

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2019-7-10-14>

ИЗНОСОСТОЙКОЕ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ С УЛЬТРАДИСПЕРСНОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ФАЗОЙ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИХ КРИСТАЛЛЫ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Алисин В.В.

Ключевые слова: износостойкое покрытие, узлы трения, диоксид циркония, трибологические испытания, микротвердость.

Аннотация. Статья посвящена подбору контртела для повышения износостойкости узлов трения содержащих наноструктурированные кристаллы частично стабилизированного диоксида циркония. Выбор материала контртела осуществляется по критерию износостойкости. Установлено, что наилучшие результаты показали покрытия из сплава системы Ni-Cr-B-Cr содержащие ультрадисперсные частицы порошка корунда.

WEAR-RESISTANT CERAMIC-METAL COATING WITH ULTRAFINE HARDENING PHASE FOR FRICTION UNITS CONTAINING CRYSTALS OF ZIRCONIUM DIOXIDE

Alisin V.V.

Keywords: coating, friction, Zirconia, tribological tests the microhardness.

Abstract. The article is devoted to the selection of a counterbody to increase the wear resistance of friction units containing nanostructured crystals of partially stabilized zirconium dioxide. The choice of the counterbody material is carried out according to the criterion of wear resistance. It was found that the best results showed the alloy coating system Ni-Cr-B-Cr containing ultrafine corundum powder particles.

Ресурс работы узлов трения содержащих материалы на основе наноструктурированных кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония (кристаллы ЧСЦ) [1], обладающих сочетанием высоких трибологических и прочностных свойств, в основном лимитируется износостойкостью контртела, выполненного как правило из закаленных инструментальных сталей, например У10А. Данная работа посвящена разработке износостойкого покрытия, сочетающего трудносовместимые свойства высокой твердости и пластичности. Предлагаемое композиционное покрытие имеет никель-хромовую коррозионностойкую матрицу, обеспечивающую высокую пластичность, и упрочняющую фазу Al_2O_3 , позволяющую значительно повысить твердость покрытия и предел прочности [2]. Применение лазерного излучения для оплавления покрытия, позволяет раздробить зерно Al_2O_3 до 0,05...1,0 мкм, что значительно повышает эксплуатационные свойства покрытия в условиях воздействия переменных нагрузок на узел трения.

В тяжело нагруженных трибосопряжениях, работающих при контактных давлениях $P=10...40$ МПа и скоростях скольжения $V=0,05...2,0$ м/с использование металлокерамических покрытий позволяет повысить ресурс машин в несколько раз и уменьшить потери на трение. Интенсивность изнашивания композиционных материалов зависит от

пластических свойств матрицы, твердости, концентрации и размеров упрочняющей фазы [2]. Технология получения износостойких металлокерамических покрытий разрабатывалась на основе физико-математического моделирования процессов плазменного нанесения и лазерного оплавления [3] покрытия с учетом зависимости теплофизических параметров от температуры. Технология лазерной наплавки износостойких покрытий активно разрабатывается в мире, например [4, 5].

Материалы

Образцы из синтезированных кристаллов ЧСЦ изготавливались в виде коротких стержней (пальчиков) с квадратным сечением 5x5 мм и длиной 5...15 мм. Торцевые рабочие поверхности пальчиковых образцов плоские с шероховатостью $R_a=0,8$. Пальчиковые образцы торцевыми поверхностями трутся по плоскости вращающегося контртела, которое изготовлено: а) из закаленной инструментальной стали У10А, HRC 49-52; б) из керамики ZrO_2+17 мол% CeO_2 ; в) стали 30ХГСА с покрытием из сплава системы Ni-Cr-B-Cr с 20% Al_2O_3 . В качестве пластичной матрицы использовались сплавы системы Ni-Cr-B-Si. В качестве упрочняющей фазы использовались порошки Al_2O_3 фракции 5...20 мкм. Концентрация упрочняющей фазы изменялась в пределах 20%...40% (весовых). В процессе нанесения, поверхность частиц порошкового материала матрицы, подвергалась диффузионному насыщению углеродом за счет применения C_2H_2 для транспортировки порошкового материала.

