

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2024-20-25-28>

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ

Алисин В.В.

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

Ключевые слова: кристаллы диоксид циркония, триботехнические испытания, коэффициент трения, интенсивность изнашивания, граничное трение, подшипники скольжения.

Аннотация. Статья посвящена экспериментальной оценке трибологических свойств подшипника скольжения с втулкой выполненной из наноструктурированного кристалла частично стабилизированного диоксида циркония. Эксперименты выполнены на машине трения в условиях работы подшипника скольжения в режиме граничной смазки. Полученные контрольные результаты являются заключительным звеном цикла работ по созданию промышленного производства кристаллов триботехнического назначения. Проведено сравнение характеристик синтезируемых кристаллов с другими кристаллами применяемыми в узлах трения.

PROSPECTS FOR THE USE OF ZIRCONIUM DIOXIDE CRYSTALS IN SLIDING BEARINGS

Alisin V.V.

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

Keywords: zirconium dioxide crystals, tribotechnical tests, coefficient of friction, wear intensity, boundary friction, sliding bearings.

Abstract. The article is devoted to the experimental evaluation of the tribological properties of a sliding bearing with a sleeve made of a nanostructured crystal of partially stabilized zirconium dioxide. The experiments were performed on a friction machine under conditions of operation of a sliding bearing in the mode of boundary lubrication. The obtained control results are the final link in the cycle of work on the creation of industrial production of tribotechnical crystals. The characteristics of the synthesized crystals are compared with other crystals used in friction units.

Перспективы применения наноструктурированные кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония (кристаллы ЧСЦ) в подшипниках скольжения основываются [1] на технических характеристиках: предел прочности на изгиб – до 1600 МПа, при сжатии – до 4000 МПа, по вязкости разрушения – до 15 МПа·м^{0,5}, по твердости – до 17 ГПа, по модулю упругости – до 400-500 ГПа. Кристаллы ЧСЦ обладают повышенной стойкостью к кислотам, щелочам, парам воды, к абразивному износу [2]. При температуре ниже температуры кристаллизации в кристаллах ЧСЦ происходят фазовые переходы. Механические характеристики кристаллов ЧСЦ улучшаются путем микролегирования редкоземельными элементами путем микролегирования редкоземельными элементами [3, 4]. В чистом ZrO₂ между температурой кристаллизации и комнатной существует два полиморфных превращения: при

2300°C высокотемпературная кубическая фаза (С) превращается в тетрагональную (β), которая, в свою очередь, при 1200-1000°C переходит в моноклинную (α). Тетрагональная фаза (β) при воздействии механических напряжений может испытывать тетрагонально-моноклинный переход. Таким образом, может быть реализован трансформационный механизм упрочнения, когда продвигающаяся микротрещина индуцирует мартенситный тетрагонально-моноклинный переход, который поглощает энергию напряжений, а также блокирует продвигающуюся микротрещину. Кристаллы ЧСЦ обладают ярко выраженной анизотропией механических свойств [5].

В сравнение с наиболее часто применяемыми керамиками и кристаллами триботехнического назначения (табл. 1) они имеют преимущества по большинству параметров. Особенно важно, что их трещиностойкость значительно превосходит все известные керамические материалы.

Табл. 1. Основные характеристики кристаллов ЧСЦ в сравнении с кристаллами триботехнического назначения

Кристалл	КТР 10^6 , 1/К	$\sigma_{из}$, МПа	K_{1C} , МПа·м ^{-1/2}	HV, ГПа
Сапфир	8	300-500	3-4	1900
Фианит	10-11	200-400	2-4	1200-1600
ZrO ₂ + 3 мол % Y ₂ O ₃	8-9	500-1200	8-14	1300-1700
Si ₃ N ₄	3,2	600-900	5-7	1600
SiC	4,2	500-600	3-4	2800

В России создано промышленное производство кристаллов ЧСЦ (рис. 1).



Рис.1. Установка большой мощности с диаметром тигля 700 мм в процессе синтеза ЧСЦ кристаллов

Размеры кристаллов и достигнутые механические свойства кристаллов ЧСЦ дают основание рекомендовать их для применения в подшипниках скольжения, работающих в экстремальных условиях по нагрузкам и в агрессивных средах. Проведены контрольные трибологические испытания

подшипника скольжения на установке УМТ с втулками из кристалла ЧСЦ состава $ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$ Номинальный диаметр сопряжения втулки $d = 20$ мм, ширина втулок $b = 20$ мм (рис. 2).



