

# Моделирование влияния параметров горячего прессования и состава смесей в системе $ZrO_{2(m)} - Al - C$ на твердость и трещиностойкость керамики

С. И. Джелялов

---

Исследовано изменение физико-механических свойств (твердости по Виккерсу  $HV_{15}$  и трещиностойкости  $K_{1C}$ ) керамического материала инструментального назначения, полученного при горячем прессовании (ГП) смесей системы  $ZrO_2 - Al - C$ , в зависимости от концентрации исходных компонентов и параметров процесса синтеза (температуры, давления, времени изотермической выдержки). На основе данных, полученных в рамках пятифакторного эксперимента, были выведены зависимости, которые позволяют установить оптимальный уровень исходных показателей, при которых возможен синтез материала с сочетанием свойств, предопределяющих использование керамики в качестве основы лезвийного инструмента (в качестве режущей пластины). В рассмотренных интервалах факторов полученные эмпирические модели также могут быть использованы, как интерполяционная формула для определения значения твердости по Виккерсу ( $HV_{15}$ ) и трещиностойкости ( $K_{1C}$ ) материалов, синтезированных в системе  $ZrO_2 - Al - C$ .

**Ключевые слова:** инструментальная керамика, минералокерамика, горячее прессование, синтез, твердость, трещиностойкость, прогнозирование свойств.

---

## Введение

Создание новых материалов инструментального назначения — одно из наиболее важных направлений развития современной машиностроительной отрасли. Потребность в высокоэффективных режущих материалах обусловлена непрерывным стремлением промышленности повышать производительность операций механической обработки. Вместе с тем происходит постоянное расширение номенклатуры изделий, изготавливаемых из труднообрабатываемых материалов (закаленных сталей, химико-термических и наплавленных покрытий, специальных легированных сплавов и т. д.), зачастую требующих кардинально новых подходов к решению вопросов их механической обработки.

Известно, что ниша чистовой лезвийной обработки таких материалов отведена инструменту, оснащеному минералокерамикой (керамикой) и материалами на основе кубического нитрида бора (КНБ). Вопросы доступности материалов на основе

КНБ усугублены сложностью технологии их синтеза, а более низкая химико-термическая стойкость таких материалов в процессе нагрева и контактом взаимодействия с железом и углеродистыми сплавами ограничивает их применение. Таким образом, применение минералокерамических материалов, которые лишены вышеуказанных недостатков, имеет прочные перспективы к расширению. Это инициирует множество исследований [1 – 13], направленных на решение одного из наиболее существенных недостатков материалов данного типа — пониженной трещиностойкости. Трещиностойкость, будучи функционально связанной с энергией разрушения, является выраженным структурно-чувствительным свойством. Важный показатель работоспособности инструментальных материалов — их твердость. Известно [14], что твердость материала определяется, в первую очередь, твердостью и морфологией основных фаз. Для материалов, полученных из смесей системы  $ZrO_{2(m)} - Al - C$ , такими фазами, в качестве продуктов синтеза, являются карбид

циркония и оксид алюминия [15, 16] образующиеся в процессе реакционного синтеза.

Решению задачи синтеза нового минералокерамического материала инструментального назначения способствует изучение закономерностей формирования его структуры и свойств в зависимости от состава исходной шихты и параметров горячего прессования (ГП) — основного способа создания материалов данной группы.

Цель данной работы — установление зависимостей, характеризующих твердость и трещиностойкость керамических материалов, полученных из смесей системы  $ZrO_{2(m)} - Al - C$  от параметров ГП (давления, температуры горячего прессования; времени изотермической выдержки) и состава исходной смеси за счет изменения содержания алюминия и углерода, а также, комплексная оценка и математическое описание характера и степени влияния данных факторов на свойства полученных горячепрессованных материалов с целью прогнозирования их физико-механических характеристик.

