

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2023-38-62-65>

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЦИРКОНИЕВЫХ КЕРАМИК МЕТОДОМ КИНЕТИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ

*Алисин В.В.*

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,  
Москва, Россия*

**Ключевые слова:** керамика, композит, диоксид циркония, кинетическое индентирование, твердость керамики, механические свойства керамики.

**Аннотация.** В статье приводятся результаты испытаний двух композиционных материалов с керамической матрицей на основе диоксида циркония частично стабилизированной оксидами  $Y_2O_3$  и  $CeO_2$ . Методом кинетического микроиндентирования определяются показатели механических свойств, влияющих на трибологические характеристики материалов. Испытанные керамические материалы обладают близкими трибологическими характеристиками, но сильно отличаются по шумовому эффекту. Это различие объясняется установленными различиями в работе упругопластической деформации в приповерхностных слоях материалов.

## COMPARATIVE TESTS OF ZIRCONIUM CERAMICS BY KINETIC INDENTATION

*Alisin V.V.*

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia*

**Keywords:** ceramics, composite, zirconium dioxide, kinetic indentation, hardness of ceramics, mechanical properties of ceramics.

**Abstract.** The article presents the test results of two composite materials with a ceramic matrix based on zirconium dioxide partially stabilized with  $Y_2O_3$  and  $CeO_2$  oxides. The kinetic microindentation method determines the mechanical properties that affect the tribological characteristics of materials. The tested ceramic materials have similar tribological characteristics, but they differ greatly in noise effect. This difference is explained by the established differences in the work of elastic-plastic deformation in the near-surface layers of materials.

Работоспособность узлов трения работающих в экстремальных условиях по нагрузке, скорости, температуре применяют керамические материалы. Керамические композиты с матрицей на основе частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСЦ) отличаются повышенной трещиностойкостью, на которую влияют стабилизирующие добавки. Для улучшения структуры керамики часто применяют  $Y_2O_3$  и  $CeO_2$  [1, 2]. Повышение точности и достоверности количественной оценки долговечности узлов трения содержащих керамики связано с уточнением значений параметров, характеризующих механические свойства поверхностных слоев, которые могут существенно отличаться от свойств материалов основы. Практически единственным методом оценки упругих и пластических свойств материала поверхностных слоев является метод определения кинетической микротвердости, основанный на непрерывной регистрации параметров

процесса вдавливания индентора, а именно нагрузки на индентор и глубины его погружения. Метод позволяет выявлять кинетические и структурные закономерности деформации образцов на участке нагружения, в частности микронеоднородность свойств, которую регистрируют по микроскачкам и статистическому разбросу кривых активного нагружения. Твердость, измеренная по невосстановленному отпечатку с регистрацией его глубины под нагрузкой, не равна твердости, измеренной по восстановленному (разгруженному) отпечатку.

Цель работы – определить параметры механических свойств керамических композитов с матрицей частично стабилизированного диоксида циркония триботехнического назначения наиболее часто применяемых составов:  $ZrO_2 + 3 \text{ мол.}\% Y_2O_3$  и  $ZrO_2 + 17 \text{ мол.}\% CeO_2$ .

**Оборудование и методика экспериментов.** Эксперименты проведены на микротвердомере МТИ-3М. Прибор относится к классу приборов для определения микромеханических свойств (микротвердости, упругих и пластических характеристик поверхности и т.д.) всех классов металлических, неметаллических, композиционных материалов, а также различных твердых и мягких покрытий методом вдавливания индентора в испытываемую поверхность. Выходные параметры результатов испытания отображаются в форме первичных кинетических диаграмм внедрения в координатах “Сила ( $F$ ) и глубина отпечатка ( $h$ ) – время действия процесса микровдавливания ( $t$ )”, “Сила ( $F$ ) – глубина отпечатка ( $h$ )”. В настоящей работе использована алмазная четырехгранная пирамида Викерса.

**Результаты.** Наносились отпечатки на поверхности образцов керамики ЧСЦ. Количество отпечатков (число диаграмм) для каждой поверхности от 9 до 11 для различных образцов. Эти цифры не всегда достаточны для корректного статистического анализа по причине возможного разброса формы диаграмм деформации для конкретного образца, особенно, для поверхностей трения (испытание на хрупкое разрушение материала при вдавливании индентора). Подобный разброс должен привести к неоднозначности значений микротвердости по поверхности образца. В связи с этим в некоторых опытах возникла необходимость увеличения количества нанесения отпечатков на поверхность испытываемого материала. На рисунке 1 представлено схематичное изображение кинетических диаграмм, параметры диаграмм и микротвердости в зависимости от глубины отпечатка.

Принятые обозначения:

$F$  – сила при вдавливании, кН;

$h$  – глубина внедрения индентора при вдавливании, мкм;

$A$  – работа упругопластического участка «Нагружения», кН·мкм;

$A_e$  – работа упругого восстановления глубины отпечатка при разгрузке, кН·мкм;

$A_p$  – работа пластической деформации, кН·мкм;

$K_e$  – коэффициент упругости;

$K_p$  – коэффициент пластичности.

