

УДК 621.793.722

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ С УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ МОДИФИЦИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ И МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОНТРТЕЛА

Стручков Н.Ф., Винокуров Г.Г., Лебедев Д.И., Лебедев М.П.

*Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск,
e-mail: g.g.vinokurov@iptpn.ysn.ru*

В работе проведены сравнительные исследования характеристик микрогеометрии контактных поверхностей при трении скольжения износостойкого порошкового покрытия с ультрадисперсными модифицирующими добавками с контртелами из твердосплавного материала ВК6 и стали Ст6. В качестве характеристик микрогеометрии контактных поверхностей выбраны средняя шероховатость Ra, размах профиля Rz и радиус корреляции. Показано, что характеристики Ra и Rz поверхности покрытия с ультрадисперсными добавками более стабильны; характеристики поверхности контртел отличаются большим разбросом, обусловленным колебаниями из-за регулярного формирования нового рельефа поверхности с последующим сглаживанием. В случае пары трения «покрытие – твердосплавное контртело» радиусы корреляции контактных поверхностей сопоставимы, в отличие от вертикальных характеристик профилей Ra и Rz, которые четко отличаются по величине. При трении пары «покрытие – стальное контртело» наблюдается обратная закономерность: если вертикальные характеристики профиля Ra и Rz становятся регулярно сопоставимыми, то радиус корреляции профиля контртела по всему пути трения ниже, чем у покрытия.

Ключевые слова: газотермическое покрытие, ультрадисперсные добавки, поверхность трения, шероховатость, радиус корреляции

THE CHARACTERISTICS RESEARCH OF CONTACT FRICTION SURFACES OF THE GAS-THERMAL COVERINGS WITH ULTRADISPERSE MODIFYING ADDITIVES AND THE METAL COUNTERBODY

Struchkov N.F., Vinokurov G.G., Lebedev D.I., Lebedev M.P.

*The Larionov Institute of physico-technical problems of the North SB RAS, Yakutsk,
e-mail: g.g.vinokurov@iptpn.ysn.ru*

Comparative researches of characteristics of microgeometry of contact surfaces are conducted in work at a sliding friction of a wearproof powder covering with ultradisperse modifying additives with counterbodies from high alloy material BK6 and a steel of St6. As characteristics of microgeometry of contact surfaces average roughness Ra, scope of profile Rz and correlation radius are chosen. It is shown that characteristics Ra and Rz surfaces of a covering with ultradisperse additives are stabler; characteristics of a surface of counterbodies differ a wide spacing caused by fluctuations because of regular formation of a new relief of a surface with the subsequent smoothing. In a case of pair a friction «covering – high alloy counterbody» radiuses of correlation of contact surfaces are comparable, unlike vertical characteristics of profiles Ra and Rz which accurately differ on size. At a pair friction «covering – steel counterbody» is observed return law: if vertical characteristics of profile Ra and Rz become regularly comparable, radius of correlation of a profile of a counterbody on all way of a friction more low, than at a covering.

Keywords: gas-thermal covering, ultradisperse additives, friction surface, roughness, correlation radius

В настоящее время для упрочнения поверхности деталей машин и механизмов широко применяются различные технологии порошковой металлургии. Наиболее перспективными из них являются высокоэнергетические способы нанесения износостойких покрытий (плазменное и газопламенное напыление, электродуговая металлизация проволоками и др.) [1]. Несомненно, при трении скольжения износостойких порошковых покрытий профиль поверхности трения тесно связан со свойствами материала контртела [2–4]. Поэтому для исследования взаимосвязи процессов изнашивания порошкового покрытия и контртела требуется сравнение закономерностей изменения характеристик профиля обеих контактных поверхностей.

Целью данной работы является установление взаимосвязи между характеристиками

контактных поверхностей при трении скольжения износостойкого порошкового покрытия с ультрадисперсными модифицирующими добавками и металлического контртела.