#### Методика исследования

Одним из путей достижения поставленной цели является применение метода математического планирования при использовании полного факторного эксперимента. Известно [17], что, когда число факторов  $k > 3$  (с учетом высокой стоимости экспериментов по ГП), полный факторный эксперимент является экономически нецелесообразным, так как для реализации экспериментального плана требуется большое число опытов. Для сокращения их числа для планов второго порядка (применение которых в данном случае целесообразно вследствие сложности процессов, влияющих на формирование структуры) построение планов осуществляется при использовании дробных реплик.

При проведении данных исследований в качестве целевых функций были рассмотрены твердость ( $HV15$ ) и коэффициент трещиностойкости ( $K_{1C}$ ). В качестве факторов были выбраны концентрации компонентов исходной смеси ( $C_{Al}$  и  $C_C$ ), а также значения параметров ГП: температуры ( $T$ ), давления ( $P$ ) и времени изотермической выдержки ( $\tau$ ).

При приготовлении смеси для получения режущего керамического материала использовали порошок диоксида циркония моноклинного производства ГНПП “Цирконий” (г. Днепродзержинск, Украина), алюминиевой пудры и ламповой сажи (табл. 1).

Размол и смешивание исходной шихты проводили в стальном барабане, футерованном твердым

Таблица 1

Порошки, входящие в состав исходной шихты для получения керамических материалов

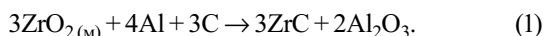
Материал	Технические условия и стандарты
Порошок диоксида циркония (моноклинный)	ТУ-6-09-24-86 ТУУ 14-10-098-99
Пудра алюминиевая ПАП-4	ГОСТ 5494-71
Порошок сажи (ламповой) марки С-1	ГОСТ 18307-78

сплавом при использовании твердосплавных шаров диаметром 10 – 12 мм на рольганге. Механическую смесь порошков предварительно брикетировали. Затем брикеты (цилиндрической формы, диаметром 19 мм) помещали в графитовую пресс-форму с цилиндрической рабочей полостью диаметром 20 мм, после чего ее устанавливали в рабочую зону медных индукторов тока высокой частоты. Горячее прессование опытных образцов осуществляли на установке, созданной на базе тиристорного преобразователя частоты типа ТПЧТ-120. Для измерения температуры нагрева при ГП использовали пирометрический преобразователь марки ППТ-131.

Твердость по Виккерсу ( $HV15$ ) определяли на твердомере марки ТП-2 при нагрузке 15 кН и выдержке под нагрузкой в течение 10 с (ГОСТ 25172–82). Измерения проводили на предварительно шлифованных и полированных горячепрессованных образцах. Трещиностойкость материалов по Палмквисту ( $K_{1C}$ ) определяли на отпечатках, полученных индентированием пирамидой Виккерса, по методике, описанной в работе [18].

#### Обсуждение результатов

Выбор интервала значений концентраций проводили на основе результатов работ [15, 16]. Состав исходной смеси, который дает возможность получить материал с оптимальными структурными характеристиками (равномерное распределение фаз в сочетании с мелкозернистой структурой, отсутствие включений свободного углерода), предполагает содержание С ниже 7 масс. %. С учетом того, твердость горячепрессованного материала данной системы преимущественно определяет карбид циркония, то для образования его удовлетворительного количества нижний предел содержания углерода в исходной смеси можно принять равным 2,5 масс. %, что соответствует образованию не менее 30 масс. %  $ZrC$  от рассчитанного по стехиометрическому уравнению:



Таким образом, интервал варьирования значений концентрации углерода в составе исходной смеси принимаем равным 2,5 – 6,5 масс. %.

