

УДК 621.193.722

МИКРОРЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ С УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ

© 2014 Г.Г. Винокуров, Д.И. Лебедев, М.П. Лебедев

Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН,
г. Якутск

Поступила в редакцию 11.03.2014

В работе микрорентгеноспектральным анализом изучены поверхности износостойких порошковых покрытий при трении скольжения со стальным контртелом. В качестве модифицирующих добавок износостойких порошковых покрытий использовались ультрадисперсные шпинели CoAl_2O_4 и CuAl_2O_4 . Выявлено распределение элементов и установлен переход материалов контактных поверхностей в парах трения.

Ключевые слова: *порошковое покрытие, модифицирование, износ, поверхность трения, микрорентгеноспектральный анализ*

В настоящее время для упрочнения и восстановления деталей машин и механизмов широко используются технологии нанесения износостойких покрытий [1-3]. В качестве материала для напыления используются промышленные самофлюсующиеся сплавы на никелевой или кобальтовой основе и их смеси с различными модификаторами, которые обеспечивают образование упрочняющих фаз и улучшают структуру покрытия. Для повышения износостойкости упрочненных деталей актуальными являются исследования по выявлению механизмов и особенностей изнашивания поверхности покрытий при трении скольжения с контртелами из конструкционных стальных материалов. При трении скольжения на контактных поверхностях формируется микрогеометрия, которая отражает физико-механические свойства материалов пары трения и условия их фрикционного взаимодействия (нагрузка, скорость скольжения, температура, смазка и др.) [4-6]. Поэтому для исследования процессов фрикционного взаимодействия порошкового покрытия и стального контртела важным является установление распределения химических элементов и взаимного перехода материалов в паре трения, которые характеризуют микрогеометрию контактных поверхностей.

Цель работы: проведение микрорентгеноспектрального анализа поверхности износостойких модифицированных порошковых покрытий при трении со стальным контртелом.

Материалы и методика экспериментальных исследований. В качестве модифицирующих добавок износостойких порошковых покрытий использовались ультрадисперсные шпинели CoAl_2O_4 и CuAl_2O_4 , получаемые в процессе плазмохимического синтеза (порошки производства АО «NEOMAT» Латвии, средний размер частиц порядка ~ 100 нм). Износостойкие порошковые покрытия являются разработками Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН и защищены патентом РФ [7].

Для исследования изнашивания модифицированных покрытий проведены испытания на износ на машине трения СМЦ-2 при режимах: нагрузка 38 и 75 кГ, частота вращения вала 5 об/сек, трение сухое. На основе анализа работ и методик испытаний на износ выбрана схема трения «диск-колодка». По соответствующим размерам были изготовлены контртела в виде колодок из стали марки Ст6 в состоянии поставки и с термообработкой, которые значительно отличаются по твердости, следовательно, и по влиянию на износ порошкового покрытия. Для выбора режимов термообработки температура закалки определялся исходя из массовой доли углерода и соответствующего ей значения критической точки; была определена температура закалки $820 \div 840^\circ\text{C}$. С целью недопущения снижения твердости и прочности закаленной стали был проведен низкий отпуск.

Винокуров Геннадий Георгиевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: g.g.vinokurov@iptpn.ysn.ru

Лебедев Дмитрий Иосифович, аспирант

Лебедев Михаил Петрович, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, директор. E-mail: m.p.lebedev@prez.ysn.ru

Микротвердость покрытий и контртел была измерена на приборе ПМТ-3М при нагрузках на алмазный индентор 100 и 200 гр. Предварительно были установлены интервалы изменения микротвердости для покрытий с ультрадисперсными добавками: CuAl_2O_4 ~9400-11200 МПа, CoAl_2O_4 ~9200-12600 МПа; для контртела Ст6 в исходном состоянии ~1900-3000 МПа. Микротвердость стального материала контртела после термообработки повышается примерно на ~1000 МПа. Поверхность трения исследовалась профилометром SJ-201P и на стереоскопическом микроскопе «Stemi 2000C» через каждые 4500 циклов трения, по выбранной схеме трения один цикл машины трения соответствует пути трения, равному $1,96 \times 10^{-2}$ м. Измерялся поперечный профиль покрытий на четырех маркированных диаметрально противоположных участках покрытия образца, затем данные усреднялись по всей поверхности трения. Для изучения контактных поверхностей, оценки перехода материала покрытия к контртелу и обратно при трении скольжения проведен микрорентгеноспектральный анализ материалов на установке Jeol. Обработка экспериментальных данных проведена в программной среде MathCad и в электронных таблицах Excel.