Материалы и методы исследований

В качестве модифицирующих добавок при получении износостойких газотермических покрытий использовались ультрадисперсные шпинели CoAl_2O_4 и CuAl_2O_4 , полученные плазмохимическим синтезом (порошки производства АО «НЕОМАТ» Латвии, средний размер частиц порядка ~100 нм), которые обеспечивают образование упрочняющих фаз и улучшение микроструктуры покрытия.

Покрытия были нанесены на цилиндрические образцы-диски для испытаний на износ диаметром 50 мм и толщиной 12 мм газовой горелкой «Mogul-9». Испытания на износ проведены на машине трения СМЦ-2 по следующим режимам: нагрузка 75 кГ, частота вращения вала 5 об./с, трение сухое, схема трения «диск-колодка».

Поскольку одним из основных факторов, непосредственно влияющих на износостойкость, является твердость материала, были изготовлены контртела в виде колодок из твердосплавного материала ВК6 и из стали марки Ст6, которые значительно отличаются по твердости. Микротвердость покрытий и контртел была измерена на приборе ПМТ-3М при нагрузках на алмазный индентор 100 и 200 г.

Шероховатость контактных поверхностей трения определялась с помощью профилометра SJ-201P фирмы «Mitutoyo» (Япония). Измерения шероховатости покрытия проводились на четырех маркированных диаметрально противоположных участках образца, затем данные усреднялись по всей поверхности трения.

Как известно, 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 контактных поверхностей, который характеризует среднюю полуширину борозд и в отличие от вертикальных характеристик

профиля Ra, Rq, Rz, Ry является горизонтальной характеристикой микрогеометрии профиля [5].

Обработка экспериментальных данных проведена в электронных таблицах Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

Были установлены интервалы изменения микротвердости для покрытий с ультрадисперсными добавками: $\text{CuAl}_2\text{O}_4 \sim 9400\text{--}11200$ МПа, $\text{CoAl}_2\text{O}_4 \sim 9200\text{--}12600$ МПа; для контртел: ВК-6 $\sim 7200\text{--}10900$ МПа, Ст6 $\sim 1900\text{--}3000$ МПа.

На рис. 1 приведены зависимости средней шероховатости Ra и размаха отклонений Rz профиля поверхностей трения контртела из твердосплавного материала ВК6 и износостойкого покрытия с ультрадисперсными добавками шпинели CuAl_2O_4 от количества циклов.

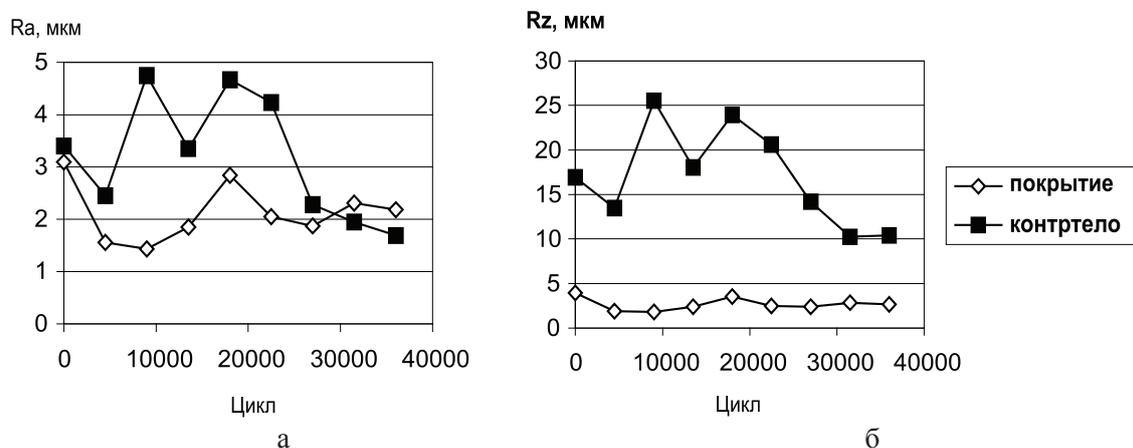


Рис. 1. Характеристики поверхностей трения покрытия с ультрадисперсными добавками CuAl_2O_4 и твердосплавного контртела: а – Ra; б – Rz

