

УДК 68

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМ NI – ME<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (КОРУНД) – ME – P – ФТОРОПЛАСТ

Иванов В.В., Попов С.В., Щербаков И.Н.

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 – ME<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (CORUNDE) – ME – P – TEFLON

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

South-Russian State Polytechnic University (Novocherkassk Polytechnic Institute),  
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 corunde 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 покрытий на основе никель-фосфорных покрытий используют, в частности, дисперсные материалы в виде простых оксидов состава Me<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Me – Al, Cr) со структурой типа корунда (пр. гр. R  $\bar{3}c$  ( $z = 3$ )) или ультрадисперсные металлические порошки: Me – Cr, Mo, W, V, Ta с кубической структурой типа вольфрама (пр. гр. Im3m ( $z = 2$ )), Me – Ti, Zr с гексагональной структурой типа магния (пр. гр. P6<sub>3</sub>/mmc ( $z = 2$ )) и твердый смазочный материал, в частности фторопласт, который существенно улучшает антифрикционные свойства любого покрытия.

В структуре типа корунда ( $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) катионы Al<sup>3+</sup> занимают октаэдрические позиции в гексагональной плотнейшей упаковке анионов. Вдоль направления [001] гексагональной ячейки пары AlO<sub>6</sub>-октаэдров объединены в октаэдрические димеры через общие грани и укороченные расстояния типа за счет связей преимущественно ковалентного характера. Соединения структурного типа корунда относятся к октаэдрическим структурам, основанным на частичном заполнении (2/3) октаэдрических пустот в ГПУ и принадлежат к следующему ряду структурных типов: Mg (P6<sub>3</sub>/mmc ( $z = 2$ )) → FeCl<sub>3</sub> (P3<sub>1</sub>2 ( $z = 6$ )) → TiO<sub>2</sub> (P4<sub>2</sub>/mna ( $z = 2$ )) →  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (R  $\bar{3}c$  ( $z = 3$ )) → NiAs (P6<sub>3</sub>/mmc ( $z = 2$ )).

Результаты моделирования фазово-разупорядоченного состояния некоторых по-

крытий [2, 3] и свойств их поверхности при трении с поверхностью стали марки Ст45, полученные в соответствии с [1], приведены в таблице. Свойства рассчитаны по формуле  $P = \alpha P_{\text{тв}} + (1 - \alpha) P_{\text{см}} + \delta_p (P_{\text{тв}} - P_{\text{см}})$  при идентичных условиях ( $\alpha$  – объемная доля фаз твердой компоненты покрытия). Учет эффекта синергизма в виде  $\delta_p = 4(1 - \alpha) \alpha^2 [1 - k(1 - k_n)]$  проводили с использованием усредненных для композиционных Ni-P-покрытий значений размерного параметра  $k = 0,5$  и параметра наноструктурности  $k_n = 0,05$  [1, 4, 5].

Отметим, что при анализе эффекта синергизма для электролитических композиционных Ni-B-покрытий аналогичный параметр  $k_n$  принимает значения в интервале от 0,05 до 0,15 [6–13]. Рассчитанные величины трибологических свойств для некоторых композиционных покрытий системы Ni – Me<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Me – P – фторопласт, приведенные в таблице, согласуются с полученными ранее экспериментальными данными [14–1].

Общая характеристика возможного фазово-разупорядоченного состояния в композиционных покрытиях систем Ni – Me<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Me – P [2, 3, 22]:

Me<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (корунд – пр. гр. R  $\bar{3}c$  ( $z = 3$ )), Me – Al, Cr, Fe, Co, Rh, Ga; M<sup>II</sup><sub>0,5</sub>Ti<sub>0,5</sub>, M<sup>II</sup><sub>0,5</sub>V<sub>0,5</sub>, где M<sup>II</sup> – Mg, Mn, Fe, Co, Ni, Cd), Me Me<sub>5/3 1/3</sub>O<sub>4</sub> или NiMe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (дефектная  $\gamma$ -Me<sub>2</sub>O<sub>3</sub> или нормальная шпинель – пр. гр. Fd3m ( $z = 8$ ),

Me – Al, Fe, Cr), Me (структурный тип Mg – пр. гр. P6<sub>3</sub>/mmc ( $z = 2$ )), Me – Al, Cr, Mo, W, V, Ta),

