

ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ НА ТВЕРДОСТЬ

Алисин В.В.

Ключевые слова: кристаллы, диоксид циркония, кинетическое микроиндентирование, механические свойства, твердость.

Аннотация. Статья посвящена проблеме улучшения механических свойств кристаллов диоксида циркония за счет ориентации кристалла в процессе изготовления опор точных механизмов. Экспериментально методом кинетического индентирования установлено различие в твердости поверхностей по направлениям ориентирования.

THE EFFECT OF ORIENTATION OF CRYSTALS OF ZIRCONIUM DIOXIDE HARDNESS

Alisin V.V.

Keywords: crystals, zirconium dioxide, kinetic microindentation, mechanical properties, hardness.

Abstract. The article is devoted to the problem of improving the mechanical properties of zirconium dioxide crystals due to the orientation of the crystal in the process of manufacturing the supports of precise mechanisms. The difference in the hardness of the surfaces in the orientation directions was determined experimentally by the kinetic indentation method.

Кристаллы обладают ярко выраженной анизотропией, поэтому характеристики механических свойств кристаллов зависят от ориентации кристаллов. Применительно к кристаллам частично стабилизированного диоксида циркония (кристаллы ЧСЦ) влияние ориентации практически не изучено [1], хотя они относятся к числу наиболее перспективных материалов для узлов трения точных приборов и часовых механизмов. Повышение точности и достоверности количественной оценки долговечности узлов трения содержащих кристаллы ЧСЦ 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 [2, 3] выявлять кинетические и структурные закономерности деформации образцов на участке нагружения, в частности микронеоднородность свойств, которую регистрируют по микроскачкам и статистическому разбросу кривых активного нагружения

Цель работы исследовать влияние ориентации кристаллов ЧСЦ на механические характеристики поверхностного слоя - твердость, упругость, пластичность.

Материалы. Образцы были изготовлены из наноструктурированных кристаллов диоксида циркония состава $ZrO_2 + 3\text{мол}\% Y_2O_3$, выращенных [4] при скорости 20 мм/час, ориентированных по направлениям [010], [001] и

[100]. Выбор количества стабилизирующей добавки оксида иттрия обусловлен экспериментами по оптимизации состава кристалла ЧСЦ по критерию износостойкости [5].

Оборудование. Эксперименты выполнялись на приборе МТИ-3М. В работе использована алмазная четырехгранная пирамида Викерса. Методика проведения испытаний описана в [6].

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 $K_p = 1 - K_e$.

Наносились отпечатки на поверхности (А:В) образцов ЧСЦ кристаллов произвольной кристаллографической ориентации. Количество отпечатков (число диаграмм) для каждой поверхности от 9 до 11 для различных образцов.

Обсуждение результатов испытаний. На рисунке 1 приведена типовая усредненная диаграмма нагружения и разгрузки индентора.

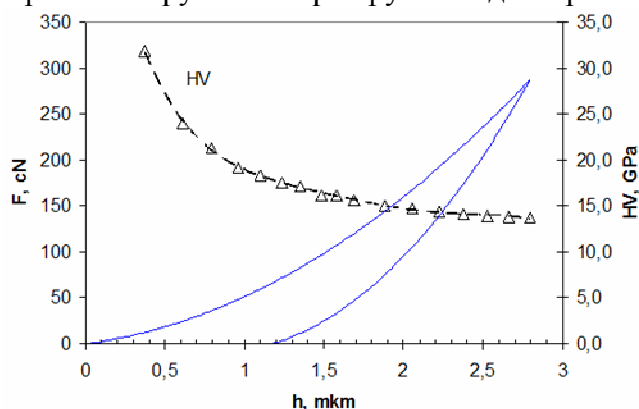


Рис. 1. Диаграммы вдавливания индентора при испытании на микротвердость образца кристалла ориентированного по оси А-[010]

Для анализа состояния поверхности эксперименты проведены при силе в 110 сН.. Установлено, что для получения удовлетворительных результатов по точности (уровень надежности 95%) определения измеряемых параметров необходимо получить не менее 10 диаграмм вдавливания.. Пластические свойства материала поверхностного слоя, ориентированного по оси [100], характеризуются самым низким значением коэффициента пластичности $K_p=0,265$ в сравнении с другой кристаллографической ориентацией, а именно, при ориентации [010] $K_p=0,417$ и при ориентации [001] $K_p=0,396$. Различие в значениях коэффициента пластичности по различным кристаллографическим плоскостям достигает 38%, что свидетельствует о более высокой чувствительности коэффициента пластичности к оценке различия в механических свойствах материала поверхностных слоев в сравнении с величиной микротвердости. Значения средней микротвердости HV_{cp} и интервал ΔHV микротвердости при силе в 120 сН приведен на рисунке 2.

