

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ОБРАБОТАННЫХ ЛАЗЕРОМ

Алисин В.В.

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

Аннотация. Изучается влияние импульсного лазерного излучения на трибологические свойства наноструктурированных кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония (кристаллы ЧСЦ) при трении без смазки по инструментальной стали У10А. Установлено, что лазерная обработка поверхности приводит к уменьшению коэффициента трения.

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ZIRCONIUM DIOXIDE LASER TREATED CRYSTALS

Alisin V. V.

Keywords: zirconium dioxide crystals, laser treatment, friction, wear, tribotechnical tests.

Abstract. The effect of pulsed laser radiation on the tribological properties of nanostructured crystals of partially stabilized zirconium dioxide (PSZ crystals) under friction without lubrication on tool steel U10A is studied. It is found that laser surface treatment leads to a decrease in the coefficient of friction.

Введение. Одной из основных причин, сдерживающих массовое применение технической керамики в узлах трения является высокий коэффициент трения в условиях трения без смазки, что при нарушении смазочной прослойки между поверхностями трения приводит к большому локальному тепловыделению и разрушению детали. Для улучшения антифрикционных свойств керамических деталей в узлах трения применяют покрытия, и обработку лазером [1], что в полной мере относится и к материалам [2.3] нового поколения на основе кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСЦ кристаллы).

Материалы. Объектами исследования являлись: образцы наноструктурированного кристалла $ZrO_2 + 3 \text{ мол.}\% Y_2O_3$, Контртело для проведения трибологических испытаний выполнено в виде диска диаметром 12×10^{-2} м, изготовленного из закаленной инструментальной стали У10А, HRC 49-52.

Методика исследований. Испытания проводились на машине трения УМТ-1 на модельных образцах по схеме диск – палец по методике [4], измерение износа на оптиметре ИКВ-1, контроль шероховатости на профилографе-профилометре Калибр-201. Элементный состав материала поверхности и электронные фотографии поверхности выполнены на электронном сканирующем микроскопе JSM Joel.

Лазерная обработка торцевых поверхностей пальчиковых образцов выполнялась на установке Квант-12 сфокусированным лазерным излучением на длине волны 1,06 м мкм (активный элемент из алюмоиттриевого граната) в

импульсно-периодическом режиме с частотой повторения импульсов до 20 Гц с длительностью импульса от 1,5 до 4,0 мс. В экспериментах энергия излучения ступенчато увеличивалась от 1 до 5 Дж до момента формирования пленки (покрытия) золотистого цвета на поверхности ЧСЦ кристалла. Скорость лазерной обработки была постоянной и равна 150 мм/мин, диаметр светового пятна 2 мм. Принятая технология лазерной обработки обеспечивала достижение практически одинакового (по толщине) покрытия на всех образцах испытываемой партии.

Результаты исследований. Существенных изменений в химическом составе (тяжелые элементы) поверхности ЧСЦ кристалла до и после обработки лазером не обнаружено (табл. 1). Количественные изменения соизмеримы с ошибкой измерения, однако заметна тенденция к уменьшению доли кислорода и возрастанию количества циркония, чем вероятно объясняется золотистый цвет образующегося покрытия.

Табл. 1. Результаты спектрального элементного анализа кристалла ЧСЦ после лазерной обработки

элемент	Атомн. %		Весовые %		Ошибка (\pm)	
	исходная	лазерная обработка	исходная	лазерная обработка	исходная	лазерная обработка
<i>Y</i>	2,87	3,98	5,37	6,05	5,37	6,05
<i>Zr</i>	38,49	51,6	73,75	80,52		
<i>Hf</i>	0,34	0,45	1,28	1,39	1,28	1,39
<i>O</i>	58,30	43,97	19,6	12,4		

На фотографиях поверхности ЧСЦ кристалла (рис. 1) обработанной лазером видны лунки, образовавшиеся за счет испарения материала под воздействием лазерного луча.

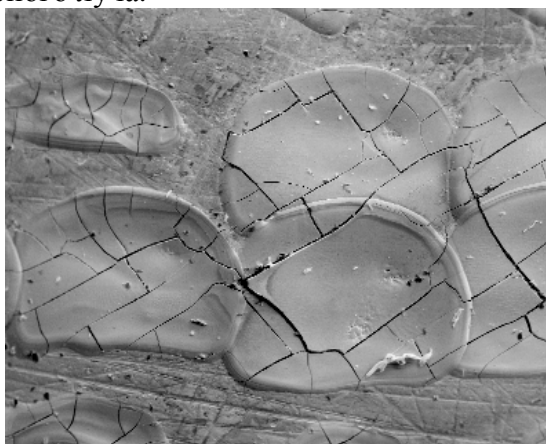


Рис.1. Поверхность ЧСЦ кристалла (x100)

Поскольку примененная лазерная установка имеет практически одномодовое излучение с ярко выраженной концентрацией мощности излучения в центре светового пятна, то на выбранных режимах работы это

привело к испарению материала в центре пятна. Соответственно на поверхности образовался рельеф, содержащий периодические лунки. На всех увеличениях заметна сетка микротрещин, которая возможно образуется за счет различия в коэффициентах термического расширения пленки и материала основы. Вероятным механизмом образования трещин является различие в коэффициентах линейного термического расширения ЧСЦ кристалла и покрытия. Устранение микротрещин возможно микролегированием материала покрытия и оптимизации условий лазерной обработки.

