

КОНВЕРСИОННЫЕ, НАНО- И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.193.722

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОФИЛЯ ПРИ ТРЕНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ ПОРОШКОВОГО ПОКРЫТИЯ С УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ

© 2012 Г.Г. Винокуров, Д.И. Лебедев, М.П. Лебедев

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

Поступила в редакцию 29.02.2012

В работе исследованы корреляционные характеристики износостойких порошковых покрытий при трении скольжения с металлическими контртелами. В качестве модифицирующих добавок износостойких порошковых покрытий использовались ультрадисперсные шпинели CoAl_2O_4 и CuAl_2O_4 . Выявлены особенности поведения корреляционных характеристик поверхностей трения в зависимости от материалов пары трения.

Ключевые слова: *порошковое покрытие, модифицирование, износ, профиль, автокорреляционная функция*

В настоящее время для упрочнения поверхности деталей машин и механизмов широко применение получили высокоэнергетические технологии порошковой металлургии. Для практических приложений в ремонтном производстве наиболее перспективными из них являются технологии нанесения износостойких порошковых покрытий (плазменное и газопламенное напыление, электродуговая металлизация проволоками и др.) [1]. В качестве материала для нанесения износостойких покрытий в основном используются самофлюсующиеся сплавы на никелевой или кобальтовой основе и их смеси с различными модификаторами, которые обеспечивают образование упрочняющих фаз и улучшают структуру покрытия. Как известно, при трении скольжения износостойких порошковых покрытий профиль их контактной поверхности тесно связан со свойствами материала контртела [2], поэтому для исследования взаимосвязи процессов изнашивания порошкового покрытия и контртела актуальным является установление корреляционных характеристик профиля, которые отражают микрогеометрию поверхности трения.

Цель данной работы: установление автокорреляционной функции износостойких порошковых покрытий, модифицированных ультра-

дисперсными добавками шпинелей при трении скольжения с металлическими контртелами.

Материалы и методика экспериментальных исследований. В работе 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 «НЕОМАТ» (Латвия), средний размер частиц порядка ~100 нм) [3].

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 твердосплавного материала ВК6 и из стали марки Ст6, которые значительно отличаются по твердости, следовательно, и по влиянию на изнашивание порошкового покрытия.

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 контртел: ВК-6 ~7200-10900 МПа, Ст6 ~1900-3000 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

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

Лебедев Дмитрий Иосифович, аспирант. E-mail: Uranhai@ramler.ru

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

трения соответствует пути трения, равному $1,96 \times 10^{-2}$ м. Измерялся поперечный профиль покрытий на 4 маркированных диаметрально противоположных участках покрытия образца, затем данные усреднялись по всей поверхности трения.

При трении скольжения на контактных поверхностях узла трения образуются многочисленные продольные борозды, которыми определяется поперечный профиль поверхности трения, поэтому целесообразным является исследование радиуса корреляции поперечного профиля поверхности трения, который характеризует среднестатистическую полуширину борозд и в отличие от общепринятых вертикальных отклонений профиля Ra, Rq, Rz, Ry является горизонтальной характеристикой микрогеометрии профиля.

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 Sm, 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. Обработка экспериментальных данных проведена в программной среде MathCad и в электронных таблицах Excel.

Обсуждение результатов. При изучении автокорреляционных функций профиля был проведен анализ характерной микрогеометрии поверхности трения покрытий [6]. Анализ показывает, что значение профиля при фиксированной координате $x = x_0$ существенно не отличается от значения профиля в достаточно малой окрестности точки x_0 , поэтому следует ожидать существование устойчивой корреляции между случайными координатами профиля соседних точек поверхности покрытия. На рис. 1 приведены автокорреляционные функции участков покрытия с ультрадисперсными добавками шпинели CuAl_2O_4 при трении с контртелом из Ст6. Действительно, существование устойчивой корреляции с коэффициентом корреляции $>0,8-0,7$ между координатами профиля соседних точек покрытия подтверждается экспериментальными автокорреляционными функциями участков (рис. 1), она показывает тесноту взаимосвязи сечений профиля на расстоянии до ≈ 20 мкм. Как видно из графиков, автокорреляционные функции участков покрытия в области устойчивой корреляции несущественно отличаются, характеризуются монотонным убыванием. На расстояниях 100-150 мкм корреляция снижается до несущественного уровня, наблюдается статистический разброс данных в участке отрицательных значений (рис. 1).