Твердость поверхности, ориентированной в направлении [010], составляет 17,6 ГПа, в направлении [100], составляет 19,3 ГПа и в направлении [001] - 17,8 ГПа.

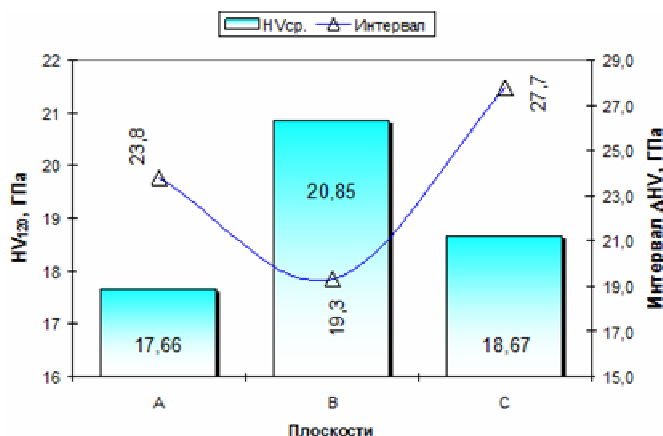


Рис. 2. Столбиковая диаграмма средней микротвердости $HV_{ср.}$ и интервал ΔHV микротвердости при силе в 120 сН

Значения микротвердости поверхности кристаллов ЧСЦ, ориентированной в направлении [100], воспроизводятся наиболее стабильно.

Выводы

На основании установленного различия в значениях микротвердости поверхностей, ориентированных по осям [001], [010], [100], следует, что в оценках показателей ресурса и надежности узлов трения, содержащих ЧСЦ кристаллы, необходимо учитывать кристаллографическую ориентацию.

Список литературы

1. Ingel R.P., Lewis III D. Elastic Anisotropy in Zirconia Single Crystals // J. Am. Ceram. Soc. 1988. V. 71. № 4. P. 265-271.
2. Головин Ю.И. Наноиндентирование и его возможности. М.: Машиностроение, 2009. 311с.
3. Oliver W.C., Pharr G.M. Measurement of Hardness and Elastic Modulus by Instrumented Indentation: Advances in Understanding and Refinements to Methodology // J. Mater. Res. 2004. V. 19. P. 3-20.
4. Borik M.A. Effect of y_2O_3 stabilizer content and annealing on the structural transformations of zrO_2 / Borik M.A., Vishnyakova M.A., Kulebyakin A.V. et al.//Inorganic Materials. 2012. T. 48. № 2. P. 156-160.
5. Осико В.В. Влияние стабилизирующей добавки y_2O_3 на трибологические свойства нанокристаллического материала на основе диоксида циркония / В.В. Осико, В.В. Алисин, М.А. Вишнякова и др. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2006. Т. 72. № 4. С. 47-52.
6. Alisin V.V. Mechanical properties of partially stabilized zirconia crystals studied by kinetic microindentation / V.V. Alisin, M.A. Borik, A.V. Kulebyakin et. al. // Inorganic Materials. 2015. T. 51. № 6. P. 548-552

References

1. Ingel R.P., Lewis III D. Elastic Anisotropy in Zirconia Single Crystals // J. Am. Ceram. Soc. 1988. V. 71. № 4. P. 265-271.
2. Golovin Y.I. Nanoindentation and its possibilities. M.: Mechanical Engineering, 2009. 311p.
3. Oliver W.C., Pharr G.M. Measurement of Hardness and Elastic Modulus by Instrumented Indentation: Advances in Understanding and Refinements to Methodology // J. Mater. Res. 2004. V. 19. P. 3-20.
4. Borik M.A. Effect of y_2O_3 stabilizer content and annealing on the structural transformations of ZrO_2 / Borik M.A., Vishnyakova M.A., Kulebyakin A.V. et al.//Inorganic Materials. 2012. T. 48. № 2. P. 156-160.
5. Osiko V.V. Influence of stabilizing additive y_2O_3 on tribological properties of nanocrystalline material based on zirconium dioxide / V.V. Osiko, V.V. Alisin, M.A. Vishnyakova, et. al // Factory laboratory. Diagnostics of materials. 2006. Vol. 72. No. 4. P. 47-52.
6. Alisin V.V. Mechanical properties of partially stabilized zirconia crystals studied by kinetic microindentation / V.V. Alisin, M.A. Borik, A.V. Kulebyakin et. al. // Inorganic Materials. 2015. T. 51. № 6. P. 548-552

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 29.03.2019