Проведены сравнительные испытания по определению трибологических свойств материалов при трении без смазки по стали У10А: кристалл $ZrO_2+3\%$ мол. Y_2O_3 с покрытием, полученным лазерной обработкой; кристалл $ZrO_2+3\%$ мол. Y_2O_3 без лазерной обработки. Результаты сравнительных испытаний кристаллов ЧСЦ без покрытия и с покрытием при различных давлениях на контакте приведены на рис. 2.

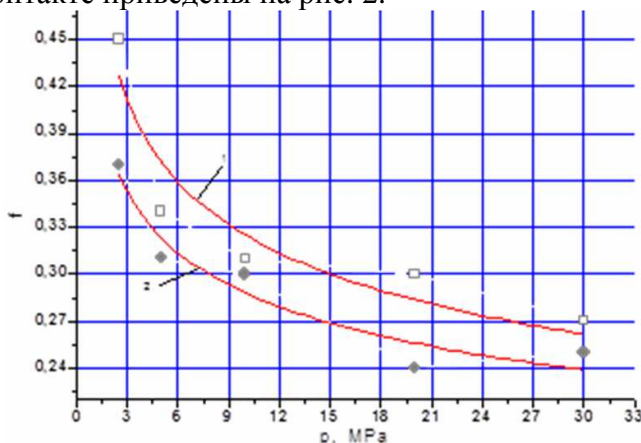


Рис. 2. Результаты испытаний

Коэффициент трения уменьшается примерно на 30%. В интервале контактных давлений 2,5 - 40 МПа, коэффициент трения изменится для образцов, обработанных лазером, от $f=0,31$ до $f=0,19$. Для образцов, не подвергавшихся лазерной обработке, в диапазоне указанных контактных давлений коэффициент трения изменяется от $f=0,46$ до $f=0,29$.

Использование лазерной обработки ЧСЦ кристаллов для снижения коэффициента трения принципиально возможно применительно к задачам микротрибологии, где одним из лимитирующих факторов являются антифрикционные свойства материала в сочетании с относительно высокой износостойкостью, а именно в миниатюрных опорах трения, например точных приборов или часовых механизмов.

Выводы

1. При обработке кристаллов ЧСЦ импульсно-периодическим лазером на длине волны 1,06 мкм установлен устойчивый эффект формирования антифрикционного покрытия золотистого цвета, структура которого состоит из смеси диоксидов циркония различной структурной модификации.

2. Использование лазерной обработки ЧСЦ кристаллов для снижения коэффициента трения принципиально возможно применительно к задачам микротрибологии, где одним из лимитирующих факторов повышения надежности узлов трения являются антифрикционные свойства материала в сочетании с относительно высокой износостойкостью, а именно в миниатюрных опорах трения, например точных приборов или часовых механизмов.

Список литературы

1. Piasecki A., Kotkowiak M., Kulka M. Elf-lubricating surface layers produced using laser alloying of bearing steel// *Wear*, V. 376–37, Part B, 15 April 2017- P. 993-1008. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.102>
2. Alisin V.V., Borik M.A., Lomonova E.E et al.. Zirconia-based nanocrystalline synthesized by directional crystallization from the melt // *Mater. Sci.&Eng.*, 2005, C25. - P.577-583.
3. Структура и механические свойства кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония после термообработки / Борик М.А., Бублик В.Т., Кулебякин А.В. и др. // *Физика твердого тела*. 2013. Т. 55. № 8. - С. 1578-1584.
4. Алисин В.В. Методика триботехнических испытаний материалов. //сб. статей международной научно-практической конференции «Наука и научный потенциал - основа устойчивого развития общества» (11 октября 2018 г, г. Магнитогорск). - Уфа: Омега сайнс, 2018. - С. 30-34

References

1. Piasecki A., Kotkowiak M., Kulka M. Elf-lubricating surface layers produced using laser alloying of bearing steel// *Wear*, V. 376–37, Part B, 15 April 2017- P. 993-1008. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.102>
2. Alisin V.V., Borik M.A., Lomonova E.E et al. Zirconia-based nanocrystalline synthesized by directional crystallization from the melt // *Mater. Sci.&Eng.*, 2005, C25. - P.577-583.
3. Structure and mechanical properties of crystals of partially stabilized zirconia after thermal treatment / Borik M.A., Kulebyakin A.V., Lomonova E.E. et al// *Physics of the Solid State*. 2013. T. 55. № 8. P. 1690-1696.
4. Alisin V. V. Methods of tribotechnical testing of materials // *Collection of articles of the international scientific and practical conference "Science and scientific potential - the basis of sustainable development of society"* (October 11, 2018, Magnitogorsk). - Ufa: Omega Science, 2018. P. 30-34

Алисин Валерий Васильевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия, vva-imash@yandex.ru

Alisin Valery Vasilyevich – candidate of technical sciences, leading research associate, Institute of mechanical engineering named after A.A. Blagonravov of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, vva-imash@yandex.ru

Received 30.01.2019