

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2023-38-58-61>

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОПОР «НА КАМНЯХ» ДЛЯ ПРИБОРОВ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ

Алисин В.В.

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

Ключевые слова: трибологические свойства кристаллов, опоры точных приборов, наноструктурированные кристаллы, диоксид циркония, показатели износостойкости, коэффициенты трения кристаллов.

Аннотация. Работа посвящена исследованию наноструктурированных частично стабилизированных кристаллов диоксида циркония применительно к задаче повышения надежности опор «на камнях» точных приборов. Исследовано влияние стабилизирующей добавки оксида иттрия на трещиностойкость и механические свойства кристаллов. Трибологические свойства кристаллов определялись на машине трения в условия скольжения. Трещиностойкость и механические характеристики кристаллов определялись методом кинетического микроиндентирования. Лабораторные трибологические испытания образцов подтвердили более высокую износостойкость образца из кристалла диоксида циркония в сравнении с сапфиром при отсутствии значимых повреждений поверхности трения.

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF SUPPORTS "ON STONES" FOR PRECISION MECHANICS DEVICES

Alisin V.V.

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

Keywords: tribological properties of crystals, precision instrument supports, nanostructured crystals, zirconium dioxide, wear resistance indicators, crystal friction coefficients.

Abstract. The work is devoted to the study of nanostructured partially stabilized crystals of zirconium dioxide in relation to the problem of increasing the reliability of supports "on stones" of precision instruments. The effect of the stabilizing additive of yttrium oxide on the crack resistance and mechanical properties of crystals is investigated. The tribological properties of the crystals were determined by a friction machine under sliding conditions. The crack resistance and mechanical characteristics of the crystals were determined by kinetic microindentation. Laboratory tribological tests of the samples confirmed the higher wear resistance of the sample made of zirconium dioxide crystal in comparison with sapphire in the absence of significant damage to the friction surface.

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. В часовых механизмах и аналогичных приборах точной механики вследствие малых размеров контактных площадей имеют место высокие контактные давления и для обеспечения параметрической надежности и точности механизмов применяются опоры, содержащие кристаллы сапфира, рубина, монокристаллического кремния [1], чаще из лейкосапфира. Микро электронные механические системы

изготавливаются в основном из кристаллов кремния. [2]. Основным недостатком применяемых кристаллов состоит в малой трещиностойкости. Качественно новый более высокий уровень механических свойств достигнут синтезом наноструктурированных частично стабилизированных кристаллов диоксида циркония (кристаллы ЧСЦ) [3]. Механические свойства кристаллов ЧСЦ состава $ZrO_2 + (m)$ мол.% Y_2O_3 изменяются в очень широких пределах. Для улучшения механических свойств кристаллов ЧСЦ эффективна термообработка, отжиг в вакууме и на воздухе, лазерная обработка кристаллов, микролегирование редкоземельными элементами [4]. Экспериментальных данных по трибологическим свойствам кристаллов и керамик очень мало и в основном они получены в условиях форсирования режимов трения.

Целью данной работы является определение трибологических свойств кристаллов ЧСЦ, повышение надежности и ресурса работы опор приборов уменьшением интенсивности изнашивания и коэффициентов трения кристаллов.

Материалы. Объектами исследования являлись: образцы наноструктурированного кристалла ZrO_2 стабилизированного добавкой Y_2O_3 в количестве (2,5-15)% мол. Образцы изготавливались в виде пальчиков с квадратным сечением 5×5 мм и длиной 7,5 мм. Торцевые рабочие поверхности пальчиковых образцов плоские с шероховатостью $Ra = 0,8$. Контртело выполнено в виде диска диаметром 120 мм, изготовленного из закаленной инструментальной стали У10А, HRC 49-52.

Оборудование и методика эксперимента. Микромеханические свойства (микротвердости, упругих и пластических характеристик поверхности) материалов, определялись на кинетическом микротвердомере MNT_Z_AE_000 фирмы CSM Instruments. В экспериментах использована алмазная четырехгранная пирамида Виккерса. Выходные параметры результатов испытания отображаются в форме первичных кинетических диаграмм внедрения в координатах – сила (F) и глубина отпечатка (h).

Исследование износостойкости материалов проводилось на универсальной машине трения УМТ-1 по схеме диск-палец с непрерывной регистрацией момента трения. На оптическом микрометре ИКВ-1 определялись базовые размеры для последующего измерения толщины изношенного слоя.

Результаты. Плавно увеличивая нагрузку до расчетной образцы прирабатывались, установившийся режим контролировался по изменению момента сил трения. На приработанных образцах-пальчиках на оптическом микрометре ИКВ-1 определялись базовые размеры для последующего измерения толщины изношенного слоя. По завершению испытания измерялась толщина изношенного слоя на пальчиковых образцах, а с дорожки трения на образце-диске на профилографе-профилометре «Калибр-201» снималась поперечная профилограмма, по которой измерялась глубина дорожки. По результатам испытаний для каждого образца рассчитывались

интенсивность изнашивания J , коэффициент трения f . Методом кинетического индентирования были определены: E – модуль упругости; HV – твердость по Виккерсу; KIc – коэффициент трещиностойкости. В таблице 1 показано влияние количества стабилизирующей добавки на трибологические и прочностные свойства не ориентированных кристаллов ЧСЦ.