Как видно из графиков, по сравнению с твердосплавным контртелом, износостойкие покрытия характеризуются более высокими упругими свойствами, при фрикционном контакте более способны к сохранению рельефа поверхности трения (рис. 1). Установлено, что примерно к ≈ 5000 циклов заканчивается участок влияния начального профиля поверхности трения из-за ее приработки, шероховатости твердосплавного материала и покрытия снижаются. Далее начинается превалирование влияния механизма износа материалов, что приводит к существенной разнице в поведении характеристик поверхностей трения твердосплавного материала и покрытия.

Тогда как характеристики поверхности трения покрытий (особенно размах профиля Rz, рис. 1,б) имеют относительно стабильные значения ($Rz \approx 2\text{--}4$ мкм), характеристики твердосплавного материала отличаются большим разбросом, обуслов-

ленным колебаниями ($Rz \approx 10\text{--}25$ мкм, рис. 1,б). Это обусловлено тем, что твердосплавный материал из-за большей хрупкости способен к выкрашиванию при трении скольжения, что приводит к регулярному появлению нового рельефа с последующим сглаживанием, следовательно, нестабильности характеристик поверхности трения.

С целью установления закономерностей контактного взаимодействия при одинаковых условиях трения было исследовано изнашивание поверхности трения газотермических покрытий с контртелом из стали Ст6, значение микротвердости которой значительно (в 3–4 раза) меньше микротвердости твердосплавного материала ВК6.

На рис. 2 приведены зависимости средней шероховатости Ra и размаха отклонений Rz профиля поверхности трения стального контртела и износостойкого покрытия с ультрадисперсной добавкой шпинели CoAl_2O_4 от количества циклов.

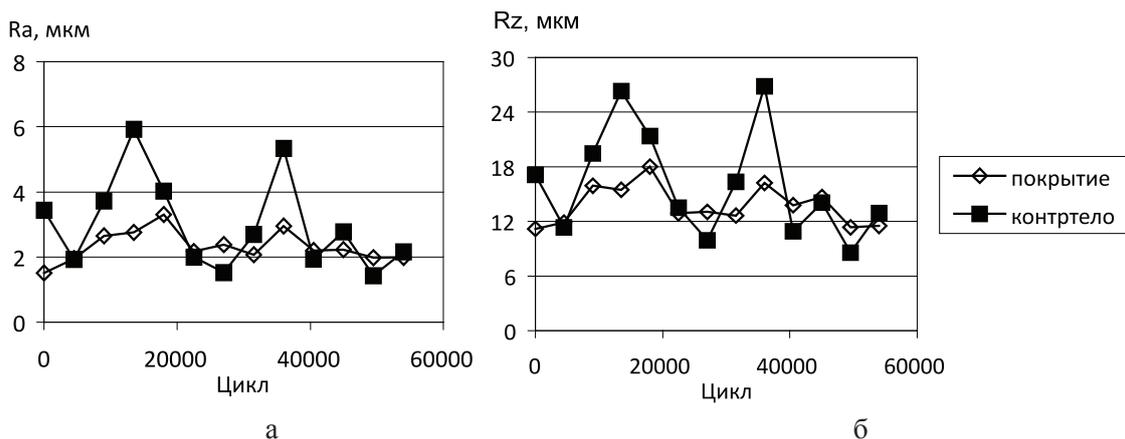


Рис. 2. Характеристики поверхности трения стального контртела и покрытия с ультрадисперсными добавками $CoAl_2O_4$: а – Ra; б – Rz