Обсуждение результатов. Микрорентгеноспектральные исследования проведены также с целью выявления взаимосвязи профилей поверхностей трения с фактической площадью контакта как завершающий этап исследования

микрогеометрии поперечного профиля (рис. 1). При трении скольжения на контактных поверхностях узла трения образуются многочисленные продольные борозды, которыми определяется поперечный профиль поверхности трения. Ранее было проведено исследование характеристик поперечного профиля поверхности трения: R_a , R_q , R_z , а также автокорреляционной функции профиля [8, 9]. Как известно, в качестве горизонтальных характеристик неровностей в трибологии используется т.н. средний шаг неровностей по вершинам S и средний шаг неровностей по средней линии S_m , которые определяются по ограниченному набору точек профилограммы [4, 5]. Автокорреляционная функция получается обработкой всех данных поперечного профиля, поэтому в отличие от ограниченной выборки точек позволяет учитывать многочисленные случайные факторы формирования профиля поверхности трения [9]. Однако поперечные профили, как на рис. 1, измеряются в свободном состоянии материала покрытия, когда отсутствуют деформации, вызванные контактным нагружением при трении скольжения, поэтому микрорентгеноспектральные исследования перехода материалов позволяют определить фактические области контакта модифицированного покрытия при трении со стальным контртелом. Для идентификации перехода материала выбраны основные элементы сопряженных поверхностей трения: на поверхности покрытия – железо, на поверхности контртела – никель (табл. 1).

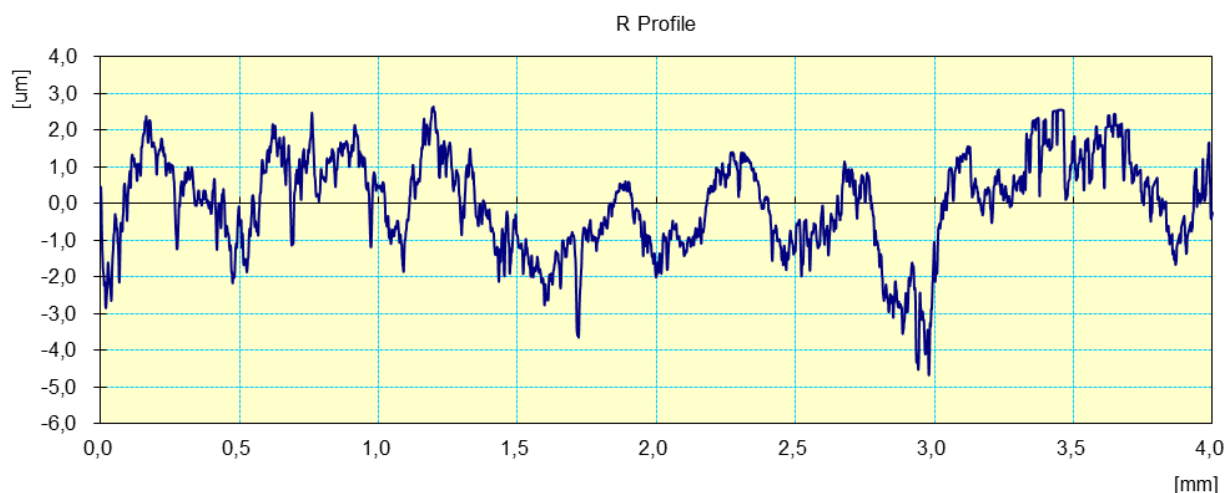


Рис. 1. Поперечный профиль поверхности трения модифицированного покрытия с CoAl_2O_4 ; 18000 циклов трения (1 час испытаний)

На рис. 2 приведены изображения поверхности трения (а) модифицированного покрытия с ультрадисперсными добавками CuAl_2O_4 при трении с контртелом из термообработанной Ст6

и элементные карты железа, никеля и кислорода (б-в). Как установлено анализом микрорентгеноспектральных данных наблюдается переход материала Ст6 контртела к покрытию и наоборот в