Рис. 2. Образцы подшипника скольжения

Испытания проводили при нагрузке (N): 300 Н при граничной смазке. Смазка испытываемых пар трения осуществлялась с помощью масленки при подаче масла И-20А (ГОСТ 20799-88) со скоростью 6 капель в минуту в торец испытываемых пар трения. Перед испытаниями пары подвергали приработке при нагрузке 120 Н и 300 Н в течение получаса при каждой нагрузке. За время приработки стабилизировался момент трения в парах. Затем пары испытывали при нагрузке 300 Н в течение 1 часа. Время испытаний выбирали из условия возможности уловить потерю массы деталей пары взвешиванием на аналитических весах до и после испытания. В процессе испытаний записывалась величина момента трения $M_{тр}$ с помощью специального маятникового динамометра машины трения. Результаты испытаний втулок представлены в таблице 2.

Табл. 2. Результаты испытаний втулки подшипника из кристалла ЧСЦ при нагрузке 300 Н и граничной смазке маслом И-20А

Материал	H_V , ГПа	Ra , мкм	I_1	I_2	f	p , кгс/см ²
$ZrO_2 + 3\% Y_2O_3$	12,4	0,1	$0,37 \times 10^{-9}$	$0,19 \times 10^{-9}$	0,18	39

Заключение

Кристаллы частично стабилизированного диоксида циркония перспективны для применения в различных сферах промышленности. Прочностные характеристики, себестоимость и доступность исходных материалов создают ему ощутимые конкурентные преимущества кристаллам ЧСЦ перед аналогами.

Список литературы

1. Osiko V.V. Extra-strong wear-resistant materials based on nanostructured crystals of partially stabilized zirconium dioxide // *Mendeleev Communications*. 2009, vol. 19, no. 3, pp. 117-122. doi.org/10.1016/j.mencom.2009.05.001.

2. Borik M.A., Kulebyakin A.V., Lomonova E.E., Milovich F.O., Myzina V.A., Ryabochkina P.A., Sidorova N.V., Tabachkova N.Yu., Chislov A.S. Effect of heat treatment on the structure and mechanical properties of zirconia crystals partially stabilized with samarium oxide // *Modern Electronic Materials*. 2023, vol. 9, no. 3, pp. 123-131. DOI: 10.3897/j.moem.9.3.115614.
3. Агарков Д.А., Борик М.А., Кораблева Г.М., Кулебякин А.В., Ломонова Е.Е., Милович Ф.О., Мызина В.А., Попов П.А., Табачкова Н.Ю. Теплопроводность монокристаллов твердых растворов на основе диоксида циркония, стабилизированных оксидами скандия, иттрия, гадолиния и иттербия // *Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники*. – 2022. – Т. 25, №2. – С. 115-124. – DOI: 10.17073/1609-3577-2022-2-115-124.
4. Souza J.P., Grosso R.L., Muccillo R., Muccillo E.N.S. Phase composition and ionic conductivity of zirconia stabilized with scandia and europia // *Materials Letters*. 2018, vol. 229, pp. 53-56. doi.org/10.1016/j.matlet.2018.06.091.
5. Алисин В.В. Влияние ориентирования кристаллов диоксида циркония на твердость // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. – 2019. – №14. – С. 31-34. – DOI: 10.26160/2474-5901-2019-14-31-34.

References

1. Osiko V.V. Extra-strong wear-resistant materials based on nanostructured crystals of partially stabilized zirconium dioxide // *Mendelevov Communications*. 2009, vol. 19, no. 3, pp. 117-122. doi.org/10.1016/j.mencom.2009.05.001.
2. Borik M.A., Kulebyakin A.V., Lomonova E.E., Milovich F.O., Myzina V.A., Ryabochkina P.A., Sidorova N.V., Tabachkova N.Yu., Chislov A.S. Effect of heat treatment on the structure and mechanical properties of zirconia crystals partially stabilized with samarium oxide // *Modern Electronic Materials*. 2023, vol. 9, no. 3, pp. 123-131. DOI: 10.3897/j.moem.9.3.115614.
3. Agarkov D.A., Borik M.A., Korableva G.M., Kulebyakin A.V., Lomonova E.E., Milovich F.O., Myzina V.A., Popov P.A., Tabachkova N.Yu. Thermal conductivity of single crystals of solid solutions based on zirconium dioxide stabilized with scandium, yttrium, gadolinium and ytterbium oxides // *News of higher educational institutions. Materials of electronic technology*. 2022, vol. 25, no. 2, pp. 115-124. DOI: 10.17073/1609-3577-2022-2-115-124.
4. Souza J.P., Grosso R.L., Muccillo R., Muccillo E.N.S. Phase composition and ionic conductivity of zirconia stabilized with scandia and europia // *Materials Letters*. 2018, vol. 229, pp. 53-56. doi.org/10.1016/j.matlet.2018.06.091.
5. Alisin V.V. Influence of orientation of zirconium dioxide crystals on hardness // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2019, iss. 14, pp. 31-34. DOI: 10.26160/2474-5901-2019-14-31-34.

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

Received 12.05.2024