

ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ФРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИРКОНИЕВЫХ КЕРАМИК В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ БЕЗ СМАЗКИ

Алисин В.В.

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

Ключевые слова: трение, износ, кристаллы диоксида циркония, триботехнические испытания.

Аннотация. Рассматриваются вопросы изменения в процессе трения трибологических свойств наноструктурированных кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония при трении по стали. Приведены результаты электронно-микроскопического исследования поверхности после трения. Установлено, что разрушение поверхностных слоев образцов происходит главным образом путем локального разрушения и отслаивания поверхностных пленок

Точность работы подвижных узлов робототехники зависит от стабильности воспроизводства фрикционных характеристик поверхностей трения. Прогнозирование ресурса и надежности узлов трения основывается на характеристиках трибологических свойств, которые определяются экспериментально. Обеспечение стабильности и воспроизводства в эксперименте трибологических характеристик является актуальной задачей повышения качества машин. Особенно остро проблема стабильности воспроизводства трибологических характеристик стоит при испытании керамических материалов, в частности циркониевых керамик, например в работе [1] отмечается важность построения модели структурной деградации тяжело нагруженных поверхностей. Технические трудности и трудоемкость обработки циркониевых керамик и кристаллов обусловлены повышенной вязкостью и трещиностойкостью материалов в сравнении с другими керамиками триботехнического назначения, а также большой твердостью. Поэтому трибологические эксперименты часто проводят на одних и тех же образцах.

Цель исследования состоит в установлении влияния повторных испытаний образцов керамики на основе диоксида циркония на коэффициент трения.

Образцы изготавливались из кристаллов $ZrO_2 + 3,5\text{мол.}\%Y_2O_3$ с размерами $5 \times 5 \times 8 \cdot 10^{-3}$ м, контртело – инструментальная сталь У10А, диск диаметром $12 \cdot 10^{-2}$ м.

Испытания образцов проводились в режиме сухого трения на машине трения УМТ-1 по схеме пальчик – диск. Испытания проводились при двух значениях среднего контактного давления $p_1 = 5$ МПа и $p_2 = 60$ МПа, скорость скольжения - $v = 2$ м/с. Выбор тяжелого режима трения обусловлен выявлением предельных изменений в коэффициенте трения.

Испытания проводились на образцах двух типов: 1) “новые образцы” - вторичные окисные пленки отсутствуют; 2) “старые образцы” - образцы использовались в предыдущих экспериментах и на их поверхностях трения присутствуют черно-синие окисные пленки.

Режимы испытаний: ступенчатое повышение нагрузки в диапазоне $P = 144 \dots 936$ Н ($p = 2,86 \dots 18,60$ МПа) и постоянная скорость скольжения:

$v = 0,1$ м/с. На рис. 1 приведены – для “старых” образцов (кривая 1) и – для “новых” образцов (кривая 2).

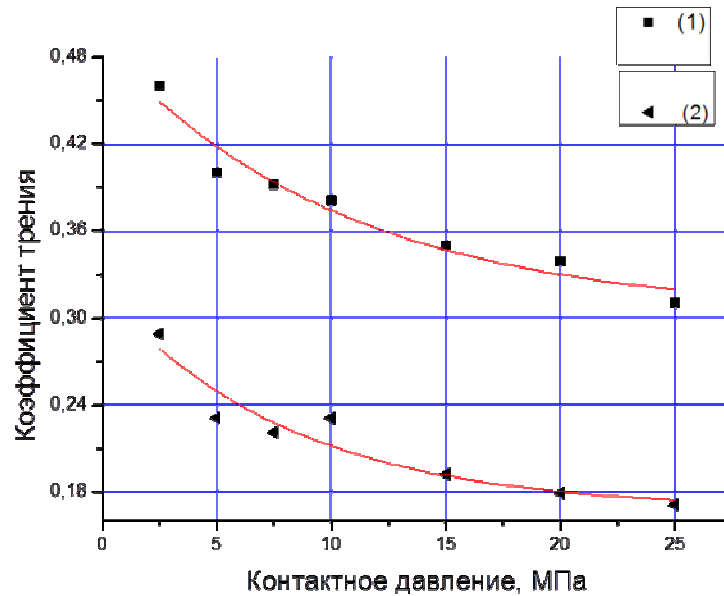


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения f от среднего контактного давления p при постоянной скорости скольжения $V=0,1$ м/с, кристалл ZrO_2 - 3 мол% Y_2O_3 :
1 – «старые» образцы; 2 – «новые» образцы

Результаты испытаний.

1) с ростом нагрузки в диапазоне $P = 144...936$ Н ($p = 2,86...18,60$ МПа) коэффициент трения f снижается в 1,5...1,8 раза;

2) величины f , полученные на “новых” образцах, на (16...22)% меньше f , полученных на “старых” образцах;

3) общий диапазон изменения коэффициентов трения: $0,33 < f < 0,94$.

“Падающая” зависимость $f = \varphi(p)$ при “сухом” (граничном) режиме трения характерна для трибосопряжений, у которых материал в зоне контакта находится в области преимущественно упругих деформаций. В этом случае величина коэффициента трения f обратно пропорциональна контактному давлению p_r ($f \sim 1/p_r$). С ростом нагрузки P растет p_r , а коэффициент трения f соответственно падает.