Особенностью применения шихты системы  $\text{ZrO}_{2(\text{м})} - \text{Al} - \text{C}$  является то, что кроме процессов пластического и вязкого течения [19], преимущественное проявление которых характерно для синтеза материалов из смесей неракционных систем (например, керамики типа  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiC}$  [20]), существенное влияние оказывают диффузионные процессы, связанные с взаимодействием исходных компонентов. Кроме того, на начальном этапе синтеза данных материалов на характер их уплотнения оказывают влияние процессы, связанные с плавлением алюминия, которые проявляются в виде жидкофазной активации процесса усадки [15].

Увеличение содержания алюминия в исходной смеси может способствовать образованию дополнительного количества  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , которое возможно в результате частичного окисления кислородом воздуха окружающей среды. При этом, повышение концентрации алюминия может также повлечь за собой появление на промежуточной стадии синтеза избытка интерметаллидной фазы [16]. Неполное последующее взаимодействие интерметаллида с углеродом может привести к увеличению содержания остаточного C в составе конечного материала, что вызывает снижение физико-механических характеристик материала. Следует также учитывать влияние концентрации алюминия в шихте на технологичность процесса ГП. Повышение концентрации Al приводит к образованию избыточного количества жидкой фазы в объеме прессовки. Это повышает способность проникновения расплавленного алюминия в зазоры между матрицей и пуансонами, что может вызывать увеличение сопротивления движению пуансонов в процессе ГП. С другой стороны, снижение количества алюминия в составе исходной смеси приводит к уменьшению количества  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , который является одной из наиболее важных составляющих инструментальной керамики. Поэтому нижний предел концентрации Al выбирали так, чтобы в составе конечного материала образовывалось не менее 75 % рассчитанного по уравнению (1) количества  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Оптимизация содержания количества алюминия в системе  $\text{ZrO}_2 - \text{Al} - \text{C}$  возможна в результате проверки степени ее влияния на вышеприведенные факторы. Таким образом, крайние пределы содержания Al в исходной смеси составили 16 и 26 масс. %.

Температуру нагрева рабочей шихты варьировали в интервале 1400 – 1650 °C и выбирали на основе

данных по изучению закономерностей ГП смеси  $\text{ZrO}_2 - \text{Al} - \text{C}$  стехиометрического состава [15], согласно которым в указанном интервале температур качественный фазовый состав конечного материала был одинаковым.

Интервалы величин давления ГП (18 – 30 МПа) и времени изотермической выдержки (5 – 33 мин) выбирали исходя из данных кинетики усадки, полученных в работе [15].

Таблица 2

Уровни и интервалы варьирования факторов					
Факторы	Значения факторов				
Концентрация исходных компонентов смеси, масс. %					
$C_C$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5
$C_{Al}$	16	18,5	21	23,5	26
Параметры процесса ГП					
$P$ , МПа	18	21	24	27	30
$T$ , °C	1400	1460	1520	1580	1640
$\tau$ , мин	5	12	19	26	33

$\tau$  — время изотермической выдержки, мин.

Принятые в исследовании значения факторов приведены в табл. 2.

На основе экспериментов, выполненных в соответствии с принятым планом, были рассчитаны коэффициенты эмпирических уравнений (по методике [21]), представляющие зависимость целевых функций от заданных факторов.

С учетом влияния вышерассмотренных показателей была получена модель, характеризующая зависимость твердости по Виккерсу:

$$HV = \left( -0,099 + \frac{0,75}{\sqrt{C}} + \frac{0,63}{C_{Al}^{2,5}} - 0,21 \cdot 10^{-3} \cdot P^{1,5} - 0,13 \cdot 10^{-5} \tilde{T}^3 - \frac{0,09}{\tau^3} + 0,015 \cdot \frac{\sqrt{C_C C_{Al} P}}{10} \right)^{-1},$$

где  $HV$  — твердость по Виккерсу, HV15, ГПа;  $C_C$ ,  $C_{Al}$  — соответственно концентрации углерода и алюминия в исходной смеси, масс. %;  $P$  — давление горячего прессования, МПа;  $T$  — температура ГП, °C;  $\tau$  — время изотермической выдержки, мин;  $\tilde{C} = 10 C$  и  $\tilde{T} = T/100$  — масштабированные значения вышеуказанных независимых переменных (применяются для повышения устойчивости вычислительного процесса).

