

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2020-9-23-25>

## ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ

*Алисин В.В.*

**Ключевые слова:** керамика, кристаллы, трибологические свойства, трение и износ.

**Аннотация.** Представлены результаты экспериментальных исследований трибологических характеристик керамических материалов на основе частично стабилизированного диоксида циркония. Проведено сравнение коэффициентов трения при скольжении по стали У10А керамических материалов и кристаллов, перспективных для применения в узлах трения приборов точной механики. Установлена связь между интенсивностью изнашивания испытанных керамических материалов и характеристиками прочностных свойств.

## EFFECT OF A STABILIZING ADDITIVE ON THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ZIRCONIUM CERAMICS

*Alisin V. V.*

**Keywords:** ceramics, crystals, tribological properties, friction and wear.

**Abstract.** The results of experimental studies of tribological characteristics of ceramic materials based on partially stabilized zirconium dioxide are presented. The comparison of friction coefficients for sliding on steel U10A of ceramic materials and crystals that are promising for use in friction units of precision mechanics devices. The relationship between the wear intensity of tested ceramic materials and the characteristics of strength properties is established.

**Введение.** Повышение ресурса работы и надежности механических модулей приборов и микроэлектронных механических систем в основном достигается улучшением трибологических и прочностных свойств материалов подвижных сопряжений деталей за счет применения опор, содержащих керамику и кристаллы. В данной работе изучаются трибологические свойства циркониевых керамик при трении без смазки по стали. Эффективным направлением улучшения механических свойств (прочности, износостойкости, трещиностойкости) является создание на основе частично стабилизированного диоксида циркония трансформационно-упрочненных керамических материалов и кристаллов введением стабилизирующих добавок оксидов (в основном  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) [1].

**Целью** данной работы является сравнительная оценка интенсивности изнашивания и коэффициентов трения новых кристаллов и керамических материалов на основе диоксида циркония, перспективных для применения в узлах трения приборов.

**Материалы.** Объектами исследования являлись: образцы наноструктурированного кристалла частично стабилизированного диоксида циркония (кристаллы ЧЦИ), состава  $\text{ZrO}_2 + (2,5-3,5)$  мол.%  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , в которых оптимальное количество стабилизирующей добавки обосновано работой [2]; спеченные циркониевые керамические материалы с добавками оксидов церия, магния и иттрия. Образцы изготавливались в виде пальчиков с квадратным сечением  $5 \times 5 \cdot 10^{-3}$  м и длиной  $7,5 \cdot 10^{-3}$  м. Торцевые рабочие поверхности пальчиковых образцов плоские с шероховатостью  $Ra=0,8$ . Контртело выполнено из стали У10А, HRC 49-52.

**Оборудование и методика эксперимента.** Микромеханические свойства (микротвердости, упругих и пластических характеристик поверхности) материалов, определялись на кинетическом микротвердомере МТИ-3М методом вдавливания индентора Виккерса в испытываемую поверхность.

Исследование износостойкости материалов проводилось по на универсальной машине трения УМТ-1 по схеме диск-палец на универсальной машине трения УМТ-1 по стальному контртелу в диапазоне контактных давлений  $2,5 < p < 25$  (МПа) и скорости скольжения  $0,2 < v < 20$  м/с, который охватывает значительный диапазон режимов трения в конструкциях реальных узлов.

**Результаты экспериментов.** Сопоставление (таблица 1) триботехнических и механических свойств кристаллов ЧСЦ показывает, что в пределах этих концентраций наблюдается зависимость механических свойств от состава кристалла. Следует отметить сильное влияние на износостойкость материалов коэффициента необратимых деформаций ( $Kp$ ) и коэффициента трещиностойкости  $K_{1c}$  [3]. Изменение содержания количества стабилизирующей добавки наиболее сильно влияет на коэффициент необратимых деформаций, который в сущности отражает работу, которая переходит в тепло (работа сил трения). Сравнение трибологических характеристик испытанных образцов кристаллов и керамик показывает, что кристаллы ЧСЦ отличаются лучшей антифрикционностью и износостойкостью. Критический коэффициент интенсивности касательных напряжений  $K_{1c}$  кристаллов ЧСЦ примерно в два раза выше лучших образцов керамики.

