

УДК 620.22

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Алисин В.В.

Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, г.Москва

Ключевые слова: кристаллы диоксида циркония, трение и износ, фазовый состав кристаллов, полиморфные переходы в кристаллах.

Аннотация. Изучено влияние изменений в процессе трения структуры кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония на твердость и износостойкость трибосопряжения. Рентгеноструктурным анализом установлено образование пленок вторичных структур, их толщина и влияние количества стабилизирующей добавки на распределение пленок по поверхности трения кристалла. Предложены рекомендации по оптимизации количества стабилизирующей добавки.

THE EFFECT OF THE STRUCTURE OF CRYSTALS OF ZIRCONIUM DIOXIDE ON THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES

Alisin V.V.

*Institute of mechanical engineering named A.A. Blagonravov
of Russian Academy of Sciences, Moscow*

Keywords: zirconium dioxide crystals, friction and wear, phase composition of crystals, polymorphic transitions in crystals.

Abstract. The influence of changes in the friction of the structure of the crystals of partially stabilized zirconium dioxide for the hardness and durability of the units. X-ray diffraction analysis established the formation of films of secondary structures, their thickness and the effect of the amount of stabilizing additives on the distribution of films on the surface of friction of the crystal. Recommendations for optimizing the amount of stabilizing additive are proposed.

Нанокристаллическая структура в кристаллах частично стабилизированного диоксида циркония возникает в результате полиморфного перехода кубической фазы в тетрагональную. В однофазных кубических монокристаллах хрупкость существенно возрастает, что и способствует увеличению износа. Кристаллы, полученные из расплава, являются термодинамически не равновесным, метастабильным материалом, о чем свидетельствуют данные фазового анализа. Так для области составов, соответствующей содержанию оксида иттрия от 8 до 35мол%, условия синтеза из расплава таковы, что кристаллы содержат только кубическую фазу, поскольку температура полиморфного перехода кубическая – тетрагональная фаза резко снижается с увеличением содержания оксида иттрия [1]. Технологические режимы синтеза кристаллов, в частности, скорость роста кристаллов также может оказывать влияние на фазовый состав и, соответственно, на характеристики изнашивания [2]. Для анализа взаимосвязи параметров трения и изнашивания кристаллов ЧСЦ с их химическим составом

и условиями синтеза представляет интерес исследование морфологии поверхностей трения и выявление ведущих механизмов изнашивания - разрушения поверхностных слоев образцов с различным содержанием стабилизирующего агента [3]. С этой целью были выполнены исследования микротвердости, а также рентгеноструктурный и электронно-микроскопический анализ поверхностей трения образцов кристаллов с Изучено влияние изменений структуры различным содержанием стабилизирующего оксида. Уже визуальное исследование поверхностей трения после испытаний показывает, что происходит их частичное изменение по сравнению с исходным состоянием, связанное с появлением пленок вторичных структур. Образование пленок вторичных структур может быть обусловлено рядом физико-химических процессов как-то: фрикционный перенос материала контртела, неполное удаление продуктов изнашивания из зоны трения, адгезией их на поверхности трения образцов, частичным или полным окислением перенесенного материала и др.

Наблюдается неравномерность распределения пленок вторичных структур по поверхности. Отмечается также изменение микротвердости поверхностных слоев после трибологических испытаний. Некоторые данные по изменению микротвердости H приведены в таблице 1.

Табл. 1. Микротвердость поверхности трения образцов с различным содержанием Y_2O_3

Y_2O_3 , %	Исходная поверхность		Поверхность трения	
	d , м. 10^6	H , ГПа	d , м. 10^6	H , ГПа
0	17,5	12,10	20,15	9,13
3,5	15,3	15,84	19,27	9,98
4,0	17,2	12,57	17,92	11,48
8,0	17,7	11,83		
15,0	18,6	10,72	19,5	9,75

Следует отметить, что на поверхности трения имеет место разброс величин микротвердости, обусловленный как разбросом твердости исходной поверхности, так и неоднородностью микроструктуры поверхностных пленок. В целом этот разброс укладывается в диапазон между исходной микротвердостью базового материала и минимальной микротвердостью пленки $H_{исх} - H_{пл.мин}$. Косвенная оценка толщины образующихся в процессе испытаний пленок h на основании измерения микротвердости, исследования методами рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии позволяет заключить, что она находится в пределах $1,0 \leq h \leq 3,5$ мкм. На рисунке 1 приведены данные электронно-микроскопического исследования поверхностей трения образцов с 2, 4 и 8 мол% Y_2O_3 .

