

УДК 669

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ
КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМ
Ni – MeO₂ (РУТИЛ) – Me – P – ФТОРОПЛАСТ**

Щербаков И.Н., Попов С.В.,

Иванов В.В.

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ), Новочеркасск,
e-mail: valivanov11@mail.ru*

Проанализировано возможное влияние модифицирующих добавок в виде ультрадисперсных порошков простых и сложных оксидов со структурой корунда, простых веществ со структурами магния и вольфрама, а также фторопласта на трибологические свойства композиционных никель-фосфорных покрытий.

Ключевые слова: моделирование, синергическая модель свойств, композиционные Ni-P-покрытия

**ANTI-FRICTIONAL PROPERTIES MODELING OF THE COMPOSITIONAL
COATINGS BY SYSTEMS Ni – MeO₂ (RUTILE) – Me – P – TEFLON**

Shcherbakov I.N., Popov S.V.,

Ivanov V.V.

*South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk,
e-mail: valivanov11@mail.ru*

The possible influence of the modified additions as the ultra dispersion powders of the simple and complex oxides (with rutile structure), the simple compounds with Mg and W structures and the teflon onto tribologic properties of the compositional Ni-P-coatings was analyzed

Keywords: modeling, synergic model of properties, compositional Ni-P-coatings

Для получения эффективных композиционных никель-фосфорных покрытий используют, в частности, дисперсные материалы в виде простых оксидов состава MeO₂ (Me – Ti, Zr, Ce) со структурой типа рутила TiO₂ (пр. гр. P4₂/mna (z = 2)) и ультрадисперсные металлические порошки: Me – Ti, Zr с гексагональной структурой типа Mg (пр. гр. P6₃/mmc (z = 2)) или Me – Cr, Mo, W, V, Ta с кубической структурой типа W (пр. гр. Im3m (z = 2)).

В структуре типа рутила катионы Ti⁴⁺ занимают октаэдрические позиции в гексагональной плотнейшей упаковке анионов. Каркасная структура состоит из цепей TiO₆-октаэдров, в которых каждый октаэдр связан с соседним по двум противоположным ребрам. Между собой эти цепи сочленяются вершинами октаэдров. Соединения структурного типа рутила относятся к ооктаэдрическим структурам, основанным на частичном заполнении (1/2) октаэдрических пустот в ГПУ и принадлежат к следующему ряду структурных типов: Mg(P6₃/mmc(z=2))→FeCl₃(P3₁12 (z=6))→TiO₂(P4₂/mna (z = 2)) → αAl₂O₃ (R 3c (z = 3)) → NiAs (P6₃/mmc (z = 2)).

Для получения эффективных композиционных покрытий кроме дисперсных материалов в виде простых оксидов и ультрадисперсных металлических порошков используют твердые смазочные материалы, в частности фторопласт. Введение фторопласта как правило приводит к существенному улучшению трибологических свойств композиционных покрытий.

Результаты моделирования в соответствии с [1 – 3] фазово-разупорядоченного состояния некоторых композиционных никель-фосфорных покрытий и свойств их поверхности при трении с поверхностью стали марки Ст45, полученные в соответствии с [1], приведены в таблице.

Трибологические свойства композиционных покрытий (скорость линейного износа I_л и коэффициент трения f) рассчитаны по формуле $P = \alpha P_{\text{ТВ}} + (1 - \alpha) P_{\text{СМ}} + \delta_p (P_{\text{ТВ}} - P_{\text{СМ}})$ (символ P идентичен I_л или f) с учетом эффекта синергизма в виде $d_p = 4(1 - \alpha) \alpha^2 [1 - k(1 - k_{\text{н}})]$, где α – объемная доля фаз твердой компоненты покрытия. Для расчета использовали усредненные для композиционных никель-фосфорных покрытий значения размерного параметра k = 0,5 и параметра наноструктурности k_н = 0,05 [1, 4, 5].