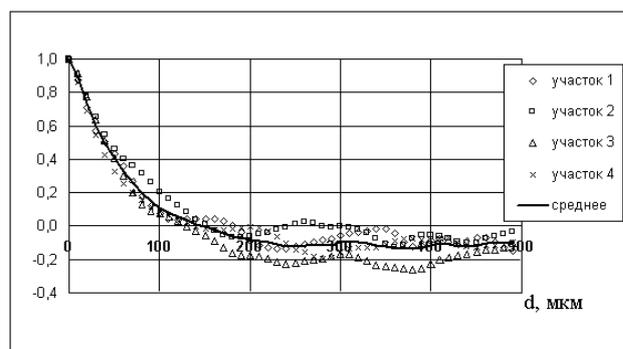


Рис. 1. Автокорреляционная функция профиля участков поверхности трения покрытия с ультрадисперсными добавками CuAl_2O_4 , контртело Ст6, путь трения 54000 циклов (3 часа); нагрузка 75 кГ

Установлено, что на автокорреляционную функцию поперечного профиля покрытия существенное влияние оказывает материал контртела. На рис. 2 приведены автокорреляционные функции участков покрытия с ультрадисперсными добавками шпинели CuAl_2O_4 при трении с контртелом из твердосплавного материала ВК6. Также наблюдается устойчивая корреляция между координатами профиля соседних точек поверхности покрытия на большем расстоянии (до ≈ 50 мкм) с коэффициентом корреляции $>0,8-0,7$ (рис. 2). Как видно из графиков, автокорреляционные функции участков в области значительной корреляции отличаются разбросом, однако также характеризуются монотонным убыванием. Даже при вдвое низкой нагрузке и меньшем значении пути трения корреляция снижается до практически несущественного уровня на больших расстояниях $\approx 250-300$ мкм, наблюдается существенный статистический разброс данных вблизи нуля. Это обусловлено тем, что контртело из материала ВК6 из-за большей твердости при трении скольжения приводит к интенсивному изнашиванию поверхности трения покрытия с более широкими бороздами по сравнению со стальным контртелом (рис. 1, 2).

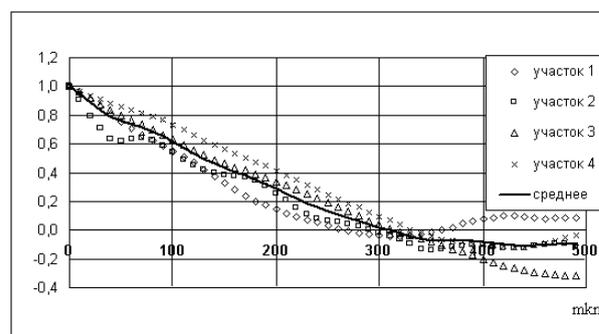


Рис. 2. Автокорреляционная функция профиля участков поверхности трения покрытия с ультрадисперсными добавками CuAl_2O_4 , контртело ВК6, путь трения 36000 циклов (2 часа); нагрузка 38 кГ

Также установлено, что при трении с твердосплавным контртелом автокорреляционная функция профиля покрытия с ультрадисперсными добавками шпинелей качественно не изменяется по пути трения – монотонно убывает с увеличением расстояния, практически исчезая на расстояниях больше ≈ 300 мкм, наблюдаются значительные характерные колебания функции по расстоянию и по пути трения (рис. 3). Особенно четко на графике рис. 3 наблюдается сглаживание начальной шероховатости, обусловленной наличием практически регулярно расположенных борозд на исходной поверхности покрытия. Как установлено исследованиями, влияние начальной шероховатости исчезает к концу стадии приработки ($\approx 5000 - 10000$ циклов) с началом установившегося износа.

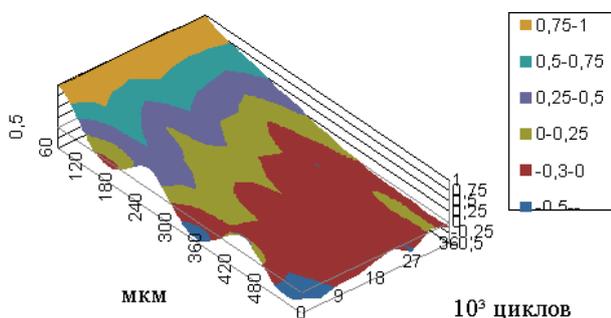


Рис. 3. Усредненная автокорреляционная функция профиля поверхности трения покрытий с ультрадисперсными добавками CuAl_2O_4 , контртело ВК6, нагрузка 38 кГ

