

## Влияние ультрадисперсных модификаторов на антифрикционные свойства композиционных покрытий

*И.В. Иванова, Н.В. Шишка*

*Акционерное общество «Особое конструкторско-технологическое бюро «Орион»*

**Аннотация:** Обсуждаются условия, которым должны удовлетворять модифицирующие добавки для получения эффективных композиционных Ni-P покрытий с антифрикционными свойствами, и возможности для поиска эффективных модификаторов. Проанализирована эффективность ультрадисперсных порошков оксидов со структурами корунда и рутила, углерода и нитрида бора с алмазоподобными структурами, ультрадисперсных порошков металлов со структурами типа W и Mg.

**Ключевые слова:** структурно-фазовая разупорядоченность, наноструктуры, композиционные покрытия, наноалмаз, антифрикционные свойства, модификаторы.

Химическое модифицирование поверхности трения композиционных покрытий (КП) является одним из наиболее перспективных способов защиты металлических изделий от коррозионного и механического износа [1]. В частности известно, что при получении КП на основе системы Ni - P используются различные модифицирующие добавки, приводящие к образованию на поверхности защищаемого изделия покрытий, состоящих из соединений системы Ni – модификатор – P. В роли модификаторов обычно используют ультрадисперсные твердые материалы различной природы. Необходимо, чтобы введение этих материалов в состав электролита приводило к существенному улучшению трибологических характеристик поверхности КП за счет образования в них определенных фаз, отвечающих за антифрикционные свойства.

Общие требования к вероятным эффективным модификаторам можно сформулировать следующим образом: они должны приводить к формированию характерного фазоворазупорядоченного состояния в КП, обеспечивать одновременное присутствие в модифицированном слое как износостойких фаз, так и фаз со смазывающими свойствами, обусловить

формирование защитного слоя на модифицированной поверхности с высокой адгезией к нему.

В результате возможных физико-химических и химических процессов, протекающих при образовании и функционировании КП его фазовый состав и поверхность трения переходят в определенное комплексное состояние. С одной стороны это состояние динамического равновесия между некоторыми сосуществующими фазами, которые характеризуются как фазы твердой и смазочной компонент покрытия, и фазами, обеспечивающими адгезию покрытия к металлической основе защищаемого узла трения. С другой стороны – состояние вполне определенного распределения этих фаз в объеме КП, а именно: равномерное распределение по поверхности покрытия и распределение с положительным градиентом усредненной твердости фаз по толщине покрытия. Только в этом случае возможно существенное проявление синергизма антифрикционных свойств всех фазовых компонентов КП [1, 2-6]. В связи с этим использование удовлетворяющих этим условиям модификаторов должно привести к улучшению трибологических характеристик поверхности КП и снижению коррозионного и механического износа.

При выборе ультрадисперсных модификаторов, оказывающих влияние на получение КП системы Ni-модификатор-Р с улучшенными антифрикционными свойствами, могут быть использованы количественные критерии, которые были предложены в работах [1, 7-9]. Установлено, что в роли модификаторов могут применяться порошки простых оксидов  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$  (со структурой корунда) и  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$  (со структурой рутила), а также порошки металлов Ti, Zr (со структурой гексагонального магния), порошки металлов Cr, Mo, W, V, Ta (со структурой кубического вольфрама), наноалмазный порошок и ультрадисперсный нитрид бора. Для получения перспективных никельфосфорных КП помимо указанных выше дисперсных

---

материалов применяют также твердые смазочные материалы, в частности фторопласт, дисульфид молибдена (гексагональный) и графит.

Для всех дисперсных материалов предполагается, что в процессе трения их микрочастицы разрушаются и измельчаются до образования наночастиц. В частности, для никельфосфорных покрытий, модифицированных наноалмазами, ожидается разрушение углеродных наночастиц (их графитоподобных поверхностных мембран) и формирование из них «ядер» с фуллереноподобными наноструктурами, в том числе и наноструктурами малых фуллеренов диаметром не более 0,7 нм [1]. Для никельфосфорных покрытий, модифицированных нитридом бора, металл композиции окисляется неметаллическими компонентами с образованием ультрадисперсных фаз соответствующих борсодержащих соединений. Как для вероятных наночастиц нитрида бора с фуллереноподобными оболочками, так и для углеродсодержащих фуллеренов, в частности состава  $C_n$  (где  $n = 18, 20, 24, 30, 36, 45, 48, 54$  и  $60$ ), возможны эквивалентные симметричные и деформационные модификации. Они могут быть получены при непрерывном направленном трансформировании исходных симметричных фуллеренов указанных выше составов [10, 11].

Трибологические свойства (величина линейного износа  $I_d$  и коэффициент трения  $f$ ) для КП систем Ni – модификатор – P определяли в соответствии с синергической моделью [1, 4-6]. Проведен сравнительный анализ аналогичных данных для КП с модификаторами дисульфид молибдена (гексагональный) и графит, определено их влияние, как эффективных модификаторов, существенно повышающих долговечность и износостойкость модифицированных покрытий. Это косвенно подтверждается расчетными данными и результатами соответствующих испытаний антифрикционных КП, полученных с использованием наночастиц

---

нитрида бора, ультрадисперсного оксида алюминия и порошка из наноалмаза.