Фазовый состав и свойства некоторых композиционных никель-фосфорных покрытий системы Ni – MeO₂ – Me – фторопласт – P

Покрытие	Компоненты и фазовый состав	Доля фаз твердой компоненты α	Скорость линейного износа, I _л , мкм/ч	Коэффициент трения, f
Ni-P	(тв.) Ni, Ni ₃ P	0,92	5,95	0,25
	(см.) Ni ₁₂ P ₅ , Ni ₂ P			
Ni-P (фторопласт)	(тв.) Ni, Ni ₃ P	0,90	5,0	0,20
	(см.) Ni ₁₂ P ₅ , Ni ₂ P, фторопласт			
Ni-P (TiO ₂ , Ti)	(тв.) Ni, Ni ₃ P, TiO ₂ , Ni ₃ Ti, NiTi ₂ , Ti ₃ P	0,89 – 0,90	4,6 – 4,8	0,24
	(см.) Ni ₁₂ P ₅ , Ni ₂ P			
Ni-P (TiO ₂ , Ti, фторопласт)	(тв.) Ni, Ni ₃ P, TiO ₂ , Ni ₃ Ti, NiTi ₂ , Ti ₃ P	0,85	3,9	0,21
	(см.) Ni ₁₂ P ₅ , Ni ₂ P, фторопласт	0,75	4,3	0,17
Ni-P (ZrO ₂ , Zr)	(тв.) Ni, Ni ₃ P, ZrO ₂	0,89 – 0,90	4,5 – 4,7	0,23
	(см.) Ni ₁₂ P ₅ , Ni ₂ P, Ni ₁₀ Zr ₇			
Ni-P (ZrO ₂ , Zr, фторопласт)	(тв.) Ni, Ni ₃ P, ZrO ₂	0,85	3,8	0,22
	(см.) Ni ₁₂ P ₅ , Ni ₂ P, Ni ₁₀ Zr ₇ , фторопласт	0,75	4,1	0,18

Для электролитических композиционных Ni-B-покрытий [6 – 13] аналогичный параметр k_n принимает значения в интервале от 0,05^н до 0,15. Данный интервал значений обусловлен, по-видимому, тем, что в приведенных выше расчетах при оценке эффекта синергизма не учитывали влияние особенностей конфигурации межфазных границ [14 – 18]. Варианты формирования и символического описания детерминистических фрактальных структур на поверхности композиционных материалов представлены в работах [19-24]. Особенности формирования и описание возможных состояний некоторых гибридных мономодулярных фрактальных структур приведены в [25-28].

Общая характеристика возможного фазово-разупорядоченного состояния в композиционных никель-фосфорных покрытиях систем Ni – MeO₂ – Me – P: MeO₂ (рутил – пр. гр. P4₂/mna (z = 2), Me – Ti, V, Cr, Mn, Ru, Os, Ir, Zr, Mo, W, Ge, Sn, Pb и возможные разупорядоченные твердые растворы оксидов этих металлов; Ni₂MeO₄ (шпинель – пр. гр. Fd3m (z = 8), Me – V, Cr, Mn, Ge, Sn, Pb), Me (структурный тип Mg – пр. гр. P6₃/mmc (z = 2), Me – Ti, Zr, Hf), фосфиды MeP (пр. гр. P6₃/mmc и Pcmn, Me = Ti, V, Cr, Mn, Zr, W), Me₃P (пр. гр. P4₂/n и Γ4, Me = Ti, V, Cr, Mn, Zr), Me₂P (пр. гр. P'62m, Me = Ti, Mn), интерметаллиды в системах Ni-Me (в частности, Ni₃Ti – пр. гр. P6₃/mmc (z = 4), NiTi₂ – пр. гр. Fd3m (z = 32)).

Рассчитанные величины трибологических свойств поверхности некоторых композиционных покрытий системы Ni – Me₂O₃ – Me – P – фторопласт, приведенные в таблице, согласуются с полученными ранее экспериментальными данными [1-5, 14 – 17, 29 – 32].