Эмпирическая модель, характеризующая зависимость коэффициента трещиностойкости от рассмотренных факторов имеет вид:

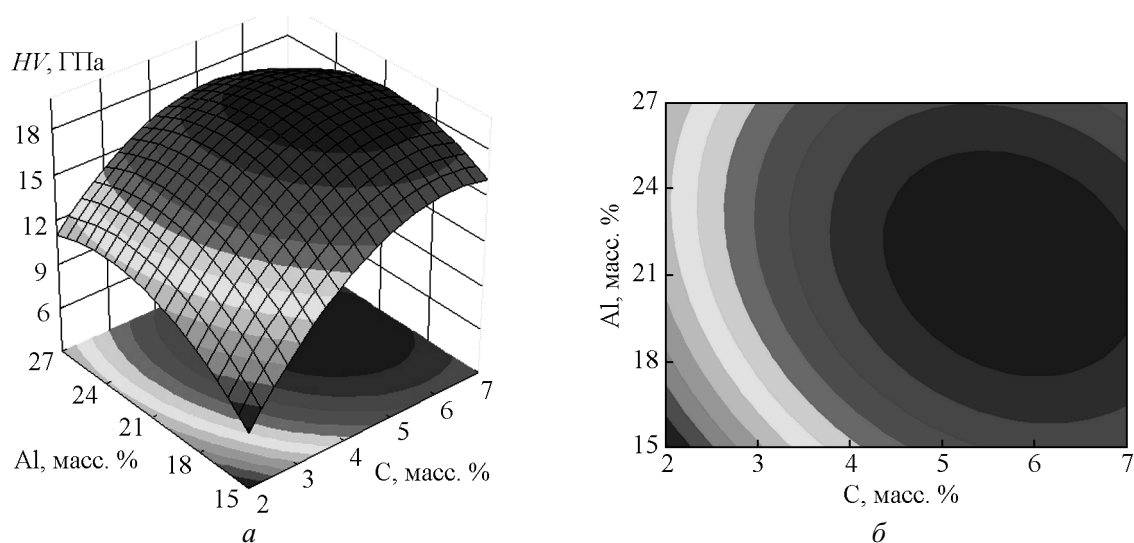


Рис. 1. Зависимость твердости,  $HV_{15}$  (ГПа), от концентрации Al и C (масс. %) в составе исходной шихты ГП-материалов, полученных в системе  $ZrO_2 - Al - C$ : а – поверхность отклика; б – проекция поверхности отклика.

