

УДК 666.3

ИЗНОС И ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА ЧСДЦ КЕРАМИКИ, ПОЛУЧЕННОЙ ГОРЯЧИМ ИЗОСТАТИЧЕСКИМ ПРЕССОВАНИЕМ, ПРИ ЕЕ ТРЕНИИ О СТАЛЬ

© Канд. физ.-мат. наук Г.Я. Акимов, канд. физ.-мат. наук Г.А. Маринин, канд. техн. наук Э.В. Чайка

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины



Акимов Г. Я.
руководитель
отдела
технической
керамики ДонФТИ

Исследован износ, изменение фазового состава и текстуры керамики из частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСДЦ), полученной горячим изостатическим прессованием при периодическом сухом трении о сталь. Обнаружено, что в процессе трения происходит увеличение интенсивности износа керамики. Установлено, что износ сопровождается исчезновением на поверхности трения текстуры и увеличением содержания тетрагональной фазы.

Введение

Одним из перспективных материалов для работы в жестких условиях эксплуатации является керамика на основе частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСДЦ). Она отличается высокими значениями прочности, твердости, трещиностойкости, модуля упругости и стойкости к коррозии, которые могут обеспечить успешное функционирование фрикционных пар из этого материала.

Из-за трудностей, возникающих при изготовлении и закреплении деталей из керамики, при создании фрикционных пар предпочтение отдают разнородным парам трения, образованным самой керамикой и другими некерамическими материалами: металлами или полимерами. Разработка и совершенствование таких пар трения идет как в направлении оптимального выбора материала контр-тела, так и в направлении совершенствования свойств керамики [1, 2].

Известно, что при трении в ЧСДЦ керамике имеет место переориентация кристаллической решетки тетрагональной фазы и формируется текстура в поверхностных слоях керамики [3]. В работе [4] было обнаружено, что формирование текстуры и образование моноклинной фазы на поверхности трения в керамике с пористостью 3 % приводит к повышению износостойкости материала при трении о сталь. Формирование плотного, беспористого мате-

риала ЧСДЦ возможно с помощью горячего изостатического прессования (ГИП). При этом в материале формируется текстура [5].

Настоящая работа посвящена исследованию износа и изменений фазового состава и структуры поверхности трения ЧСДЦ керамики, полученной с помощью ГИП при периодическом сухом трении о сталь.

Материал, методика и результаты исследования

Для получения керамики с высокой плотностью использовали технологию, которая включала холодное изостатическое прессование (ХИП) исходного порошка, спекание и допрессовывание спеченного образца посредством ГИП. В качестве исходного материала использовали порошок $ZrO_2 + 4 \text{ мол. \% } Y_2O_3$, изготовленный в Днепропетровском национальном химико-технологическом университете. Давление ХИП равнялось 0,4 ГПа. Спекание проходило при температуре 1500 °С в течение 3 ч в воздушной среде. ГИП проводилось в течение 4 ч в атмосфере аргона при давлении 0,2 ГПа и температуре 1450 °С.

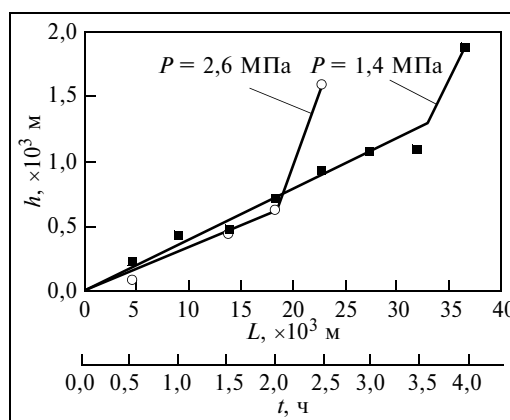
В результате была получена керамика черного цвета с плотностью 6,13 г/см³. Средний размер зерна был равен 1 мкм, прочность при трехточечном изгибе равнялась 1400 МПа, трещиностойкость при изгибе образца с надрезом — 17,5 МПа · м^{1/2}.

