

УДК 501:548.1

ВОЗМОЖНЫЕ СОСТОЯНИЯ МОДУЛЯРНЫХ СТРУКТУР КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ, НАНОРАЗМЕРНЫХ И ФРАКТАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ АНТИФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Иванов В.В.*АО ОКТЕ «ОРИОН», Новочеркасск, e-mail: valivanov11@mail.ru*

Предложены варианты описания возможных структурных состояний кристаллических и наноразмерных объектов и характера их сайт- и сайз-распределений на поверхности композиционных покрытий при трении и износе. Рассмотрены основные компоненты описания (rr , nn , ff) состояний объектов и вероятные характеры их упорядоченности. Проанализированы взаимосвязи вероятных характеров упорядоченности/разупорядоченности кристаллических, наноразмерных объектов и фрактальных структур. Фрактальные структуры могут рассматриваться как возможные аппроксиманты конфигураций межфазных границ, сайт- и сайз-распределений объектов на поверхности антифрикционных композиционных покрытий. В связи с этим структурные состояния включают кристаллические, наноразмерные объекты и фрактальные законы их распределения.

Ключевые слова: структурное состояние, модулярные структуры, композиционное покрытие, кристаллический объект, наноразмерный объект, фрактальная структура

THE POSSIBLE STATES OF THE MODULAR STRUCTURES OF THE CRYSTAL, NANO-DIMENSIONAL AND FRACTAL OBJECTS ONTO SURFACE OF THE ANTI-FRICTION COMPOSITIONAL COATINGS

Ivanov V.V.*J-SC SDTU «ORION», Novocherkassk, e-mail: valivanov11@mail.ru*

The description of the possible structural states of the crystal and nano-dimension objects and variants of its site- and size-distributions onto surface of the compositional coatings by friction and wear were offered. The main components of description (rr , nn , ff) of the objects and the possible characters of its distributions were considered. The possible correlations of these ordering/disordering characters of the crystal, nano-dimension objects and fractal structures were analyzed. Fractal structures as a possible approximants of the inter-phase borders configurations, site- and size-distributions of the crystal phases and nano-dimension particles onto surface of anti-friction compositional coatings are considered. Therefore the structural states are included the crystal and nano-dimensional objects and fractal laws of its distributions.

Keywords: structural state, modular structures, compositional coating, crystal object, nano-dimensional object, fractal structure

На основе сформулированных в [1–4] принципов модулярного строения кристаллических фаз, наноструктур и фрактальных структур разработаны методы комбинаторного и итерационного моделирования вероятных структур неорганических веществ, наноразмерных фаз и регулярных фракталов [5–12]. Для получения модулярных структур кристаллов, наноразмерных фаз и фрактальных объектов предложены варианты разбиения и структурирования пространства [13], способы формирования модулярных ячеек [14] и структурных модулей [15]. Проанализирована возможность получения модулярных ячеек из гиперпространственных симплексов [16–20]. Учтены структурные особенности гиперпространства при формировании возможных структурных состояний транзитивных областей предварительно структурированных 2D и 3D пространств [21–27].

Способы описания фазово-разупорядоченного состояния поверхности

Фазово-разупорядоченное состояние поверхности многофазных антифрикционных материалов может быть описано тремя способами:

1) как совокупность фазовой и структурно-фазовой разупорядоченностей, а также структурной разупорядоченности в отдельных кристаллических фазах [1, 28–39];

2) как комплексное структурное состояние поверхности композита, включающее в себя кроме кристаллической r компоненты также наноразмерную n и фрактальную f компоненты [40–50];

3) как модулярное структурное состояние (rr , nn , ff) реально существующих объектов (кристаллических фаз, нанобъектов), а также законов их сайт-

и сайз-распределений на поверхности композиционного материала.

Способ 1. Состояние фазовой разупорядоченности сопровождается 2D распределением каждой из фаз от упорядоченного до полностью разупорядоченного, а также квазинепрерывным или дискретным распределением микрочастиц фаз по размерам [28, 30–37]. Системы квазиупорядоченных замкнутых фрактальных кривых могут быть аппроксимантами для 2D сетки межфазных границ [28, 29, 33–35].

В состоянии структурно-фазовой разупорядоченности при трении некоторые фазы в его поверхностных слоях могут перейти в ультрадисперсное состояние (2D-наноструктуры N_m^2 и 1D-наноструктуры N_m^1) и/или в состояние с другой структурной модификацией [29, 31–35, 36–39]. Если структурные элементы наноразмерных частиц не обладают сферической симметрией, то образуются модулярные наноструктуры вида $N_{p,or}^2$ для которых различают позиционную (p) и ориентационную (or) упорядоченности.