Можно видеть, что на трущихся поверхностях присутствуют пленки (светлые участки), причем общая картина распределения пленок по поверхности, уровень сплошности пленок, а также площадь отдельных участков пленки различны для образцов с разной концентрацией стабилизирующего агента. Для образцов с содержанием Y_2O_3 2мол% пленка

не сплошная, состоит из отдельных участков (рис. 1а), в общей своей массе ориентированных в направлении скольжения.

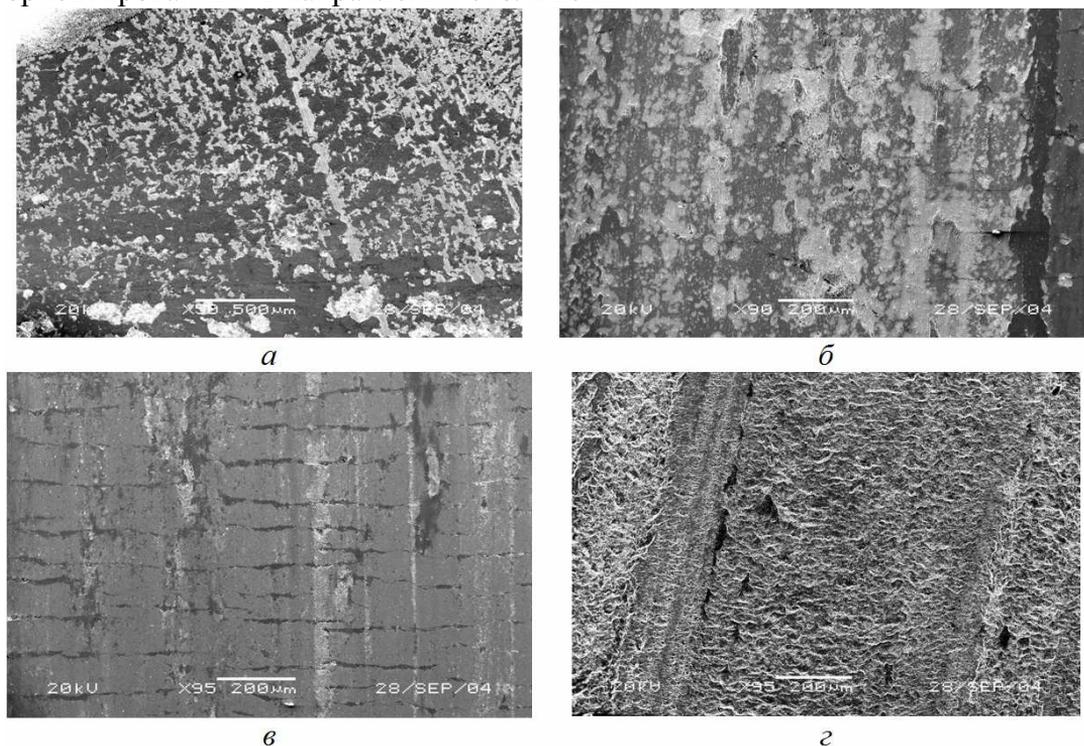


Рис. 1. Вторичные структуры на поверхности трения образцов с различным содержанием Y_2O_3 : а – 2%, б – 4%, в – 8%, г – участок поверхности без пленок вторичных структур, $100\times$

Между островками пленки просматриваются более темные участки базового материала образцов. При 4 мол% Y_2O_3 пленка также не сплошная, однако, наблюдается увеличение площади отдельных участков пленки и площади, занимаемой пленкой в целом. В отличие от этого при 8 мол% Y_2O_3 пленка характеризуется высоким уровнем сплошности (Рис. 1в). На поверхности трения образцов с 2-4 мол% Y_2O_3 практически отсутствуют крупные систематические трещины, в то время как пленка на образце с 8% Y_2O_3 покрыта системой глубоких трещин, расположенных перпендикулярно направлению скольжения.