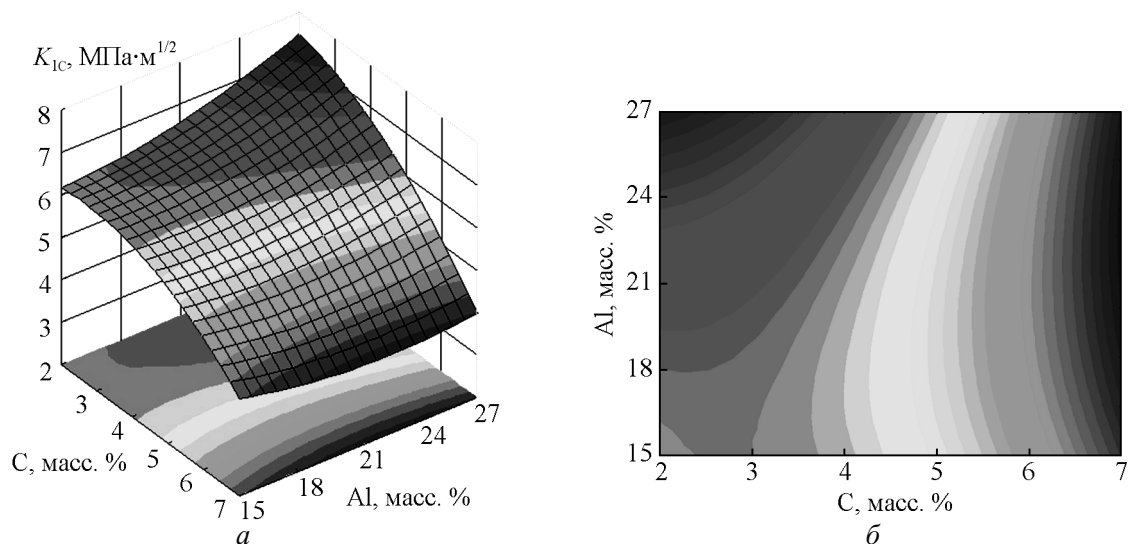


Рис. 2. Зависимость коэффициента трещиностойкости,  $K_{1C}$  ( $MPa \cdot m^{1/2}$ ), от концентрации Al и C (масс. %) в составе исходной шихты ГП-материалов, полученных в системе  $ZrO_2 - Al - C$ : а – поверхность отклика; б – проекция поверхности отклика.

$$K_{1C} = 0,1 \sqrt{\left( 0,014 - \frac{57,37}{\tilde{C}^3} + \frac{18,07}{C_{Al}^3} + \frac{20,46}{P^3} + 0,13 \cdot 10^6 \cdot \tilde{T}^3 + 0,18 \cdot 10^{-7} \cdot \tau^3 + 0,12 \left( \frac{\tilde{C} C_{Al} P}{1000} \right)^3 \right)},$$

где  $K_{1C}$  — коэффициент трещиностойкости,  $MPa \cdot m^{1/2}$ ,  $\tilde{C} = 10 C$ .

Следует отметить, что наиболее значимые факторы для данных зависимостей, согласно результатам математического анализа — показатели

концентрации Al и C в составе исходной смеси. На рис. 1 и 2 представлены поверхности отклика, дающие графическое отображение данных, полученных в результате аппроксимации результатов проведенных исследований.

В рамках указанных интервалов значений факторов полученные зависимости можно использовать в качестве интерполяционной формулы для определения величин твердости по Виккерсу и показателей трещиностойкости. При синтезе ГП материала системы  $ZrO_2 - Al - C$  данные модели могут быть применены для установления рациональных сочетаний значений указанных физико-механических показателей.

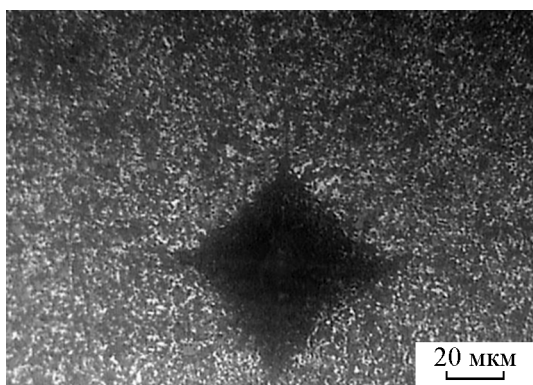


Рис. 3. Структура материала, полученного ГП из смеси системы  $ZrO_2 - 21 Al - 4,5 C$  (масс. %) с отпечатком, полученным индентированием пирамидой Виккерса.

На рис. 3 представлен характерный вид структуры материала, синтезированного в системе  $ZrO_2 - 21 Al - 4,5 C$  (масс. %), выполненный на металлографическом микроскопе МЕТАМ-Р1, наиболее приближенный по свойствам к известным промышленным видам черной керамики (керамики смешанного типа) инструментального назначения.

Достигнутое сочетание твердости и трещиностойкости данного материала (табл. 2) дает возможность его применения для оснащения режущего инструмента.