Состояние структурной разупорядоченности предполагает либо наличие в многоподрешеточных структурах определенных фаз разупорядоченных атомов по одной или нескольким подрешеткам данной структуры [28], либо наличие по крайней мере в одном кристаллографическом направлении в m-упорядоченной структуре R_m^3 разупорядоченного расположения атомов. Частично разупорядоченные модулярные наноструктуры $R_{p,or}^2$ с кристаллическим законом упорядочения модулей являются частным случаем соответствующих модулярных наноструктур вида $N_{p,or}^2$, в которых формально возможен и фрактальный закон упорядочения [39].

Способ 2. Возможные пространственные компоненты вероятных структурных 2D-состояний детерминистических модулярных структур на поверхности композитов проанализированы [40–50]. Установлено существование 6 разных классов состояний: кристаллический rr , кристаллический наноразмерный nn , наноразмерный nn , кристаллический фрактальный rf , фрактальный гибридный ff , наноразмерный фрактальный nf . Эти классы состояний содержат всего 45 вариантов реализации комбинаторно различных состояний в 2D пространстве. Сформулированы принципы формирования возможных структурных состояний из фрактальных компонент с учетом полугрупповых свойств множества соответствующих 1D генераторов [51] и из наноразмерных компонент с учетом свойств множества соответствующих нанобъектов [52].

Способ 3. Для описания конкретного структурного состояния поверхности могут быть использованы основные 2D состояния модулярных структур: rr – для кристаллических фаз, nn – для наноразмерных структур и ff – для законов распределения их межфазных границ. Тогда формальное состояние поверхности будет выглядеть следующим образом: (rr, nn, ff) .

Состояния модулярных структур на поверхности антифрикционных покрытий

Перечислим возможные варианты реализации модулярных структур, охарактеризуем виды состояний модулярных структур, соподчиненные ($\in$) и сопряженные им (*) состояния.

Класс кристаллический (r), модулярные структуры R_{rr}^2 :

$(r\ r)$ – 2D-кристалл из упорядоченных атомных цепочек, $(r\ r)^* = (r\ r)$, $(r\ r) \in (n_r\ n_r)$,

$(r\ r_n)$ – 2D-кристалл из упорядоченных 1D-нанотрасс, $(r\ r_n)^* = (r\ n_r)$, $(r\ r_n) \in (n_r\ n)$,

$(r\ r_f)$ – 2D-кристалл из упорядоченных 1D локальных фракталов, $(r\ r_f)^* = (r\ f_r)$, $(r\ r_f) \in (n_r\ n_f)$,

$(r_n\ r_n)$ – 2D-кристалл из упорядоченных наноразмерных частиц, $(r_n\ r_n)^* = (n_r\ n_r)$, $(r_n\ r_n) \in (n\ n)$,

$(r_n\ r_f)$ – 2D-кристалл из упорядоченных 1D-нанотрасс и 1D локальных фракталов, $(r_n\ r_f)^* = (n_r\ f_r)$, $(r_n\ r_f) \in (n\ n_f)$,

$(r_f\ r_f)$ – 2D-кристалл из упорядоченных локальных фракталов (детерминистическая фрактальная структура), $(r_f\ r_f)^* = (f_r\ f_r)$, $(r_f\ r_f) \in (n_f\ n_f)$.

$(r\ r_o)$ – 2D-кристалл из разупорядоченных атомных цепочек, $(r\ r_o)^* = (r\ r_o)$, $(r\ r_o) \in (n_r\ n_o)$,

$(r_n\ r_o)$ – 2D-кристалл из разупорядоченных 1D-нанотрасс, $(r_n\ r_o)^* = (n_r\ r_o)$, $(r_n\ r_o) \in (n_r\ n_o)$,

$(r_f\ r_o)$ – 2D-кристалл из разупорядоченных 1D локальных фракталов, $(r_f\ r_o)^* = (f_r\ r_o)$, $(r_f\ r_o) \in (n_f\ n_o)$,

$(r_o\ r_o)$ – аperiодический (аморфный) 2D-кристалл, $(r_o\ r_o)^* = (r_o\ r_o)$, $(r_o\ r_o) \in (n_o\ n_o)$.

