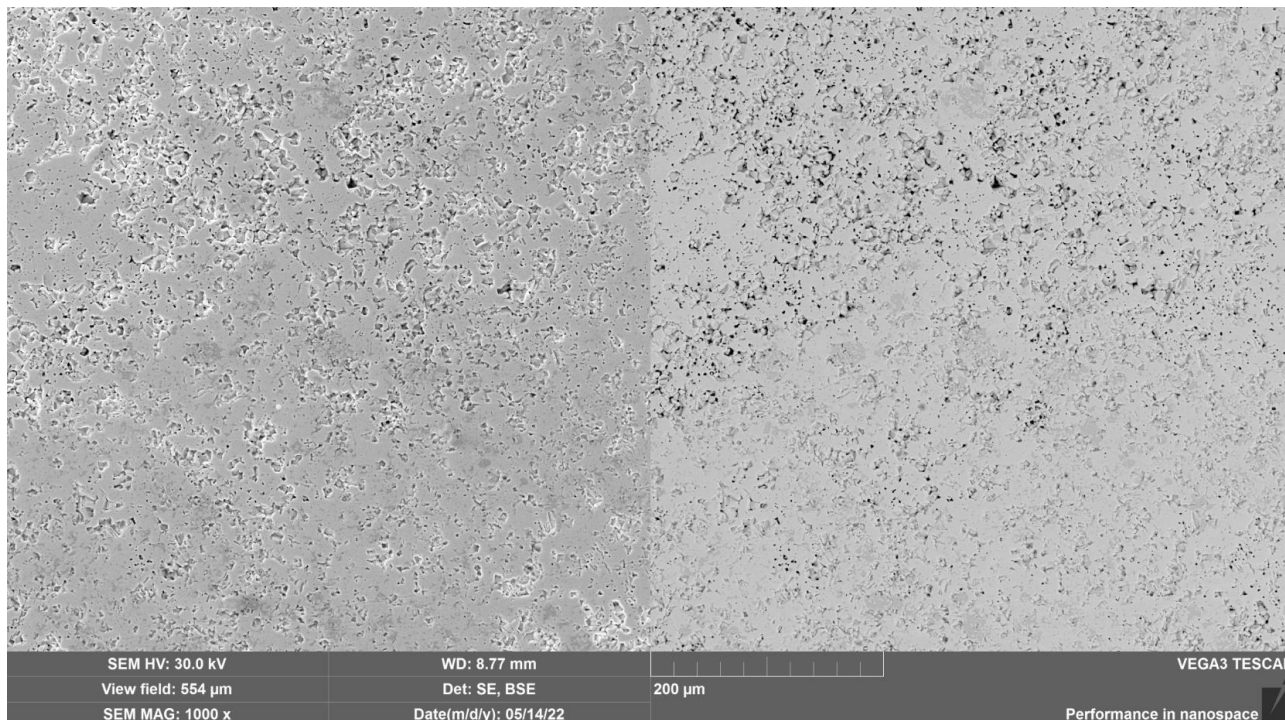


Рис. 1. Микроструктура, полученная при проведении растровой электронной микроскопии

В ходе проведения рентгенофазового анализа было установлено, что вторичная фаза представлена диоксидом циркония (рис. 2). Для спеченных образцов была установлена следующая закономерность. С увеличением содержания оксидной фазы пористость материала снижалась.