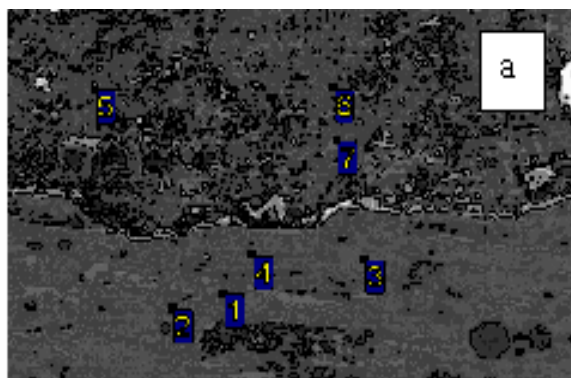
областях, которые определяются микрогеометрией контактной поверхности трения; все распределения трех элементов четко отражают микрогеометрию (рис. 2). Так, в участках 1-4 контакта поверхности модифицированного

покрытия с ультрадисперсными модификаторами CuAl_2O_4 выявлено, что поверхностный слой покрытия в основном содержит железо Fe и только малое содержание никеля Ni (рис. 2, таблица 1).

Таблица 1. Содержание химических элементов поверхности покрытия с CuAl_2O_4

Spectrum	C	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Total
1		23,45		0,27	0,76	0,61	72,69	2,21	100,00
2		25,05		0,29	0,53	0,33	72,07	1,73	100,00
3		23,60		0,45	0,79	0,58	72,72	1,85	100,00
4		24,02		0,35	0,78	0,58	72,18	2,09	100,00
5	11,84	18,46		0,11	2,87	0,53	33,76	32,43	100,00
6	9,91	8,77	0,05	1,94	1,81	0,33	26,62	50,56	100,00
7	6,89	1,88	0,34	0,60	25,85	0,78	43,19	20,47	100,00
Sum Spectrum	10,35	19,90		0,63	2,52	0,47	49,39	15,87	100,00
Max.	11,84	25,05	0,34	1,94	25,85	0,78	72,72	50,56	
Min.	6,89	1,88	0,05	0,11	0,53	0,33	26,62	1,73	

Следует отметить, что покрытие из промышленного порошка ПР-Н70ХТ7С4Р4 системы Ni-Cr-Si-B состоит в основном из никеля Ni [2]. Данный факт объясняется переходом материала контртела на поверхность покрытия в виде прослоек, частиц и в атомарном виде [4-6]. Как видно из рис. 2 и табл.1 в участках 5, 6, 7 наблюдается высокое содержание никеля Ni, и предполагается, что это сам материал покрытия с продуктами износа (на основе Fe) контртела из термообработанной Ст6.



Electron Image 1



Fe Ka1



Ni Ka1

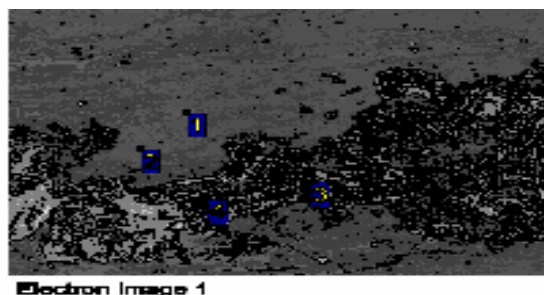


O Ka1

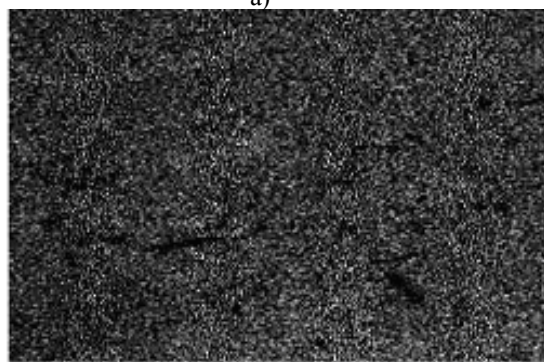
Рис. 2. Поверхность трения (а) модифицированного покрытия с CuAl_2O_4 и элементные карты: б) железо; в) никель; г) кислород

На рис. 3 приведены изображения поверхности трения контртела из термообработанной Ст6 (а) при трении с модифицированным CuAl_2O_4 покрытием и элементные карты железа, никеля и кислорода (б-в). Как видно из элементных карт на рис. 3, распределение железа и кислорода также четко отражают микрогеометрию поверхности трения контртела из

термообработанной Ст6 (а) при трении с покрытием, содержащим CuAl_2O_4 . Распределение никеля является равномерным, в отличие от поверхности покрытия (рис. 2в и рис. 3в) Таким образом, на основе анализа микрорентгеноспектральных данных можно оценить фактическую площадь контакта поверхностей трения (рис. 2, 3).