Класс наноразмерный (n), модулярные структуры R_{nn}^2 :

$(n\ n)$ – 2D-наночастица, $(n\ n)^* = (n\ n)$,

$(n\ n_r)$ – 2D-нанобъект из упорядоченных 1D-фрагментов структуры, $(n\ n_r)^* = (n\ r_n)$,

$(n\ n_f)$ – 2D-нанобъект из упорядоченных 1D локальных фракталов, $(n\ n_f)^* = (n\ f_n)$,

$(n_r\ n_r)$ – 2D-нанотрасса структуры, $(n_r\ n_r)^* = (r_n\ r_n)$,

$(n\ n_f)$ – 2D-нанобъект из упорядоченных 1D-фрагментов структуры и 1D локальных фракталов, $(n\ n_f)^* = (r_n\ f_n)$,

$(n_f\ n_f)$ – 2D локальный фрактал, $(n_f\ n_f)^* = (f_n\ f_n)$,

$(n\ n_o)$ – 2D-нанообъект из разупорядоченных 1D-наночастиц, $(n\ n_o)^* = (n\ n_o)$,

$(n_r\ n_o)$ – 2D-нанообъект из разупорядоченных 1D-фрагментов структуры, $(n_r\ n_o)^* = (r_n\ n_o)$,

$(n_f\ n_o)$ – 2D-нанообъект из разупорядоченных 1D локальных фракталов, $(n_f\ n_o)^* = (f_n\ n_o)$,

$(n_o\ n_o)$ – апериодический (аморфный) 2D-нанообъект из разупорядоченных 0D-наночастиц, $(n_o\ n_o)^* = (n\ n_o)$

Класс фрактальный гибридный (ff) , модулярные структуры R_{ff}^2 :

(ff) – 2D фрактальная гибридная структура, $(ff)^* = (ff)$,

(ff_r) – 2D фрактал из 1D детерминистических фракталов, $(ff_r)^* = (fr_r)$,

(ff_n) – 2D фрактал из 1D фрактальных нанообъектов, $(ff_n)^* = (fn_r)$,

(ff_r) – 2D детерминистический фрактал, $(ff_r)^* = (r_f\ r_f)$,

(ff_n) – 2D фрактал из 1D детерминистических фракталов и из 1D фрактальных нанообъектов, $(ff_n)^* = (r_f\ n_f)$,

(ff_n) – 2D фрактал из 2D фрактальных нанообъектов, $(ff_n)^* = (n_f\ n_f)$.

Индексы r , n , f и o характеризуют кристаллический (периодический), наноразмерный, фрактальный и случайный (хаотический) законы распределения, соответственно. Всего $10 \times 10 \times 6 = 600$ комбинаторно различных вариантов описаний структурных состояний поверхности. Для квазифрактальных конфигураций межфазных границ вариант случайной их реализации не учитывается, т.к. их аппроксимантами являются детерминистические фрактальные R_{ff}^2 структуры, существующие в детерминированном предварительно структурированном 2D пространстве.

Отметим, что в 2D пространстве множество вероятных структурных состояний детерминистических модулярных структур композитов состоит из трех основных автосопреженных 1D состояний (кристалл с атомной структурой $r_r \equiv r$, нанообъект $n_n \equiv n$, локальный фрактал $f_f \equiv f$) и трех пар сопряженных между собой состояний:

– кристалл из нанообъектов r_n и нанообъект с кристаллической структурой n_r ;

– кристалл из локальных фракталов r_f и фрактал с кристаллической структурой f_r ;

– нанообъект с фрактальной структурой n_f и фрактал из нанообъектов f_n .

Таким образом, состояния кристаллического класса имеют в качестве сопряженных состояний 1D и 2D нанофрагменты и детерминистические фракталы, состояния наноразмерного класса – 1D и 2D состояния из наноразмерных частиц и локальных фракталов, а состояния фрактального гибридно-

го класса – 1D и 2D состояния из локальных фракталов и нанофракталов.

В [53, 54] проанализировано влияние размерных характеристик возможных состояний, включающих фрактальную и наноразмерную компоненты, на свойства системы модулярных структур. Значения размерностей каждой структуры могут быть использованы при определении квазиупорядоченных сайт-распределений определенных фаз по поверхности композиционных покрытий, сайз-распределений поверхностных фаз и характеристик конфигураций межфазных границ и расчета трибологических свойств поверхности покрытий в соответствии с [29, 39, 55–72].