Высокое содержание кислорода в присутствии железа позволяет предположить присутствие на поверхности трения наряду с диоксидом циркония окислов железа. Известно, что у железа имеется три окисла - FeO , Fe_2O_3 и Fe_3O_4 . Если предположить, что химический состав образующихся фаз соответствуют своему стехиометрическому составу, то можно рассчитать, сколько атомных процентов кислорода приходится на такие соединения как ZrO_2 , FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 в различных по структуре областях. Результаты расчета фазового состава для различных областей вторичных структур представлены в таблице 2.

Табл. 2. Расчет фазового состава области выглаженной однородной пленки

Общее количество кислорода, ат. %	61,06
Общее количество циркония, ат. %	6,63
Количество кислорода, связываемое ZrO_2 , ат. %	13,26
Общее количество железа, ат. %	32,31
Количество кислорода, необходимое для образования Fe_2O_3 , ат. %	48,46
Суммарное количество кислорода, связываемое ZrO_2 и Fe_2O_3 , ат. %	61,72
Разность между общим количеством кислорода и количеством, содержащимся в ZrO_2 и Fe_2O_3 , ат. %	-0,66
Недостаток кислорода, ат. %	0,66
Относительная ошибка, %	1,08

Анализ расчетных данных позволяет сделать вывод о том, что различные участки поверхности трения образца ЧСЦ существенно отличаются своим фазовым составом и своими адсорбирующими свойствами. Разрушение поверхности трения образца с содержанием Y_2O_3 8мол% происходит на более глубоком уровне и затрагивает не только слой вторичных структур, но и нижележащие слои базового материала. Это обуславливает более высокий уровень изнашивания исследуемого образца. Следовательно для получения большей износостойкости узлов трения, содержащих кристаллы диоксида циркония количество стабилизирующих добавок должно быть в пределах 2-4% Y_2O_3 .

Список литературы

1. Кузьминов Ю.С., Ломонова Е.Е., Осико В.В. Тугоплавкие материалы из холодного тигля. М.: Наука, 2004. 369с.
2. Phase Composition, Structure and Mechanical Properties of PSZ (Partially Stabilized Zirconia) Crystals as a Function of Stabilizing Impurity Content / Borik M.A. Bublik V.T., Kulebyakin A.V, Lomonova E.E., Milovich P.O., Myzina V.A., Osiko V.V., Tabachkova N.Y // J. Alloys Compd. 2014. V. 586. Suppl. 1. P.231-235.
3. Osiko V.V. Extra-strong wear-resistant materials based on nanostructured crystals of partially stabilized zirconium dioxide// Mendeleev Commun. 2009. 19. P. 117-122.

Reference

1. Kuzminov Yu.S., Lomonova E.E., Osiko, V.V. Refractory materials from a cold crucible. M.: Science, 2004. 369p.
2. Phase Composition, Structure and Mechanical Properties of PSZ (Partially Stabilized Zirconia) Crystals as a Function of Stabilizing Impurity Content / Borik M.A. Bublik V.T., Kulebyakin A.V, Lomonova E.E., Milovich P.O., Myzina V.A., Osiko V.V., Tabachkova N.Y // J. Alloys Compd. 2014. V. 586. Suppl. 1. P. 231-235.
3. Osiko V.V. Extra-strong wear-resistant materials based on nanostructured crystals of partially stabilized zirconium dioxide// Mendeleev Commun. 2009. 19. P. 117-122.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Алисин Валерий Васильевич – к.т.н., в.н.с.,
Институт машиноведения
им. А.А. Благонравова РАН, г.Москва

Valeriy V. Alisin – candidate of technical
science, leading researcher, Institute of
mechanical engineering named
A.A. Blagonravov of Russian Academy of
Sciences, Moscow

Получена 30.10.2018