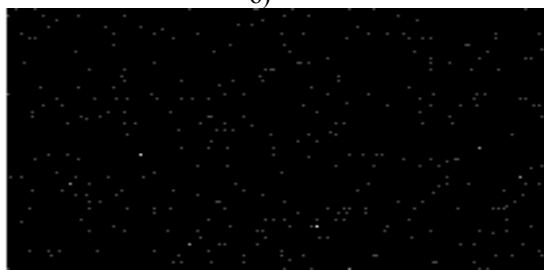


а)



Fe Ka1

б)



Ni Ka1

в)



O Ka1

г)

Рис. 3. Поверхность трения контртела из термообработанной Ст6 (а) и элементные карты: б) – железо; в) – никель; г) – кислород

Выводы:

1. Микрорентгеноспектральным анализом изучены поверхности износостойких порошковых покрытий с ультрадисперсными добавками при трении скольжения со стальным контртелом. Исследованиями установлен переход никеля Ni материала покрытия к контртелу, а в обратную сторону железа Fe.

2. Показано, что на основе анализа микрорентгеноспектральных данных можно выявить области контакта, которые отражают микрогеометрию контактных поверхностей трения модифицированного покрытия и стального контртела.

Работа проведена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований (грант № 12-08-98500).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Хасуи, А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. – М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
2. Борисов, Ю.С. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харлампьев, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардамовская. – Киев: Наукова думка, 1987, 544 с.
3. Тушинский, Л.И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов. – Новосибирск: Наука, 1986. 200 с.
4. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. 526 с.
5. Мур, Д. Основы и применения трибоники. – М.: Мир, 1978. 488 с.
6. Чижик, С.А. Исследование субмикрорельефа поверхностей трения методом сканирующей туннельной микроскопии / С.А. Чижик, А.М. Трояновский, А.И. Свириденко // Трение и износ. 1991. Т. 12, №4. С. 596-603.
7. Патент РФ 2040570. Порошковый материал для газотермического напыления / Н.П. Болотина, С.Е. Милохин, В.П. Ларионов и др. // рег. 25.07.1995 г.
8. Винокуров, Г.Г. Износостойкость и характеристики поверхности трения газотермических покрытий с ультрадисперсными добавками / Г.Г. Винокуров, М.П. Лебедев, М.И. Васильева и др. // Трение и износ. 2009. Т. 30, №6. С. 596-600.
9. Винокуров, Г.Г. Исследование корреляционных характеристик профиля при трении скольжения порошкового покрытия с ультрадисперсными добавками / Г.Г. Винокуров, Д.И. Лебедев, М.П. Лебедев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, №1(2). С. 597-600.

MICROX-RAY SPECTRAL ANALYSIS OF THE FRICTION SURFACES AT POWDER COATINGS WITH ULTRADISPERSIBLE ADDITIVES

© 2014 G.G. Vinokurov, D.I. Lebedev, M.P. Lebedev

Institute of Physical and Technical Problems of the North named after V.P. Larionov SB
RAS, Yakutsk

In work by microX-ray spectral analysis the surfaces of wearproof powder coatings at sliding friction with a steel counterbody are studied. As modifying additives of wearproof powder coatings the ultradispersible spinels of CoAl_2O_4 and CuAl_2O_4 were used. Distribution of elements is revealed, and transition of materials in contact surfaces of sliding pairs is established.

Key words: *powder coating, modifying, wear, friction surface, microX-ray spectral analysis*

*Gennadiy Vinokurov, Candidate of Technical Sciences, Leading
Research Fellow. E-mail: g.g.vinokurov@iptpn.ysn.ru
Dmitriy Lebedev, Post-graduate Student
Mikhail Lebedev, Corresponding Member of RAS, Doctor of
Technical Sciences, Director. E-mail: m.p.lebedev@prez.ysn.ru*