Оборудование. Оплавление покрытий проводилось на лазерном (CO_2) технологическом комплексе ЛТК-01 при мощности непрерывного излучения 2,5...4,5 кВт, скорости обработки $(2,5...8,0) \times 10^{-3}$ м/с и частоте сканирования лазерного луча 200 Гц. Для увеличения прочностных характеристик металлокерамических покрытий детали и образцы предварительно нагревались до 400 °С.

Исследование триботехнических характеристик покрытий проводилось на машине трения УМТ1. Была реализована схема трения диск-палец, что упрощает изготовление образцов для испытаний, что особенно важно для трудно обрабатываемых кристаллических материалов на основе диоксида циркония; обеспечивает постоянство средних контактных давлений и скорости скольжения в процессе испытаний, а также свободный доступ газовой или смазочной среды в зону трения

Обсуждение результатов. Покрытия на рабочие поверхности наносились сверхзвуковым генератором плазмы [6]. Инжекция порошкового материала осуществлялась в дозвуковую область течения плазмы. Экспериментально установлено, что из числа апробированных материалов наиболее перспективными покрытиями для тяжелонагруженных трибосопряжений являются покрытия на основе сплава системы Ni-Cr-B-Si, т.к. имеют высокую твердость и пластичность. Микроструктура композиционного износостойкого покрытия на основе сплавов системы Ni-Cr-B-Si с дополнительным введением упрочняющей фазы 20% Al_2O_3

(весовых) фракции 5...20 мкм, приведена в [2]. Покрытие, нанесенное плазмой сформировано из оплавленных и деформированных частиц, пористость не превышает 5...6 %, распределение частиц оксида алюминия (белая нетравящаяся фаза) достаточно равномерное. Микротвердость покрытия составляет $H_{50} = 17000-18000$ МПа. После лазерной обработки микроструктура покрытия имеет три ярко выраженные зоны. Приповерхностная зона характеризуется более мелким зерном трещины, поры отсутствуют. При оплавлении покрытия концентрированным тепловым источником с оптимизированной плотностью излучения, в результате термогидравлических процессов, возникающих в жидкой ванне расплава, происходит диспергирование упрочняющей фазы Al_2O_3 с исходных размеров до величины 0,05...1,0 мкм. Оксид алюминия распределен в пределах зоны достаточно равномерно. Микротвердость включений Al_2O_3 составляет $H_{50}=30$ ГПа. В переходной зоне на глубине примерно 30 мкм происходит уменьшение концентрации Ni, Cr, Si, Al_2O_3 и увеличение концентрации Fe. Это говорит о том, что в переходной зоне произошло взаимное растворение материала покрытия в материале основы, происходит плавное выравнивание физических свойств разных материалов, что благоприятно сказывается на прочностных характеристиках и на пределе выносливости. Рентгеноструктурный анализ, выявил наличие следующих фаз в покрытии: Ni; Ni_3B ; $(Fe_9Ni_{37})B_{12}$; $(CrSi)C$; FeNi; FeC; α - Fe; Fe_2B ; Al_2O_3 ; образование которых связано с высокими скоростями нагрева и охлаждения покрытия. Структура композиционного износостойкого покрытия значительно отличается от структуры покрытий системы Ni-Cr-B-Si тем, что имеет меньший размер зерна, отсутствуют развитые дендритные столбы, и как следствие, более высокие физико-механические свойства.

Важной характеристикой наплавленного покрытия является прочность сцепления с основой. Термическая активация поверхности наплавки и формирование диффузионной зоны приводят к увеличению адгезионной прочности. Степень растворения основы в наплавленном слое, в зоне раздела, оказывает большое влияние на прочность связи между ними. Чем выше степень растворения, тем выше прочность связи. Но зона проплавления, ее глубина, должна быть оптимальной, т.к. интенсивное взаимодействие покрытия с основой в присутствии жидкой фазы ведет к изменению его состава и происходит плавное выравнивание физических свойств разных материалов, что благоприятно сказывается на прочностных характеристиках.

Режим трибологических испытаний: среднее контактное давление $p=5$ МПа, скорость скольжения $v = 0,2$ м/с, трение без смазки. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Наилучшие результаты показали покрытия из сплава системы Ni-Cr-B-Cr с 20% Al_2O_3 , весовыми. Толщина покрытий после шлифования составляла 0,3...0,5 мм с шероховатостью $R_a = 0,047...0,068$ мкм.