Табл. 1. Результаты испытания образцов на износ

№	Материал	$f$	$I \cdot 10^{-9}$
1	Кристалл $ZrO_2 + 3,5$ мол.% $Y_2O_3$	0,34	2,5
2	Керамика $ZrO_2 + 17$ мол.% $CeO_2$ .	0,52	2,9
3	Керамика $ZrO_2 + 5\%$ $MgO$	0,38	3,3
4	Кристалл $ZrO_2 + 2,5$ мол.% $Y_2O_3$	0,32	4,2

Повысить износостойкость контртела в узлах трения, содержащих кристаллы ЧСЦ и керамическими материалы возможно применением износостойких металлокерамических покрытий и наплавов, например [5].

**Заключение.** Экспериментально установлено, что наноструктурированные кристаллы диоксида циркония обладают лучшими триботехническими свойствами по сравнению с керамическими образцами, полученными спеканием из ультрадисперсных порошков и перспективны при решении задач микротрибологии, особенно в микроэлектронике и механических модулях приборов.

### Список литературы

1. Кузьминов Ю.С., Ломонова Е.Е., Осико В.В. Тугоплавкие материалы из холодного тигля. – М.: Наука, 2004. – 372 с.

2. Borik M.A. Change in the phase composition, structure and mechanical properties of directed melt crystallised partially stabilised zirconia crystals depending on the concentration of  $Y_2O_3$  / M.A.Borik, A.V. Kulebyakin, E.E.Lomonova, V.A. Myzina, V.V. Osiko, S.V. Seryakov, V.T. Bublik, F.O. Milovich, N.Y. Tabachkova // Journal of the European ceramic society. 2015. Vol. 35. № 6. P. 1889-1894.
3. Alisin V.V., Mechanical properties of partially stabilized zirconia crystals studied by kinetic microindentation / V.V. Alisin, O.N. Churlyayeva, M.A. Borik, A.V. Kulebyakin, E.E. Lomonova, V.A. Myzina, O.A. Nelyubova, N.Yu. Tabachkova // Inorganic materials. 2015. Vol. 51. № 6. P. 548-552.
4. Рошин М.Н., Кривошеев А.Ю. Исследование влияния нагрузки при трении углеродосодержащих материалов при высоких температурах // Journal of advanced research in technical science. 2019. № 15. С. 35-38.
5. Hu S. Evolution of bi-gaussian surface parameters of silicon-carbide and carbon-graphite discs in a dry sliding wear process / N. Brunetiere, W. Huang, X. Liu, Y. Wang // Tribology international. 2017. №112. P. 75-85.

### References

1. Kuzminov Y.S., Lomonova E.E., Osiko V. V. Refractory materials from a cold crucible. – М.: Science, 2004. – 372 p.
2. Borik M.A. Change in the phase composition, structure and mechanical properties of directed melt crystallised partially stabilised zirconia crystals depending on the concentration of  $Y_2O_3$  / M.A.Borik, A.V. Kulebyakin, E.E.Lomonova, V.A. Myzina, V.V. Osiko, S.V. Seryakov, V.T. Bublik, F.O. Milovich, N.Y. Tabachkova // Journal of the European ceramic society. 2015. Vol. 35. № 6. P. 1889-1894.
3. Alisin V.V., Mechanical properties of partially stabilized zirconia crystals studied by kinetic microindentation / V.V. Alisin, O.N. Churlyayeva, M.A. Borik, A.V. Kulebyakin, E.E. Lomonova, V.A. Myzina, O.A. Nelyubova, N.Yu. Tabachkova // Inorganic materials. 2015. Vol. 51. № 6. P. 548-552.
4. Roshchin M.N., Krivosheev A.Yu. Investigation of the impact of load during friction of carbon-containing materials at high temperatures // Journal of advanced research in technical science. 2019. №15. P. 35-38
5. Hu S. Evolution of bi-gaussian surface parameters of silicon-carbide and carbon-graphite discs in a dry sliding wear process / N. Brunetiere, W. Huang, X. Liu, Y. Wang // Tribology international. 2017. №112. P. 75-85.

**Алисин Валерий Васильевич** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук, Россия, Москва, vva-imash@yandex.ru

**Alisin Valery Vasilyevich** – candidate of technical sciences, leading research associate, Institute of mechanical engineering named A.A. Blagonravov of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, vva-imash@yandex.ru

*Received 16.03.2020*