Высокие значения коэффициентов трения скольжения $f = 0,7...0,9$ в области относительно малых средних контактных давлений (2...3 МПа) можно объяснить повышенным влиянием микро геометрии сопряженных поверхностей в условиях «сухого» (граничного) режимов трения и наличием поверхностных окисных пленок. С ростом контактного давления происходит смятие неровностей, прирост фактической площади контакта относительно увеличивающейся нагрузки снижается (уменьшается $dA_r/d p_r$), а значит и уменьшается роль деформационной составляющей при некотором возрастании адгезионной составляющей коэффициента трения f (0,32...0,6). Окисные пленки на поверхностях трения образцов способствуют увеличению контактных сил трения, а, следовательно, и коэффициента трения скольжения [2]. Это является дополнительным подтверждением, что поверхностные окисные пленки, формирующиеся во время испытаний, обладают худшими антифрикционными свойствами по сравнению с исходными материалами трибосопряжения. В работе [3] показано, что

текстурирование поверхности может ухудшить трибологические характеристики пары трения при сухом трении

Были выполнены электронно-микроскопические исследования топографии поверхностей трения исследованных образцов ЧСЦ (рисунок 2).

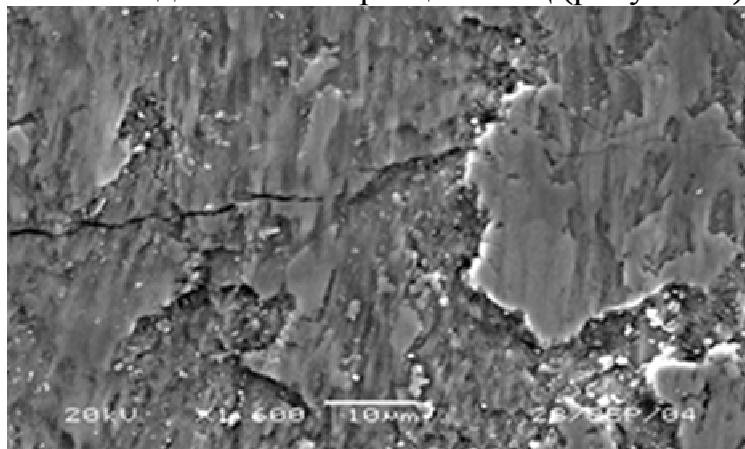


Рис. 2. Разрушение поверхности трения образцов

Анализ поверхности трения эталонного образца кристаллов $ZrO_2 + 3,5 \text{ мол. \% } Y_2O_3$, испытанного при контактном давлении 5 МПа показывает, что 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.

Анализ морфологии поверхностных вторичных структур позволяет заключить, что разрушение поверхностных слоев образцов с 2 и 4 мол % Y_2O_3 происходит главным образом путем локального разрушения и отслаивания поверхностных пленок. При этом процесс разрушения локализуется в слое вторичных структур. Эти изменения в поверхностном слое сильно меняют трибологическое поведение пары трения.

Выводы

Для повышения стабильности триботехнических характеристик условиях сухого трения керамических материалов на основе диоксида циркония необходима приработка поверхностей. Образование и воспроизводство пленки вторичных структур на поверхностях трения является необходимым условием стабильной работы механизмов различного назначения.

Список литературы

1. Reinert L. Dry friction and wear of self-lubricating carbon-nanotube-containing surfaces/L. Reinert, M. Varenberg, F. Mücklich, S. Suárez// Wear. 2018. V. 406–407. P. 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.03.021>
2. Осико В.В. Влияние стабилизирующей добавки Y_2O_3 на трибологические свойства нанокристаллического материала на основе диоксида циркония/ Осико В.В., Алисин В.В.,

Вишнякова М.А. и др. // Заводская лаборатория, диагностика материалов. 2006. №4. С 47-52.

3. Menapace C. Dry sliding behavior and friction layer formation in copper-free barite containing friction materials / C. Menapace, M. Leonardi, V. Matějka, S. Gialanella, G. Straffelini // Wear. 2018. V. 398–399. P. 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.12.008>

Сведения об авторе:

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

THE REPRODUCIBILITY OF THE FRICTION CHARACTERISTICS OF ZIRCONIUM CERAMICS IN CONDITIONS OF FRICTION WITHOUT LUBRICATION

Alisin V.V.

Keywords: friction, wear, crystals of zirconium dioxide, tribotechnical tests.

Abstract. The issues of changing in the process of friction the tribological properties of nanostructured crystals of partially stabilized zirconia during friction on steel are considered. The results of electron microscopic study of the surface after friction are presented. It has been established that the destruction of the surface layers of the samples occurs mainly by local destruction and peeling of the surface films.

References

1. Reinert L. Dry friction and wear of self-lubricating carbon-nanotube-containing surfaces / L. Reinert, M. Varenberg, F. Mücklich, S. Suárez // Wear. 2018. V. 406–407. P. 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.03.021>
2. Osiko V.V. The influence of the stabilizing additive Y₂O₃ on the tribological properties of a zirconia-based nanocrystalline material / Osiko V.V., Alisin V.V., Vishnyakova M.A. et al. // Factory laboratory, diagnostics of materials. 2006. No. 4. P. 47-52
3. Menapace C. Dry sliding behavior and friction layer formation in copper-free barite containing friction materials / C. Menapace, M. Leonardi, V. Matějka, S. Gialanella, G. Straffelini // Wear. 2018. V. 398–399. P. 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.12.008>