Как видно из графиков, характеристики поверхности трения стального контртела и покрытия имеют близкие значения, в некоторых значениях пути трения практически совпадают. Тогда как все характеристики поверхности трения покрытия имеют меньшие колебания ($Ra \approx 1,5-3$ мкм; $Rz \approx 11-18$ мкм), характеристики стального контртела отличаются большим разбросом, обусловленным колебаниями ($Ra \approx 1,5-6$ мкм; $Rz \approx 8-27$ мкм) (см. рис. 2). Это обусловлено тем, что стальной материал из-за низкой износостойкости способен к интенсивному изнашиванию при трении скольжения; это приводит к регулярному появлению нового рельефа с последующим сглаживанием, следовательно, также существенной нестабильности характеристик поверхности трения. Колебания средней шероховатости Ra и размаха профиля Rz частично обусловлены абразивным воздействием большего количества стальных частиц износа, которые

изменяют неровности и выступы на поверхности трения. Таким образом, в целом, для пары «стальное контртело – покрытие» изменение характеристик поверхности трения также имеет нерегулярный колеблющийся характер. Как видно из рис. 2, хотя графики характеристик взаимно пересекаются, однако характеристики покрытия также имеют более стабильные значения. Это происходит вследствие того, что трение регулярно приводит к сопоставимости характерных размеров неровностей и выступов поверхности трения.

На рис. 3 приведены радиусы корреляции профилей контактных поверхностей трения покрытия и контртела. Изменение радиусов корреляции профилей имеют колеблющийся характер по всему пути трения; это, как в случае шероховатости и размаха профиля (см. рис. 1–2), обусловлено тем, что при трении образуются новые рельефы поверхности с последующим сглаживанием.

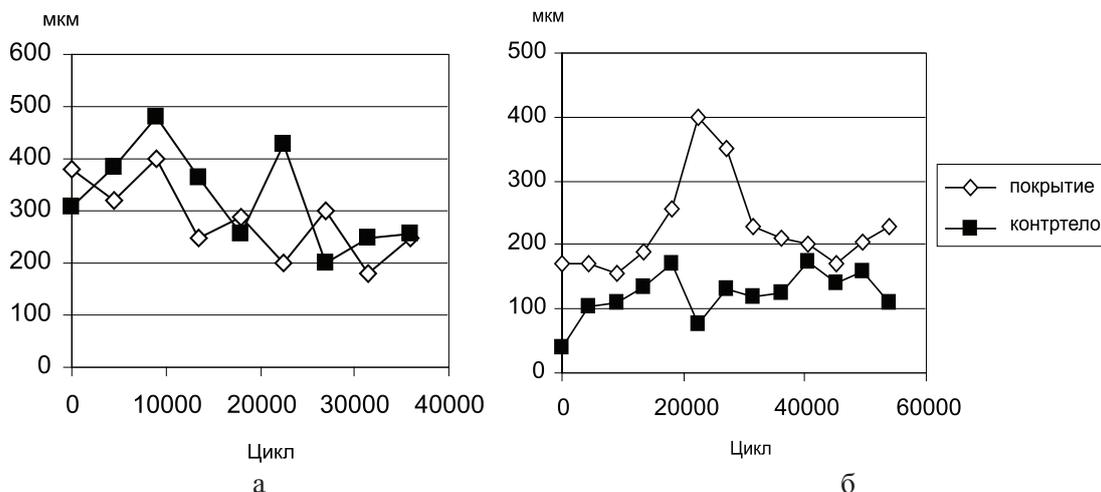


Рис. 3. Радиусы корреляции поверхностей трения покрытия с ультрадисперсными добавками $CoAl_2O_4$ и контртела: а – ВК6; б – Ст6

Установлено, что в случае пары трения «покрытие – твердосплавное контртело» радиусы корреляции контактных поверхностей сопоставимы (см. рис. 3,а) в отличие от вертикальных характеристик профилей Ra и Rz, которые четко отличаются по величине (см. рис. 1).