Фазовый состав и свойства некоторых композиционных покрытий системы Ni – Me<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Me– P– фторопласт

| Покрытие   | Компоненты и фазовый состав  | α           | Скорость линейного износа, I <sub>л</sub> , мкм/ч | Коэффициент трения, f |
|--|--|-------------|---|-----------------------|
| Ni-P   | (тв.) Ni, Ni <sub>3</sub> P  | 0,92        | 5,95  | 0,25                  |
|  | (см.) Ni <sub>12</sub> P <sub>5</sub> , Ni <sub>2</sub> P  |             |   |                       |
| Ni-P (фторопласт)                                      | (тв.) Ni, Ni <sub>3</sub> P  | 0,90        | 5,0   | 0,20                  |
|  | (см.) Ni <sub>12</sub> P <sub>5</sub> , Ni <sub>2</sub> P, фторопласт  |             |   |                       |
| Ni-P (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al)             | (тв.) Ni, Ni <sub>3</sub> P, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Ni <sub>3</sub> Al, AlP  | 0,89 – 0,90 | 4,6 – 4,8   | 0,23                  |
|  | (см.) Ni <sub>12</sub> P <sub>5</sub> , Ni <sub>2</sub> P, Al <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub> , Al <sub>3</sub> Ni, AlOOH             |             |   |                       |
| Ni-P (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al, фторопласт) | (тв.) Ni, Ni <sub>3</sub> P, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Ni <sub>3</sub> Al, AlP  | 0,85        | 3,8   | 0,20                  |
|  | (см.) Ni <sub>12</sub> P <sub>5</sub> , Ni <sub>2</sub> P, Al <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub> , Al <sub>3</sub> Ni, AlOOH, фторопласт | 0,75        | 4,1   | 0,17                  |
| Ni-P (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cr)             | (тв.) Ni, Ni <sub>3</sub> P, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CrNi, Cr <sub>3</sub> P, CrP   | 0,89 – 0,90 | 4,7 – 5,0   | 0,23                  |
|  | (см.) Ni <sub>12</sub> P <sub>5</sub> , Ni <sub>2</sub> P, CrOOH   |             |   |                       |
| Ni-P (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cr, фторопласт) | (тв.) Ni, Ni <sub>3</sub> P, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CrNi, Cr <sub>3</sub> P, CrP   | 0,85        | 4,0   | 0,21                  |
|  | (см.) Ni <sub>12</sub> P <sub>5</sub> , Ni <sub>2</sub> P, CrOOH, фторопласт   | 0,75        | 4,4   | 0,17                  |

фосфиды MeP (сфалерит – пр. гр. F  $\bar{4}3m$  (z = 4), Me – Al, Ga, In),

интерметаллиды в системах Ni-Me (Me – Al, Fe, V, Ga, Cr, Ti; в частности, Ni<sub>3</sub>Al – пр. гр. Pm3m (z = 2), NiAl – пр. гр. Pm3m (z = 4), Al<sub>3</sub>Ni<sub>2</sub> – пр. гр. P  $\bar{3}m1$  (z = 1), Al<sub>3</sub>Ni – пр. гр. Pnma (z = 4)).

Таким образом, в системах Ni – Me<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Me – P– фторопласт возможно образование фаз, дополняющих состав твердой и смазочной компонент композиционных Ni – P – покрытий. Возможно также формирование определенных интерметаллических фаз, которые могут обусловить адгезию покрытия к защищаемой основе. Синергическая модель определения трибологических свойств композиционных покрытий может быть использована для целенаправленного поиска новых эффективных модификаторов поверхности трения [23–25].

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. – 112 с.
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 трибоэлектрохимии. – 2005. – С. 128–130.
4. Иванов В.В., Иванов А.В., Щербаков И.Н., Башкиров О.М. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2005. – № 3. – С. 46–49.
5. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Башкиров О.М., Логинов В.Т. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2005. – № 4. – С. 42–44.
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-исследователь-

ского 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., Христофориди 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. – 2008. – № 4. – С. 116–118.

15. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 5. – С. 72–75.

16. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 6. – С. 79–82.

17. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – № 3. – С. 54–57.

18. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – № 5. – С. 47–50.

19. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – № 6. – С. 99–102.

20. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Иванов А.В. Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 1. – С. 84–87.

21. Иванов В.В. Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – №8-1. – С. 65–66.

22. Иванов В.В. Комбинаторное моделирование вероятных структур неорганических веществ. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 204 с.

23. Иванов В.В. Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – №8-1. – С. 70–71.

24. Иванов В.В. Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – №10(3). – С. 493.

25. 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.