Рентгенофазовый анализ (РФА) керамики проводили по рентгенограммам, полученным на установке ДРОН-3м в CoK_α -излучении. Фазовый состав и текстура поверхности трения в исходном состоянии и после часа испытания на износ приведена в таблице.

Исследование износа проводили в соответствии с методикой, описанной в работе [6]. Схема контакта при испытании была: цилиндрический образец — плоскость. В качестве материала контр-тела использовали сталь 40ХН, закаленную до твердости 55 HRC. Скорость скольжения керамического образца по стальной поверхности равнялась 2,5 м/с, давление прижима P составляло 1,4 и 2,6 МПа. Через каждые 30 мин эксперимент останавливали, измеряли высоту образца и заново шлифовали поверхность контр-тела для удаления частиц износа керамики, которые могли внедриться в металл. Время эксперимента t составило 4 ч. Интенсивность износа I_h определяли по отношению высоты истертого слоя h к пути трения L ($I_h = h/L$) [7]. Результаты исследования износа приведены на рисунке.

Обсуждение результатов

При рассмотрении полученных результатов следует учитывать, что в данном эксперименте отсутствует абразивный износ керамики, поскольку твердость стального контр-тела ниже



Износ ЧСДЦ керамики $\text{ZrO}_2 + 4$ мол. % Y_2O_3 , полученной горячим изостатическим прессованием, при ее периодическом сухом трении о сталь

твердости исследуемой керамики и резания керамики не происходит.

Вначале эксперимента (см. рисунок) интенсивность износа I_h незначительна и равна $\approx 0,04 \cdot 10^{-6}$. Однако через некоторое время она резко увеличивается и равняется $\approx 0,2 \cdot 10^{-6}$. Видно, что при усилении давления прижима образца к контр-телу и, соответственно, увеличении сдвиговых напряжений на поверхности образца рост интенсивности износа происходит раньше: через 3,5 ч при $P = 1,4$ МПа и 2 ч при $P = 2,6$ МПа. При этом существенного изменения значений интенсивности износа не наблюдается.

Подобное увеличение износа от времени показано в работе [8]. Авторы работы исследовали износ ЧСДЦ керамики в системе $\text{ZrO}_2 + 4$ мол. % Y_2O_3 , полученной без использования ГИП. Керамика с размером зерна 0,5 мкм на-

Фазовый состав, параметры решетки и текстура образца

Фаза*	Количество С, об. %	Параметры решетки				Текстура 1002/1200	Ширина В(111), рад	
		с/а	с, нм	а, нм	V, нм ³			
			До трения					
M	8	—	—	—	0,1420	1,8	1,54•10 ⁻²	
T _{et}	14	1,030	0,5260	0,5077	0,1356			
T _t	34	1,017	0,5173	0,5090	0,1340			
T'	29	1,009	0,5163	0,5114	0,1350			
F	15	—	—	0,5133	0,1352			
			После 1 ч трения					
M	0	—	—	—	—	0,63	0,87•10 ⁻²	
T _{et}	0	—	—	—	—			
T _t	66	1,017	0,5174	0,5088	0,1339			
T'	22	1,007	0,5133	0,5097	0,1334			
F	12	—	—	0,5126	0,1347			

* Где M — моноклинная фаза; T_{et} — легкотрансформируемая тетрагональная фаза T_t — тетрагональная трансформируемая фаза; T' — нетрансформируемая тетрагональная фаза; F — кубическая фаза; V — объем элементарной ячейки.

ходила в тетрагональной модификации. Было обнаружено, что при непрерывном трении о сталь со скоростью 10 м/с после 2,5 и 3,5 ч трения интенсивность износа резко возрастает.

Согласно работам [3, 8], главной причиной износа ЧСДЦ керамики является разрушение материала на поверхности трения, определяемое зарождением и распространением трещин. Причиной наблюдаемого повышения износа, по-видимому, является увеличение скорости распространения трещин с поверхности в объем материала, контролируемое процессом трансформационного упрочнения в результате фазовых превращений в ЧСДЦ на поверхности трения.