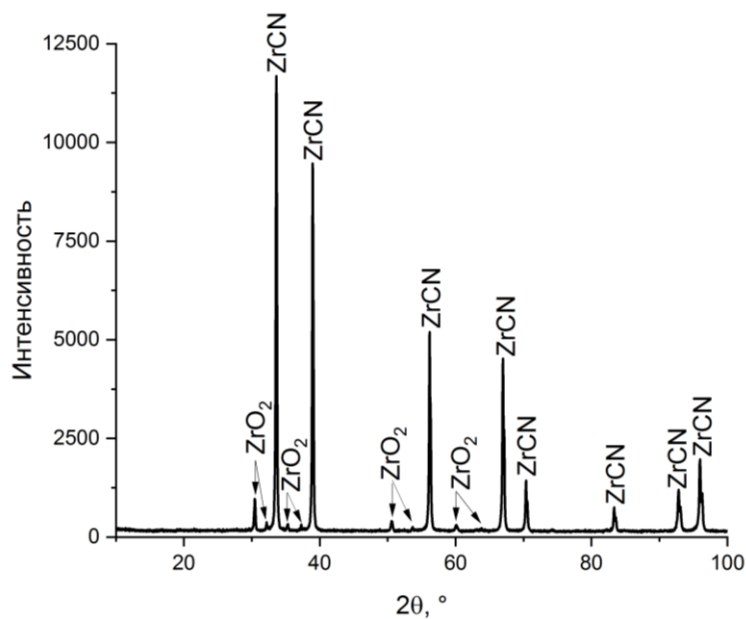


Рис. 2. Дифрактограмма для исследуемого образца

При проведении исследований механических свойств образцов было установлено, что при снижении пористости материала, вызванного увеличением содержания оксидной фазы, наблюдается возрастание твердости и модуля Юнга для исследуемых образцов (рис. 3).

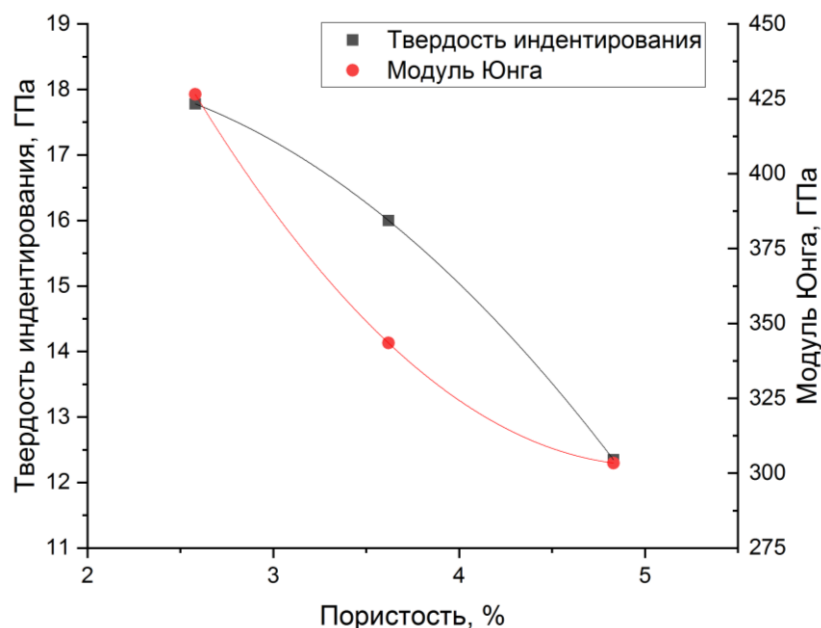


Рис. 3. Зависимость твердости и модуля Юнга от пористости

При этом с увеличением содержания оксидной фазы наблюдался рост трещиностойкости материала и его прочности до значений $4,27 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ и $678,38 \text{ МПа}$ соответственно.

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что при снижении пористости материала на основе карбонитрида циркония значительно возрастают его механические свойства.

Список литературы

1. Harrison R.W., Lee W.E. Processing and properties of ZrC, ZrN and ZrCN ceramics: a review // *Advances in Applied Ceramics*. – 2016. – Vol. 115, № 5. – P. 294–307.
2. Sciti D., Silvestroni L., Medri V., Monteverde F. Sintering and densification mechanisms of ultra-high temperature ceramics // *Ultra-high temperature ceramics: materials for extreme environment applications*. – 2014. – P. 112–143.
3. Li Y., Katsui H., Goto T. Preparation of ZrCN–TiCN solid solutions by spark plasma sintering // *Ceramics International*. – 2017. – Vol. 43, № 18. – P. 16965–16971.
4. Zhang B., Hu M., Zhong F., Zhang S., Yang Z., Qiu X., Xu J., Ou-Yang J., Zhang Y., Zhu B., Yang X., Chen S. Ultrafast high-temperature sintering and densification of ZrC-based ceramics // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2024. – Vol. 44, № 10. – P. 5569–5578.
5. Matrenin S.V., Mostovshchiko A.V., Mirovoy Yu. A. Study of the structure and physical and mechanical properties of ceramics based on aluminum and zirconium oxynitrides // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. – 2022. – Vol. 333. – P. 184–192.
6. Moradkhani A., Panahizadeh V., Hoseinpour M. Indentation fracture resistance of brittle materials using irregular cracks: a review // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9, № 9. – 12 p.