Табл. 1. Механические свойства кристаллов ЧСЦ

m , мол.% Y_2O_3	E , ГПа (min)	HV , ГПа	KIc (min), МПа·м ^{0,5}	f	I/p , (МПа) ⁻¹
2,5	220	14,9	11,0	0,32	$8,6 \cdot 10^{-10}$
3,0	160	12,3	10,0	0,32	$8,6 \cdot 10^{-10}$
3,5	170	15,1	8,2	0,34	$5,0 \cdot 10^{-10}$
4,0	188	11,8	7,9	0,27	$5,0 \cdot 10^{-10}$
8,0	254	11,8	-	0,23	$1,3 \cdot 10^{-9}$
15,0	227	10,7	-	0,21	$5,5 \cdot 10^{-9}$

Характеристикой антифрикционных свойств материалов является зависимость коэффициентов трения f от среднего контактного давления p . На рисунке 1 приведены результаты испытания кристаллов ($ZrO_2+3\text{мол.}\% Y_2O_3$) Режимы испытаний: диапазон изменений среднего контактного давления $2,5 < p < 25$ МПа; скорость скольжения $v = 0,2$ м/с; режим трения – без смазки.

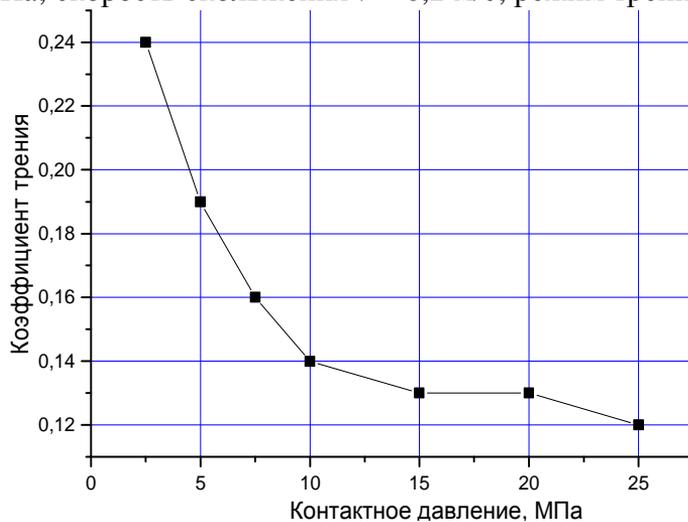


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения кристалл (ЧСЦ; 3 мол% Y_2O_3) от среднего контактного давления

Анализ поверхности трения образца кристаллов $ZrO_2+3,5\text{мол.}\% Y_2O_3$, испытанного при контактном давлении 5 МПа показывает, что здесь наблюдается достаточно типичная для образцов аналогичного состава картина. На поверхности трения исследуемого образца присутствуют: пленки вторичных структур, покрывающие поверхность матричного материала; продукты изнашивания различной степени компактирования, расположенные на матричной основе в промежутках между отдельными участками пленки;

отдельные небольшие участки поверхности матричного материала без пленки. В пленках вторичных структур отмечаются отдельные волосовидные трещины, которые, как правило, локализируются в пределах пленки, не распространяясь на матричную основу. И пленке, и в продуктах изнашивания наряду с цирконием и иттрием присутствует железо, перенесенное в процессе контактного взаимодействия с поверхности стального контртела. Однако содержание указанных элементов в различных участках поверхности различно.

Заключение. Проведенные эксперименты дают основания утверждать, что альтернативой кристаллам сапфира являются наноструктурированные кристаллы ЧСЦ. Сравнение свойств кристаллов сапфиров с кристаллами ЧСЦ показывает, что характеристики вязкости и пластичности ЧСЦ кристаллов значительно выше. Вследствие более высокой трещиностойкости кристаллов ЧСЦ в процессе механической обработки уменьшаются дефекты кромки детали, которые могут привести к сколам и/или создать внутренние напряжения с последующим разрушением.

Список литературы / References

1. Tong R., Wang Y., Zhang T., Du J., Liu G. Friction properties of the single-crystal Si in collision sliding contacts under different lubrication conditions // *Surface and Coatings Technology*. 2022, vol. 451, p. 129039. doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.129039.
2. Wu M., Huang H., Luo Q., Wu Y., A novel approach to obtain near damage-free surface/subsurface in machining of single crystal 4H-SiC substrate using pure metal mediated friction // *Applied Surface Science*. 2022, vol. 588, p. 152963. doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.152963.
3. Агаркова Е.А., Борик М.А., Кулебякин А.В., Курицына И.Е., Ломонова Е.Е., Милович Ф.О., Мызина В.А., Осико В.В., Табачкова Н.Ю. Структура, механические и транспортные свойства кристаллов диоксида циркония, частично стабилизированного оксидами скандия и иттрия // *Неорганические материалы*. – 2019. – Т. 55, № 7. – С. 793-798.
3. Agarkova E.A., Kuritsyna I.E., Borik M.A., Kulebyakin A.V., Lomonova E.E., Myzina V.A., Osiko V.V., Tabachkova N.Y., Milovich F.O. Structural, mechanical, and transport properties of scandia and yttria partially stabilized zirconia crystals // *Inorganic Materials*. 2019, vol. 55, no. 7, pp. 748-753.
4. Alisin V.V., Borik M.A., Kulebyakin A.V., Lomonova E.E Tribological properties of a plain bearing with a sleeve made of a nanostructured zirconia crystal // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, vol. 919, p. 022031. doi:10.1088/1757-899X/919/2/022031.

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

Received 22.10.2023