Таким образом, в системе Ni – MeO₂ – Me – P – фторопласт возможно образование фаз, дополняющих состав твердой и смазочной компонент композиционных никель-фосфорных покрытий, а также вероятных интерметаллических фаз, которые могут обусловить адгезию покрытия к защищаемой основе. Полученные результаты моделирования могут быть использованы для целенаправленного выбора ультрадисперсных модификаторов антифрикционных композиционных покрытий [17, 33,34].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Моделирование композиционных никель-фосфорных покрытий с антифрикционными свойствами. Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2008. 112с.
2. Иванов В.В. Изв.вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки, 2001. №3. С.60-61.
3. Иванов В.В. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. Спецвыпуск. Проблемы трибозлектрохимии. 2005. С.128-130.
4. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Башкиров О.М., Логинов В.Т. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2005. №4. С.42-44.
5. Иванов В.В., Иванов А.В., Щербаков И.Н., Башкиров О.М. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2005. №3. С. 46-49.

6. Иванов В.В., Иванов А.В., Балакай В.И., Арзуманова А.В. Журн. прикладной химии, 2006. Т.79. Вып.4. С.619-621.
7. Кукоз Ф.И., Иванов В.В., Сметанкин Г.П., Балакай И.В. Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения, 2007. Вып. 1 (53). С. 92-97.
8. Иванов В.В., Кукоз Ф.И., Балакай В.И. и др. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2007. № 5. С. 56-58.
9. Иванов В.В., Курнакова Н.Ю., Арзуманова А.В. и др. Журн. прикладной химии, 2008. Т.81. Вып. 12. С.2059-2061.
10. Иванов В.В., Кукоз Ф.И., Балакай В.И., Христовириды М.П. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2008. № 4. С. 123-128.
11. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Балакай И.В., Балакай В.И. Ж. прикладной химии, 2009. Т.82. Вып. 5. С.797-802.
12. Иванов В.В., Балакай В.И., Сметанкин Г.П., Балакай И.В. Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения, 2009. Вып.1 (57). С.32-41.
13. Балакай В. И., Иванов В.В., Сметанкин Г.П., Мурзенко К.В. Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения, 2013. Вып.2 (66). С.121-128.
14. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2011. №3. С.54-57.
15. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2011. №5. С.47-50.
16. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2011. №6. С.99-102.
17. Щербаков И.Н., Иванов В.В., Логинов В.Т. и др. Химическое наноконструирование композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами. Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», 2011. 132 с.
18. Иванов В.В. Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. №8-1. С.65-66.
19. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2011. Т.2. № 3. С.121-134.
20. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2012. Т.3. № 4. С.82-100.
21. Иванов В.В., Таланов В.М. Журн. структурн. химии, 2013. Т.54. №2. С.354-376.
22. Иванов В.В., Таланов В.М. Успехи соврем. естествознания, 2012. №3. С.56-57.
23. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Таланов В.М. Соврем. наукоемкие технологии. 2012. №1. С.54-55.
24. Иванов В.В., Таланов В.М. Кристаллография, 2013. Т.58. № 3. С. 370-379.
25. Иванов В.В. Соврем. наукоемкие технологии. 2013. №5. С.29-31.
26. Иванов В.В. Успехи соврем. естествознания, 2013. №8. С.134-135.
27. Иванов В.В. Успехи соврем. естествознания, 2013. №8. С.129-130.
28. Иванов В.В. Соврем. наукоемкие технологии. 2013. №9. С.89-93.
29. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2008. № 4. С. 116-118
30. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2010. №5. С.72-75.
31. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2010. №6. С.79-82.
32. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Иванов А.В. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2010. № 1. С.84-87.
33. Иванов В.В. Комбинаторное моделирование вероятных структур неорганических веществ. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. 204 с.
34. Иванов В.В. Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2013. №10(3). С.493.