### Выводы

Получены зависимости, позволяющие прогнозировать физико-механические свойства материалов синтезируемых в системе  $ZrO_2 - Al - C$ . Оптимальное сочетание физико-механических характеристик (отвечающих требованиям высоковязкой инструментальной керамики смешанного типа) имеют материалы, содержащие 4–4,5 масс. % углерода при содержании алюминия 21 – 23,5 масс. %. По результатам предварительных металлографических исследований, такая керамика имеет бездефектную структуру с равномерным распределением фазовых составляющих и зернистость порядка 0,5–2 мкм. По уровню твердости (18,3–18,7 ГПа) синтезированный материал сравним с промышленными аналогами режущей керамики смешанного типа и обладает при этом более высоким уровнем трещиностойкости (5,2–5,6 МПа·м<sup>1/2</sup>). Это дает возможность использования этой керамики для изготовления режущих пластин и проведения исследований по механической обработке ими конструкционных сталей.

### Литература

1. Liu B., Huang C., Lu X. Gu M., Liu H. In situ growth of TiC whiskers in  $Al_2O_3$  matrix for ceramic machine tools. *Ceramics International*, 2007, v. 33, p. 1475 – 1480.
2. Xikun L., Guanming Q., Qu T.  $Al_2O_3-Ti(CN)-Y_2O_3$  composite prepared by HP and its cutting performance. *Journal of Rare Earths*, Jun. 2007, v. 25, p. 37 – 41.
3. Vleugels J. Fabrication, wear and performance of ceramic cutting tools. *Advances in Science and Technology*, 2006, v. 45, p. 1776 – 1785.
4. Song S.X., Ai X., Zhao J., Huang C.  $Al_2O_3/Ti(C_{0.3}N_{0.7})$  cutting tool material. *Materials Science and Engineering: A*, 2002, no. 356, p. 43 – 47.
5. Yanga H., Roberts S. Gas pressure sintering of  $Al_2O_3/TiCN$  composite. *Ceramics International*, 2005, no. 31, p. 1073 – 1076.
6. Dong Q., Tang Q., Li W.  $Al_2O_3-TiC-ZrO_2$  nanocomposites fabricated by combustion synthesis followed by hot pressing. *Materials Science and Engineering: A*, 2008, no. 475, p. 68 – 75.
7. Mok Ko Y., Kwon W.T., Kim Y-W. Development of  $Al_2O_3-SiC$  composite tool for machining application. *Ceramics International*, 2004, no. 30, p. 2081 – 2086.
8. Попов А.И., Сенчило И.А. Повышение качества минералокерамических режущих пластин методом ионно-вакуумной обработки. *Металлообработка*, 2003, № 6 (18), с. 34 – 37.
9. Суворов С.А., Туркин И.А., Деловец М.А. Прочность корундциркониевых материалов микроволнового синтеза. *Материаловедение*, 2006, № 6, с. 36 – 43.
10. Clark D.E., Floz D.C., Folgar C.E., Mahmoud M.M. Microwave Solution for Ceramic Engineering. *The American Ceramic Society. U.S.A.*, 2006, 494 p.
11. Скороход В.В., Уварова И.В., Рагуля А.В. Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних системах. К.: Академперіодика, 2001, 180 с.
12. Гордашник К.З., Лебедева А.А., Козина Г.К. Тенденции создания керамических материалов и их применения в инструментальном производстве. *Инструментальный світ*, 2007, № 1 (33), с. 23 – 26.
13. Zhang Guo-Jun, Yang Jian-Feng, Ando Motohide, Ohji Tatsuki. Reactive hot pressing of alumina-silicon carbide nanocomposites. *J. Amer. Ceram. Soc.*, 2004, no. 2, p. 299 – 301.
14. Гнесин Г.Г., Осипова И.И., Ронталь Г.Д., Самойлов В.С., Ярошенко В.П. Керамические инструментальные материалы. К.: Тэхніка, 1991, 388 с.
15. Прокопів Н.М., Джелялов С.И., Якубов Ф.Я. Взаимодействие в смеси  $ZrO_2(M) - Al - C$  при горячем прессовании. *Високи технології в машинобудуванні*, 2006, вип. 1 (12), с. 397 – 404.
16. Прокопів Н.М., Джелялов С.И. Металлографические и рентгеноструктурные исследования материалов, полученных при горячем прессовании смеси  $ZrO_2 - Al - C$  с различным содержанием углерода. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент* —