Наблюдаемое изменение фазового состава керамики на трущейся поверхности (см. таблицу) происходит в результате воздействия сдвиговых напряжений и чередующегося нагрева и охлаждения материала образца. Периодический нагрев происходит из-за шероховатости и непостоянства фактической поверхности контакта между керамическим образцом и контр-телом, а также по причине периодических остановок образца для измерения высоты изношенного слоя. По этим же причинам величина сдвиговых напряжений, возникающих на поверхности трения, также постоянно изменяется. Таким образом, материал на поверхности трения в процессе эксперимента подвержен переменному термомеханическому воздействию.

Из данных РФА, представленных в таблице, следует, что при таком воздействии происходят процессы, аналогичные отжигу материала. По данным [3], температура в зоне трибологического контакта керамики из ЧСДЦ со сталью может достигать температурной области стабильности тетрагональной фазы ($>1000^\circ\text{C}$). На поверхности исследуемого образца наблюдается увеличение количества трансформируемой тетрагональной T_f фазы за счет исчезновения моноклинной M и тетрагональной T_{et} фазы и уменьшения содержания кубической F и тетрагональной T' фазы. Исчезает текстура I_{002}/I_{200} и уменьшается ширина максимума $B_{(111)}$, что свидетельствует о снижении внутренних напряжений в керамике, которые, возможно, определяли низкий износ вначале трения.

Так как наблюдаемые фазовые превращения ($M \rightarrow T_f$ и $T_{et} \rightarrow T_f$) идут с

уменьшением объема элементарных ячеек V , то уменьшается и объем преобладающих превращение кристаллитов. Это облегчает зарождение трещин между зернами в поверхностном слое образца. В итоге и происходит, очевидно, снижение износостойкости керамики.

Выводы

В процессе трения о сталь интенсивность износа ЧСДЦ керамики в системе $\text{ZrO}_2 + 4 \text{ мол. \% Y}_2\text{O}_3$, полученной с помощью ГИП, увеличивается. При усилении прижима образца к контр-телу рост интенсивности износа происходит раньше. При трении наблюдается изменение фазового состава и исчезновение текстуры на поверхности трения. Происходит увеличение содержания тетрагональной фазы за счет фаз с большим объемом. В результате структурных изменений снижаются внутренние напряжения, что способствует уменьшению эффекта трансформационного упрочнения и, возможно, является причиной снижения износостойкости керамики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Klaffke D.* Influence of Counter Body Material and Relative Humidity on the Tribological Behaviour of Steel/Ceramic Couples // Proc. 2-nd world tribology congress, ed. F. Franek, W. J. Bartz, A. Pauschitz. 2001. P. 93—100.
2. *Asanabe, Sadao.* Application of Ceramics for Tribological Components // Tribology International. 1987. V. 20. N. 6. P. 355—364.
3. *Королев П.В., Савченко Н.В., Кульков С.Н.* Формирование текстуры на поверхности трения в трансформационно-упрочненной керамике // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. В. 1. С. 28—34.
4. *Акимов Г.Я., Маринин Г.А., Чайка Э.В.* Роль пористости в эволюции фазового состава и формировании текстуры на поверхности трения керамики из частично стабилизированного диоксида циркония // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. В. 3. С. 49—54.
5. *Акимов Г.Я., Маринин Г.А., Каменева В.Ю.* Эволюция фазового состава и физико-механических свойств керамики $\text{ZrO}_2 + 4 \text{ мол \% Y}_2\text{O}_3$ // ФТТ. 2004. Т. 46. В. 2. С. 250—252.
6. *Чайка Э.В., Акимов Г.Я., Тимченко В.М.* Износ керамики на основе диоксида циркония в условиях сухого трения скольжения в паре со сталью: роль пористости // Огнеупоры и техническая керамика. 2005. № 9. С. 10—12.
7. *Крагельский И.В.* Трение и износ. — М.: ГНТИ машиностроительной литературы, 1962. — 384 с.
8. *Chen Y.M., Rigaut B. & Armanet F.* Wear Behaviour of Partially Stabilized Zirconia at High Sliding Speed // J. Europ. Ceram. Soc. 1990. N 6. P. 383—390.