Табл. 1. Значения интенсивностей изнашивания J и коэффициента трения для кристалла $ZrO_2+3\text{мол}\% Y_2O_3$ при трении по контртелам

№	Материал диска	f	J, палец	J, диск
1	У 10 А HRC 49-52	0,36	$4,3 \cdot 10^{-9}$	$5,7 \cdot 10^{-8}$
2	$ZrO_2+17\text{мол}\% CeO_2$, спеченный	0,26	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$
3	$H_v = 11540$ МПа Сталь 30ХГСА покрытия из сплава системы Ni-Cr-B-Cr с 20% Al_2O_3	0,32	$3,9 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$

Выводы. Применение износостойких металлокерамических покрытий с ультрадисперсной упрочняющей фазой позволяет увеличить износостойкость сопряжения содержащего кристаллы ЧСЦ примерно в 3 раза в сравнении с закаленной инструментальной сталью У10А в качестве контртела за счет увеличения твердости поверхности и более высокой пластичности никель-хромовой матрицы. Покрытие обладает повышенной коррозионной стойкостью, износостойкостью и задиростойкостью в сравнении с покрытиями, получаемыми твердым электролитическим хромированием и перспективно для защиты от износа тяжелонагруженных деталей космической техники.

Список литературы

1. Кузьминов Ю.С., Ломонова Е.Е., Осико В.В. Тугоплавкие материалы из холодного тигля. М.: Наука, 2004. 369с.
2. Алисин В.В., Рощин М.Н., Владиславлев А.А. Технология получения износостойких металлокерамических покрытий с ультрадисперсной упрочняющей фазой // Перспективные материалы и технологии: НАНОКОМПОЗИТЫ. (Космический вызов 21 века. Том 2). Под ред. А.А. Берлина и И.Г. Ассовского. – М.: Торус Пресс, 2006. – С. 59-68.
3. Алисин В.В., Владиславлев А.А., Рощин М.Н. Физическая модель процесса плавления износостойких плазменных покрытий лазером // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2008. №11. С. 17-23.
4. Youqiang Xing, Jianxin Deng, Xingsheng Wang, Effect of laser surface textures combined with multi-solid lubricant coatings on the tribological properties of Al_2O_3/TiC ceramic// Wear. 2015 Volumes 342–343. P. 1-12.
5. Li Y., Yao J., Liu Y. Synthesis and cladding of Al_2O_3 ceramic coatings on steel substrates by a laser controlled thermite reaction. Surf. Coat. Technol. 2003. 172 (1). P. 57–64.
6. Алисин В.В., Рощин М.Н. Повышение надежности цилиндровых втулок тяжелых дизелей нанесением плазменных покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия. 2019. Т. 15, № 1(169). С. 40-44.

References

1. Kuzminov Yu.S., Lomonova E.E., Osiko V.V. Refractory materials from cold crucible. M.: Science, 2004. 369p.
2. Alisin V.V., Roshchin M.N., Vladislavlev A.A. Technology of production of wear-resistant metal-ceramic coatings with ultrafine hardening phase // Advanced materials and technologies: NANOCOMPOSITES. (Space challenge of the 21st century. Vol. 2). Ed. by A.A. Berlin and I.G. Assovsky. – M.: Torus Press, 2006. P. 59-68.
3. Alisin V.V., Vladislavlev A.A., Roshchin M.N. Physical model of the melting process of wear-resistant laser plasma coatings // Friction and lubrication in machines and mechanisms. 2008. №11. P. 17-23.
4. Youqiang Xing, Jianxin Deng, Xingsheng Wang, Effect of laser surface textures combined with multi-solid lubricant coatings on the tribological properties of Al₂O₃/TiC ceramic // Wear. 2015 Volumes 342-343. P. 1-12.
5. Li Y., Yao J., Liu Y. Synthesis and cladding of Al₂O₃ ceramic coatings on steel substrates by a laser controlled thermite reaction // Surf. Coat. Technol. 2003. 172 (1). P. 57–64.
6. Alisin V.V., Roshchin M.N. Improving the reliability of heavy-duty diesel cylinder bushings by applying plasma coatings // Hardening technologies and coatings. 2019. Vol. 15, № 1(169). P. 40-44.

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

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

Received 14.05.2019