При совместном введении модификаторов фторопласта и оксидов металлов коэффициент трения КП существенно снижается (на 20 – 40% по сравнению с аналогичным показателем для покрытий без фторопласта, в зависимости от его концентрации) [12]. В этом случае по эффективности модифицирования поверхности покрытия оксиды переходных металлов с указанными структурами занимают промежуточные положения между твердыми смазочными материалами со слоистыми структурами и ультрадисперсным нитридом бора и наноалмазом. При использовании всех видов модифицирующих добавок значения износофрикционности КП ( $I_{л}$  и  $f$ ) закономерно уменьшаются по мере увеличения объемной концентрации  $\alpha$  фаз смазочной компоненты покрытий [1, 3-5].

Таким образом, предложены качественные критерии выбора веществ, которые могут быть использованы как модифицирующие добавки в электролит для получения КП на основе Ni-P покрытий. В соответствии с критериями проанализирована возможность использования в качестве модификаторов оксидов металлов со структурами корунда и рутила с добавлением соответствующих металлических порошков и фторопласта. Сравнительным анализом трибологических свойств, рассчитанных по синергической модели «концентрационной волны», с аналогичными данными для других КП (с модификаторами типа  $MoS_2$  и C) установлена их потенциальная эффективность для повышения износостойкости и антифрикционности Ni-P покрытий.

### Литература

1. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Моделирование антифрикционных свойств композиционных покрытий с учетом вероятных конфигураций

межфазных границ // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2011. № 3. С. 54-57.

2. Ivanov V.V. “Concentration waves” model for the tribologic system CM1/LL,/CM2 // International journal of experimental education. 2014. № 4. Part 2. pp.58-59.

3. Ivanov V.V. “Concentration waves” model for the tribologic system CM1/°/CM2 // International journal of experimental education. 2014. № 4. Part 2. pp.59-60.

4. Ivanov V.V. Analysis of synergic effect in compositional coatings with taking into consideration the solid component of the counter-body and the liquid lubricant // European Journal of Natural History. 2015. № 3. pp.36-37.

5. Shcherbakov I.N., Ivanov V.V. Analysis of synergic effect in compositional Ni-P-coatings // European Journal of Natural History. 2015. № 3. p.48.

6. Щербаков И.Н. О системном подходе к разработке композиционных антифрикционных покрытий // Инженерный вестник Дона. 2013. № 1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1567/.

7. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Анализ возможных модификаторов для получения композиционных Ni-P покрытий с антифрикционными свойствами // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2011. №5. С. 47-50.

8. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В., и др. Поиск эффективных модификаторов для получения композиционных Ni-P покрытий с антифрикционными свойствами // Современ. наукоемкие технологии. 2013. №5. С. 21-24.

9. Иванов В.В. Ультрадисперсные модификаторы для антифрикционных композиционных покрытий // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. №10. С. 493.

---



10. Иванов В.В. Вероятные изосимметричные и деформационные модификации фуллерена  $C_{30}$  // Успехи соврем. естествознания. 2013. №7. С. 82-84.

11. Иванов В.В. Вероятные изосимметричные и деформационные модификации фуллерена  $C_{36}$  // Успехи соврем. естествознания. 2013. №7. С.85-87.

12. Логинов В.Т., Дерлугян П.Д., Данюшина Г.А. и др. Влияние фторированных поверхностно активных веществ на физико-механические свойства никель фосфорных покрытий // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4. Ч.2 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1462/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1462/).

### References

1. Ivanov V.V., Shcherbakov I.N. Izv. vuzov. Sev. Kavk. region. Tehn. nauki. 2011. № 3. pp. 54-57.

2. Ivanov V.V. International journal of experimental education. 2014. № 4. Part 2. pp.58-59.

3. Ivanov V.V. International journal of experimental education. 2014. № 4. Part 2. pp.59-60.

4. Ivanov V.V. European Journal of Natural History. 2015. № 3. pp.36-37.

5. Shcherbakov I.N., Ivanov V.V. European Journal of Natural History. 2015. № 3. p.48.

6. Shcherbakov I.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2013. № 1 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1567/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1567/).

7. Ivanov V.V., Shcherbakov I.N. Izv. vuzov. Sev. Kavk. region. Tehn. nauki. 2011. №5. pp. 47-50.

8. Derlugjan P.D., Ivanov V.V., Ivanova I.V., i dr. Sovrem. naukoemkie tehnologii. 2013. №5. pp. 21-24.

9. Ivanov V.V. Mezhdunar. zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2013. №10. p. 493.



10. Ivanov V.V. Uspehi sovrem. estestvoznaniya. 2013. №7. pp. 82-84.
11. Ivanov V.V. Uspehi sovrem. estestvoznaniya. 2013. №.7. pp.85-87.
12. Loginov V.T., Derlugjan P.D., Danjushina G.A. i dr. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2012. № 4.ch.2 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1462/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1462/).