

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ КРИСТАЛЛЫ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Алисин В.В.

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

Ключевые слова: диоксид циркония, триботехнические характеристики, трение и износ, трещиностойкость.

Аннотация. Статья посвящена анализу и обобщению экспериментальных данных полученных в процессе исследования механических свойств наноструктурированных кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония. Сформулированы технические характеристики обеспечивающие конкурентные преимущества кристаллов на внутреннем и внешних рынках в сегменте триботехнических приложений.

Актуальность проблемы создания новых технических керамик и кристаллов для узлов трения заключается в том, что эти материалы обладают наряду с высокими прочностными свойствами низкой трещиностойкостью (хрупкостью) и плохой антифрикционностью [1]. На рис.1 представлена схема новой технологии [2], получения наноструктурированных кристаллов диоксида циркония, которая позволяет получать размеры единичных кристаллов ЧСЦ до 40мм в поперечном сечении и длину до 120 мм.



Рис. 1. Схема технологического процесса производства кристаллов ЧСЦ

Трибологические исследования проводились [3,4] на универсальной машине трения УМТ-1 при изменении средних контактных давлений в диапазоне $2,5 < p < 25$ МПа и скорости скольжения $0,2 < v < 2$ м/с. Модельный узел трения был выполнен по схеме «диск-палец» по методике [5,6].

Экспериментально установлены закономерности изнашивания кристаллов ЧСЦ. Интенсивность изнашивания кристаллов ЧСЦ несколько падает, а затем начинает быстро возрастать; минимальные значения $J_{ЧСЦ} = J_{min} = 2,50 \cdot 10^{-9}$

соответствуют кристаллам ЧСЦ с добавлением 3,5 – 4,0 % Y_2O_3 ; общий диапазон изменения интенсивности изнашивания кристаллов ЧСЦ с различным процентным содержанием Y_2O_3 находится в пределах $2,50 \cdot 10^{-9} \leq J \leq 2,73 \cdot 10^{-8}$. Принимая в качестве эталона величину интенсивности изнашивания кристаллов ЧСЦ с содержанием 3,5 % Y_2O_3 ($J_{3,5\%} = J_{min} = 2,5 \cdot 10^{-9}$), относительная износостойкость $\varepsilon_o = J_{min} / J_i$ других образцов составляет: при 3,0 % Y_2O_3 – $\varepsilon_o = 0,58$; при 4% Y_2O_3 – $\varepsilon_o = 0,99$; при 8% Y_2O_3 – $\varepsilon_o = 0,38$; при 15% Y_2O_3 – $\varepsilon_o = 0,09$.

Коэффициент трения f_c кристаллов ЧСЦ плавно снижается; общий диапазон изменения коэффициента трения $0,21 \leq f_c \leq 0,34$. Минимальные значения $f_c = 0,21$ соответствуют 15% Y_2O_3 .

Интенсивность изнашивания контртела (сталь У10А) при сочетании с различными образцами кристаллов ЧСЦ изменяется относительно мало и находится в диапазоне $4,70 \cdot 10^{-8} \leq J_{У10А} \leq 6,0 \cdot 10^{-8}$. Минимальные значения $J_{У10А} = 4,70 \cdot 10^{-8}$ соответствуют (2,5 – 3,0)% Y_2O_3 .

Наилучшими триботехническими свойствами по критерию минимизации износа обладают кристаллы ЧСЦ с содержанием стабилизирующих добавок 3,5-4% Y_2O_3 – [ZrO_2 – 3,5 % Y_2O_3].

Существует корреляция между интенсивностью изнашивания $J_{ЧСЦ}$ этих кристаллов и их микротвердостью H , предельной относительной деформацией разрушения при изгибе ε , произведением $H \cdot \varepsilon$ ($p = 5$ МПа, $v = 2$ м/с):

$$- J_{ЧСЦ} \text{ с увеличением } H \text{ снижается: } J_{ЧСЦ} = 3,09 \cdot 10^{-2} \cdot (1,55 \cdot 10^9 / H)^{12,05};$$

$$- J_{ЧСЦ} \text{ с увеличением } \varepsilon \text{ снижается: } J_{ЧСЦ} = 1,18 \cdot 10^{-11} \cdot (0,023 / \varepsilon)^{2,13};$$

$$- J_{ЧСЦ} \text{ с увеличением произведения } H \cdot \varepsilon \text{ снижается:}$$

$$J_{ЧСЦ} = 8,55 \cdot 10^{-7} \cdot (1,01 \cdot 10^6 / (H \cdot \varepsilon))^{1,875};$$

С ростом контактного давления в пределах $p = 5 - 80$ МПа: $J_{ЧСЦ}$ повышается: $J_{ЧСЦ} = 0,29 \cdot 10^{-9} \cdot p^{1,344}$; коэффициент трения скольжения f_c – снижается: $f_c = 0,568 \cdot p^{-0,17}$.