Для изучения изменения микрогеометрии поверхности трения покрытий целесообразным является исследование их радиусов корреляции по пути трения. На рис. 4 приведены зависимости радиусов корреляции поверхностей трения покрытий при трении с контртелом из Ст6. Как видно из графиков, поведение радиусов имеют схожие этапы изменения: сначала наблюдаются относительно небольшие колебания около $\approx 200-250$ мкм, далее следует резкое возрастание радиуса (практически вдвое). В дальнейшем происходит обратное снижение, и наблюдаются также относительно небольшие колебания. Такое единичное увеличение наблюдалось в начальной стадии установившегося износа ($\sim 15000-25000$ циклов для контртела из Ст6) для обоих видов покрытий с ультрадисперсными добавками шпинели (рис. 4). Следует отметить, что при трении модифицированных покрытий с твердосплавным контртелом такого скачкообразного изменения радиуса корреляции не наблюдается. Поэтому, видимо, такая закономерность изменения радиуса корреляции связана с пластическими деформациями на контактных поверхностях при трении пары «покрытие – стальное контртело»; природа резкого увеличения радиуса

корреляции профиля модифицированных покрытий является предметом будущих исследований.

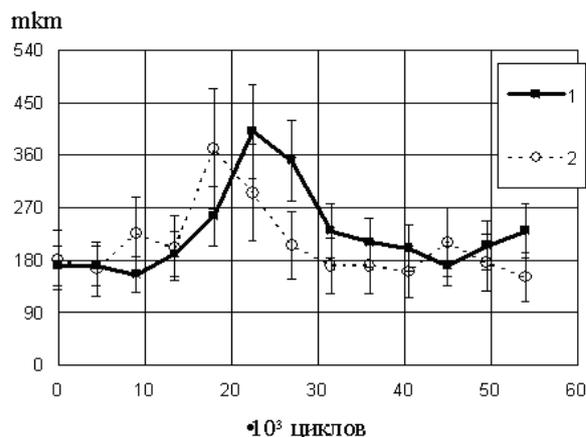


Рис. 4. Повышение радиуса корреляции профиля поверхности трения покрытий с ультрадисперсными добавками: 1 – CoAl_2O_4 ; 2 – CuAl_2O_4 ; контртело Ст6, нагрузка 75 кГ

Выводы:

1. Исследованы автокорреляционные функции профиля износостойких покрытий с модифицирующими добавками ультрадисперсных шпинелей CoAl_2O_4 и CuAl_2O_4 при трении скольжения с металлическими материалами – сталью Ст6 и вольфрамокобальтовым сплавом ВК6. Обнаружено существование устойчивой корреляции координат соседних точек поперечного профиля покрытий с коэффициентом корреляции $>0,8-0,7$, что отражает наличие характерных продольных борозд на поверхности трения по всему пути трения.

2. Автокорреляционные функции поперечного профиля модифицированных износостойких покрытий качественно не изменяются по пути трения – в режиме установившегося износа монотонно убывают с увеличением расстояния, практически исчезая на расстоянии, зависящем от материалов покрытия и контртела, а также от условий трения скольжения. Показано, что на расстояние устойчивой корреляции профиля износостойких порошковых покрытий существенное влияние оказывает твердость материала контртела.

3. Выявлено, что при трении скольжения модифицированных покрытий со стальным контртелом радиус корреляции профиля имеет относительно стабильные значения, также наблюдается его единичное скачкообразное повышение в начальной стадии установившегося износа.

Авторы выражают благодарность ведущему инженеру Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН Гаврильевой А.А. за помощь в обработке экспериментальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Хасуи, А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. – М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
2. Тушинский, Л.И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов. – Новосибирск: Наука, 1986. 200 с.
3. Патент РФ 2040570. Порошковый материал для газотермического напыления / Болотина Н.П., Милохин С.Е., Ларионов В.П. и др. // рег. 25.07.1995 г.
4. Справочник по триботехнике / под ред. М. Лебеды, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989. Т.1. 400с.
5. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. 526с.
6. 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.

**RESEARCH THE PROFILE CORRELATION CHARACTERISTICS
AT SLIDING FRICTION OF POWDERED COVERING WITH
ULTRADISPERSE ADDITIVES**

© 2012 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

Correlation characteristics of wearproof powdered coverings in-process of sliding friction with metal counterbodies are investigated. In the capacity of inoculating additives of wearproof powdered coverings were used ultradisperse spinels CoAl_2O_4 and CuAl_2O_4 . Features of behaviour the correlation characteristics of friction surfaces depending on materials of a friction pair are revealed.

Key words: *powdered covering, modification, wearing, profile, autocorrelation function*

Gennadiy Vinokurov, Candidate of Technical Sciences, Leading

Research Fellow. E-mail: g.g.vinokurov@iptpn.ysn.ru

Dmitriy Lebedev, Post-graduate Student. E-mail: Uranhai@ramler.ru

Mikhail Lebedev, Corresponding Member of RAS, Doctor of

Technical Sciences, Director. E-mail: m.p.lebedev@prez.ysn.ru