- техника и технология его изготовления и применения, 2007, вып. 10, с. 494 – 497.
17. Зубарев Ю.М., Нечаев К.Н., Катенев В.И., Ревин Н.Н. Применение многофакторных экспериментов второго порядка в технологии машиностроения. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский институт машиностроения, 2002, 134 с.
  18. Дуб С.Н., Майстренко А.Л., Исаков А.А. Особенности измерения трещиностойкости керамики методом индентирования. Заводская лаборатория, 1993, № 4, с. 58 – 60.
  19. Масленникова Г.Н., Мамаладзе Р.А., Мидзута С., Коумото К. Керамические материалы. М.: Стройиздат, 1991, 320 с.
  20. Пилянкевич А.Н., Мельникова В.А., Кулик А.И. Механизм структурообразования и дефектность керамики в системе  $Al_2O_3 - TiC$ . Сверхтвердые материалы, 1988, № 5, с. 17 – 22.
  21. Петасюк Г.А., Петасюк О.У. Алгоритм багатоваріантної комп'ютерної побудови та аналізу емпіричних математичних моделей технологічних процесів. Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Житомир: Житомирський державний технологічний університет, 2005, вип. 1, с. 181 – 193.
- by microwave synthesis]. *Materialovedenie — Materials science* (in Rus), 2006, no. 6, pp. 36 – 43.
10. Clark D.E., Floz D.C., Folgar C.E., Mahmoud M.M. Microwave solution for ceramic engineering. The American Ceramic Society. U.S.A., 2006, 494 p.
  11. Skorohod V.V., Uvarova I.V., Ragulja A.V. *Fiziko-himichna kinetika v nanostrukturiranih sistemah* [Physical and chemical kinetics in nanostructured systems]. Kiev, Akademperiodika Publ., 2001, 180 p.
  12. Gordashnik K.Z., Lebedev A.A., Kozina G.K. Tendentsii sozdaniya keramicheskikh materialov i ih primeneniya v instrumentalnom proizvodstve. [Trends in the creation of ceramic materials and their applications in tool production]. *Instrumentalny svit — Instrumental world* (in Rus, Ukr), 2007, no. 1 (33), pp. 23 – 26.
  13. Zhang Guo-Jun, Yang Jian-Feng, Ando Motohide, Ohji Tatsuki. Reactive hot pressing of alumina-silicon carbide nanocomposites. *J. Amer. Ceram. Soc.*, 2004, no. 2, pp. 299 – 301.
  14. Gnesin G.G., Osipova I.I., Rontal G.D., Samoylov V.S., Jaroshenko V.P. *Keramicheskie instrumentalnye materialy* [Ceramic tool materials]. Kiev, Tehnika Publ., 1991, 388 p.
  15. Prokopiv N.M., Dzheljalov S.I., Jakubov F.Ja. Vzaimodejstvie v smesi  $ZrO_{2(m)} - Al - C$  pri gorjachem pressovanii [Reacting a mixture of  $ZrO_{2(m)} - Al - C$  in hot pressing]. *Visoki tehnologii v mashinobuduvanni — High technologies in mechanical engineering* (in Ukr), 2006, vol. 1 (12), pp. 397 – 404.
  16. Prokopiv N.M., Dzheljalov S.I. Metallograficheskie i rentgenostrukturnye issledovaniya materialov, poluchennyh pri gorjachem pressovanii smesi  $ZrO_2 - Al - C$  s razlichnym soderzhanijem ugleroda [Metallographic and X-ray diffraction studies of materials obtained by hot pressing of  $ZrO_2 - Al - C$  mixture with different carbon content]. *Porodorazrushajushhij i metalloobrabatyvajushhij instrument — tehnika i tehnologija ego izgotovlenija i primeneniya* [Rock cutting and metalworking tools — machinery and technology of its manufacture and use], 2007, vol. 10, pp. 494–497.
  17. Zubarev Ju.M., Nechaev K.N., Katenev V.I., Revyn N.N. *Primenenie mnogofaktornyh eksperimentov vtorogo poriadka v tehnologii mashinostroeniya* [Application of multifactor experiments of the second order in mechanical engineering]. St-Petersburg, St. Petersburg Institute of Machinery Publ., 2002, 134 p.
  18. Dub C.N., Maystrenko A.L., Isakov A.A. Osobennosti izmereniya treshchinostoykosti keramiki metodom indentirovaniya [Peculiarities of crack resistant measuring by indenting]. *Zavodskaya laboratoriya — Industrial laboratory* (in Rus), 1993, no. 4, pp. 58 – 60.
  19. Maslennikov G.N., Mamaladze R.A., Mizuta S., Koumoto K. *Keramicheskie materialy* [Ceramic materials]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1991, 320 p.
  20. Piljankevich A.N., Melnikova V.A., Kulik A.I. Mehanizm strukturoobrazovaniya i defektnost keramiki v sisteme  $Al_2O_3 - TiC$ . [The mechanism of structure and defectiveness of ceramics in  $Al_2O_3 - TiC$  system], *Sverhtverdye materialy — Superhard materials* (in Rus), 1988, no. 5, pp. 17 – 22.