Общей закономерностью для установленных выше связей является степенной характер зависимостей $J_{ЧСЦ}$ и f_c от H , ε , $H \cdot \varepsilon$ и p .

Фактором, лимитирующим ресурс работы пары трения, является контртело. Повысить износостойкость контртела в узлах трения, содержащих кристаллы ЧСЦ и керамические материалы, возможно применением износостойких металлокерамических покрытий и наплавов, например [7]. Конкурентные преимущества ЧСЦ кристаллов на внутреннем и внешних рынках обеспечены следующими показателями:

- интенсивность изнашивания при трении без смазки по стали ($p=5$ МПа, $v=2$ м/с) $I=2 \cdot 10^{-9}$;

- коэффициент трения при трении без смазки по стали $f=0,3$;

- трещиностойкость, $K_{1C} = 10-12$ МПа·м^{0,5};

- предел прочности при изгибе, $\sigma_m = 900-1000$ МПа.

Выводы. Размеры кристаллов и достигнутые механические свойства кристаллов ЧСЦ дают основание рекомендовать их для замены всех видов кристаллов в «опорах на камнях» в точных приборах и часовых механизмах.

Список литературы

1. Tribology-Lubrication, Friction and Wear. Edited by I.V. Kragelsky and V.V. Alisin // Professional Engineering Publishing Limited. London and Bury St Edmunds, UK, 2001. 948p.

2. Кузьминов Ю.С., Ломонова Е.Е., Осико В.В. Тугоплавкие материалы из холодного тигля. М.: Наука, 2004. 369 с
3. Осико В.В. Влияние стабилизирующей добавки Y₂O₃ 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. № 4. С. 47-52.
4. Borik M.A. Partially stabilized zirconia single crystals: growth from the melt and investigation of the properties / Borik M.A., Lomonova E.E., Osiko V.V., Panov V.A., Porodinkov O.E., Vishnyakova M.A., Voronko Yu.K. Voronov V.V. // Journal of Crystal Growth. V.275. Issues 1-2. 15 February 2005. P. 2173-2179.
5. Рощин М.Н. Исследование фрикционных свойств материалов при высоких температурах // Современные проблемы теории машин. 2018. № 6. С.7-9.
6. Рощин М.Н. Сравнительные испытания углеродосодержащих материалов при высоких температурах // Автоматизированное проектирование в машиностроении. 2018. №6. С. 13-16.
7. Алисин В.В. Владиславлев А.А, Рощин М.Н. Технология получения износостойких металлокерамических покрытий с ультрадисперсной упрочняющей фазой // Перспективные материалы и технологии. НАНОКОМПОЗИТЫ, (космический вызов 21 век, Том 2). – М: Торус Пресс, 2005. – С. 59-68.

Сведения об авторе:

Алисин Валерий Васильевич – к.т.н., ведущий научный сотрудник, ИМАШ РАН, г.Москва.

NANOSTRUCTURED CRYSTALS ZIRCONIA TRIBOTECHNICAL PURPOSE

Alisin V.V.

Keyword: zirconia, tribological properties, friction and wear, fracture toughness.

Abstract. The article is devoted to the analysis and generalization of experimental data obtained in the process of studying the mechanical properties of nanostructured crystals of partially stabilized zirconium dioxide. The technical characteristics providing competitive advantages of crystals in the domestic and foreign markets in the segment of tribotechnical applications are formulated.

References

1. Tribology-Lubrication, Friction and Wear. Edited by I.V. Kragelsky and V.V. Alisin // Professional Engineering Publishing Limited. London and Bury St Edmunds, UK, 2001. 948p.
2. Kuzminov Yu.S., Lomonova E.E., Osiko V.V. Refractory materials from a cold crucible. М.: Science, 2004. 369p.
3. Osiko V.V. Influence of stabilizing additive Y₂O₃ on tribological properties of nanocrystalline material based on zirconium dioxide / V.V. Osiko, V. V. Alisin, M. A. Vishnyakova et al. // Factory laboratory, materials diagnostics. 2006. No. 4. P. 47-52.
4. Borik M.A. Partially stabilized zirconia single crystals: growth from the melt and investigation of the properties / Borik M.A., Lomonova E.E., Osiko V.V., Panov V.A., Porodinkov O.E., Vishnyakova M.A., Voronko Yu.K. Voronov V.V. // Journal of Crystal Growth. V.275. Issues 1-2. 15 February 2005. P. 2173-2179.
5. Roshchin M.N. Study of friction properties of materials at high temperatures// Modern problems of machine theory. 2018. No. 6. P. 7-9.
6. Roshchin M.N. Comparative tests of carbonaceous materials at high temperatures // Computer-aided design in mechanical engineering. 2018. №6. P. 13-16.
7. Alisin V.V, Vladislavlev A.A., Roshchin M.N. The technology of producing wear resistant cermet coatings with ultra-dispersed hardening phase // Advanced materials and technologies. NANOCOMPOSITES, (space challenge of the 21st century, Vol. 2). – М.: Torus Press, 2005. –P. 59-68.