В случае пары трения «покрытие – стальное контртело» наблюдается обратная закономерность: если вертикальные характеристики профиля становятся регулярно сопоставимыми (см. рис. 2), то радиус корреляции профиля контртела по всему пути трения ниже, чем у покрытия (рис. 3,б). При установившемся изнашивании пары «покрытие – стальное контртело» наблюдается существенный участок пути трения, когда радиусы корреляции профилей контактных поверхностей изменяются практически асимметричным образом: при увеличении радиуса корреляции профиля покрытия значение радиуса корреляции стального контртела уменьшается, и наоборот (рис. 3,б).

Выводы

1. Проведен сравнительный анализ характеристик контактных поверхностей при трении газотермических покрытий, модифицированных ультрадисперсными добавками шпинелей CoAl_2O_4 и CuAl_2O_4 , с контртелами из твердосплавного материала ВК6 и стали Ст6, твердости которых значительно отличаются. Характеристики Ra и Rz поверхности покрытия с ультрадисперсными добавками более стабильны; характеристики поверхности контртел отличаются большим разбросом, обусловленным колебаниями из-за регулярного формирования нового рельефа поверхности с последующим сглаживанием.

2. В случае трения пары «покрытие – твердосплавное контртело» характерные размеры шероховатости значительно отличаются, при трении пары «покрытие – стальное контртело» регулярно наблюдается сопоставимость характерных размеров шероховатости контактных поверхностей трения.

3. В случае пары трения «покрытие – твердосплавное контртело» радиусы корреляции контактных поверхностей сопоставимы, в отличие от вертикальных характеристик профилей Ra и Rz, которые четко отличаются по величине. В случае пары трения «покрытие – стальное контртело» наблюдается обратная закономерность: если вертикальные характеристики профиля ста-

новятся регулярно сопоставимыми, то радиус корреляции профиля контртела по всему пути трения ниже, чем у покрытия.

Таким образом, соотношением вертикальных и горизонтальных характеристик микрогеометрии поверхностей трения можно описывать особенности фрикционного взаимодействия износостойких модифицированных порошковых покрытий и металлических контртел.

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., Моригаки О. Наплавка и напыление. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
2. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977.
3. Справочник по триботехнике: Справочник / под ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989. – Т.1.
4. Методы исследования материалов: Структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.О. Токарев, В.И. Синдеев. – М.: Мир, 2004.
5. Гаврильева А.А., Винокуров Г.Г., Стручков Н.Ф. Влияние термообработки на корреляционные характеристики поверхности трения покрытий из порошковых проволок с тугоплавкими добавками // Проблемы ресурса и безопасной эксплуатации материалов и конструкций: сборник трудов XVI международной научно-технической конференции. – СПб., 2011. – С. 211–214.

References

1. Khasui A., Morigaki O. *Naplavka i napylenie*. Moscow: Mashinostroenie, 1985. 240 p.
2. Kragel'skiy I.V., Dobychin M.N., Kombalov V.S. *Osnovy raschetov na trenie i iznos*. Moscow: Mashinostroenie, 1977.
3. *Spravochnik po tribotekhnike: Spravochnik* / pod red. M. Khebdy, A.V. Chichinadze. Moscow: Mashinostroenie, 1989, T.1.
4. Tushinskiy L.I., Plokhov A.V., Tokarev A.O., Sindeev V.I. *Metody issledovaniya materialov: Struktura, svoystva i protsessy nanoseniya neorganicheskikh pokrytiy*. Moscow: Mir, 2004.
5. Gavrileva A.A., Vinokurov G.G., Struchkov N.F. *Trudy 16 mezhdunarodnoy konferentsii Problemy resursa i bezopasnoy ekspluatatsii materialov i konstruktsiy*, Saint-Petersburg, 2011, pp. 211–214.

Рецензенты:

Левин А.И., д.т.н., зав. сектором, Якутский научный центр СО РАН, г. Якутск;

Старостин Н.П., д.т.н., зав. сектором, Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск.

Работа поступила в редакцию 18.01.2012.