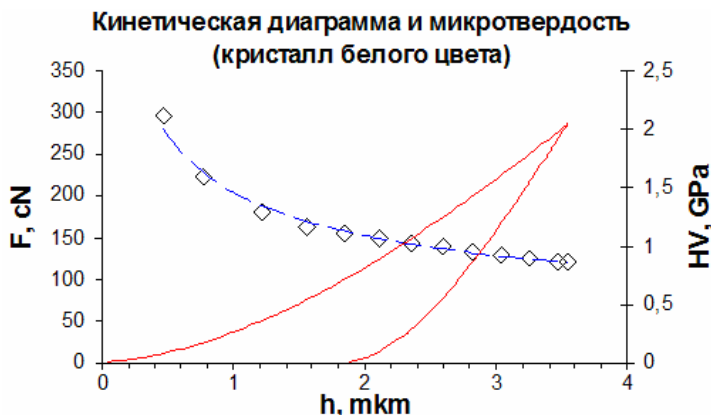


Рис. 1. Типовая диаграмма вдавливания пирамиды Вickers

Упругость  $K_e$  (или ее коэффициент) оценивается отношением работы, производимой при разгрузке к работе упругопластической деформации по формуле  $K_e = \frac{A_{e0}}{A}$ , а пластичность как  $K_p = 1 - K_e$ . В таблице 1 приведены результаты обработки диаграмм вдавливания пирамиды Вickers.

Табл. 1. Характеристики механических свойств полученные испытаниями образцов на кинетическую микротвердость

Параметры	ZrO <sub>2</sub> + +3 мол.% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub> + +17 мол.% CeO <sub>2</sub>
Микротвердость, ГПа	10,59	8,56
Работа упругопластической деформации, A	540,5	434,0
Работа упругой деформации, A <sub>e</sub>	213,5	203,0
Работа пластической деформации, A <sub>p</sub>	326,94	230,99
Упругость, K <sub>e</sub>	0,395	0,468
Пластичность, K <sub>p</sub>	0,605	0,532

При проведении трибологических испытаний [3, 4] отмечается для керамики состава ZrO<sub>2</sub> + 3 мол.% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> более жесткий режим скольжения сопровождающийся большей генерацией звука. Вероятно в силу большей работы упругопластической деформации. Для снижения шумового фона в процессе синтеза керамики рекомендуется в состав шихты добавлять CeO<sub>2</sub>.

### Список литературы

1. Borik M.A., Kulebyakin A.V., Lomonova E.E., Myzina V.A., Volkova T.V., Ryabochkina P.A., Chabushkin A.N., Milovich F.O., Tabachkova N.Y. Phase composition and spectral-luminescent properties of yttrium partially stabilized zirconia crystals doped with Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CeO<sub>2</sub> // Optics and Spectroscopy. 2015, vol. 118, no. 6, pp. 918-923. DOI: 10.1134/S0030400X15060053.
2. Kerkwijk B., Mulder E., Verweij H. Zirconia–Alumina Ceramic Composites with Extremely High Wear Resistance // Advanced Engineering Materials. 1999, vol. 1, no. 1, pp. 69-70.

3. Лаптева В.Г., Алисин В.В., Куксенова Л.И., Щербаков Ю.И., Хренникова И.А. Зависимость изнашивания керамики от состава наноструктурных порошков ЧСЦ // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2011, no. 2, pp. 50-54. DOI: 10.3103/S1052618811020087.
4. Алисин В.В. Подшипники скольжения с втулками из диоксида циркония для работы в условиях граничного трения // Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса. Материалы международной научно-практической конференции. – 2018. – №1. – С. 23-26.

### References

1. Borik M.A., Kulebyakin A.V., Lomonova E.E., Myzina V.A., Volkova T.V., Ryabochkina P.A., Chabushkin A.N., Milovich F.O., Tabachkova N.Y. Phase composition and spectral-luminescent properties of yttrium partially stabilized zirconia crystals doped with Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CeO<sub>2</sub> // Optics and Spectroscopy. 2015, vol. 118, no. 6, pp. 918-923. DOI: 10.1134/S0030400X15060053.
2. Kerkwijk B., Mulder E., Verweij H. Zirconia–Alumina Ceramic Composites with Extremely High Wear Resistance // Advanced Engineering Materials. 1999, vol. 1, no. 1, pp. 69-70.
3. Lapteva V.G., Alisin V.V., Kuxsenova L.I., Sherbakov Y.I., Khrennikova I.A. The influence of the composition of nanostructural psz powders on ceramics wear // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2011, vol. 40, no 2, pp. 135-139. DOI: 10.3103/S1052618811020087.
4. Alisin V.V. Sliding bearings with zirconium dioxide bushings for operation in conditions of boundary friction // Modernization and innovative development of the fuel and energy complex. Materials of the international scientific and practical conference. 2018, no. 1, pp. 23-26.

Алисин Валерий Васильевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Alisin Valery Vasilyevich – candidate of technical sciences, leading researcher
vva-imash@yandex.ru	

*Received 29.10.2023*