21. Petasiuk G.A., Petasiuk O.U. Algoritm bagatovariantnoi kompjuternoї pobudovi ta analizu empirichnih matematicnih modeley tehnologichnih procesiv. [Computer multivariate algorithm construction and analysis of empirical mathematical models of technological processes]. The processes of machining in engineering. Zhitomir, Zhytomyr State Technological University, 2005, vol. 1, pp. 181 – 193.

*Статья поступила в редакцию 25.05.2015 г.*

*Джелялов Сервер Идрисович — ГБОУВО РК “Крымский инженерно-педагогический университет” (г. Симферополь, пер. Учебный, 8), кандидат технических наук, доцент, специалист в области материаловедения: синтез керамических материалов инструментального назначения. E-mail: dzhelyalov@mail.ru.*

---

## **Simulation of hot-pressing parameters and $ZrO_{2(M)} - Al - C$ mixture composition on ceramic hardness and crack resistance**

**S. I. Dzheljalov**

The work is aimed to study the temper of change of physico-mechanical properties (Vickers hardness  $HV_{15}$  and  $K_{1C}$  fracture toughness) of the ceramic tool material, received by hot pressing of  $ZrO_2 - Al - C$  mixture, depending on the concentration of the initial components and parameters of synthesis process (temperature, pressure, isothermal holding time). Based on the data, received in the course of the five-factor experiment, were derived relationships that allows establishing the optimum level of baseline, which can be synthesized the material with an optimal combination of properties that predetermine use the ceramics as the basis of the blade tool (as a cutting insert). In considering intervals factors derived empirical models can also be used as interpolation formula for determining the value of Vickers hardness ( $HV_{15}$ ) and fracture toughness ( $K_{1C}$ ) materials synthesized in the  $ZrO_2 - Al - C$  system.

**Keywords:** tool ceramics, mineral ceramics, hot pressing, synthesis, hardness, fracture toughness, prediction of properties.

---

*Dzheljalov Server — Crimean Engineering-Pedagogical University (Simferopol, side street Uchebny, 8), Ph.D. (Technical Sciences), associated professor, specialist in the synthesis of ceramic tool materials. E-mail: dzhelyalov@mail.ru.*