Выводы

Предложены варианты описания возможных структурных состояний кристаллических и наноразмерных объектов и характера их сайт- и сайз-распределений на поверхности композиционных покрытий при трении и износе. Рассмотрены основные компоненты описания (rr, nn, ff) состояний объектов и вероятные характеры их упорядоченности. Проанализированы взаимосвязи вероятных характеров упорядоченности или разупорядоченности кристаллических, наноразмерных объектов и фрактальных структур. Фрактальные структуры можно рассматривать как возможные аппроксиманты конфигураций межфазных границ, сайт и сайз-распределений объектов на поверхности антифрикционных композиционных покрытий. В связи с этим структурные состояния включают кристаллические, наноразмерные объекты и фрактальные законы их распределения.

Список литературы

1. Иванов В.В. Комбинаторное моделирование вероятных структур неорганических веществ. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 204 с.
2. Иванов В.В., Таланов В.М. // Физика и химия стекла, 2008. – Т.34, № 4. – С. 528–567.
3. Иванов В.В., Таланов В.М. // Кристаллография, 2010. – Т.55. – № 3. – С. 385–398.
4. Иванов В.В., Таланов В.М. // Журн. неорганической химии, 2010. – Т.55 – № 6. – С. 980–990.
5. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи соврем. естествознания, 2012. – № 3. – С. 56–57.
6. Иванов В.В., Таланов В.М. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2010. Т.1. № 1. С. 72–107.
7. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика. – 2011. – Т.2. – № 3. – С. 121–134.
8. Иванов В.В., Шабельская Н.П., Таланов В.М., Попов В.П. // Успехи соврем. естествознания. – 2012. – № 2. – С. 60–63.
9. Иванов В.В., Демьян В.В., Таланов В.М. // Успехи соврем. естествознания. – 2012. – № 4. – С. 230–232.
10. Иванов В.В., Таланов В.М. / Журн. структурн. химии. – 2013. – Т.54. – № 2. – С. 354–376.
11. Иванов В.В., Таланов В.М. // Кристаллография. – 2013. – Т.58. – № 3. – С. 370–379.

12. Иванов В.В. // Современ. наукоемкие технологии. – 2013. – № 5. – С. 29–31.
13. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2012. – № 8. – С. 75–77.
14. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2012. – № 10. – С. 78–80.
15. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2012. – № 9. – С. 74–77.
16. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2013. – № 7. – С. 74–77.
17. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2013. – № 6. – С. 61–63.
18. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2013. – № 7. – С. 78–81.
19. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2013. – № 6. – С. 64–67.
20. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2013. – № 6. – С. 68–72.
21. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2013. – № 12. – С. 49–53.
22. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2013. – № 12. – С. 53–56.
23. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2013. – № 12. – С. 56–60.
24. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2013. – № 12. – С. 60–64.
25. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 1. – С. 34–37.
26. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 1. – С. 29–33.
27. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 1. – С. 38–41.
28. Иванов В.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – Спецвып. Проблемы трибоэлектрохимии. – 2005. – С. 128–130.
29. 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.
30. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = *Research Journal of International Studies*. – 2013. – № 8–1. – С. 67–70.
31. Иванов В.В., Марченко С.И. // Научная мысль Кавказа. – Спецвыпуск, 2006. – С. 87–89.
32. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Иванов А.В., Марченко С.И. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – № 5. – С. 67–69.
33. Кукоз Ф.И., Иванов В.В., Балакай В.И., Христофори М.П. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – № 4. – С. 123–128.
34. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Балакай И.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии, 2009. – Т.82. – Вып. 5. – С. 797–802.
35. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 3. – С. 73–77.
36. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Иванов А.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 1. – С. 84–87.
37. Иванов В.В., Попов С.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = *Research Journal of International Studies*. – 2014. – № 1(20). – Часть 1. – С. 8–10.
38. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 5. – С. 146–149.
39. 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.
40. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = *Research Journal of International Studies*. – 2013. – № 7–1. – С. 26–28.
41. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 4. – С. 105–108.
42. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 7. – С. 126–128.
43. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 9. – С. 92–97.
44. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 12. – С. 79–84.
45. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 12. – С. 90–93.
46. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 12. – С. 84–90.
47. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 12(2). – С. 90–93.
48. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 12(2). – С. 94–97.
49. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В., Шишка В.Г. // Успехи современ. естествознания. – 2015. – № 1. – С. 13–15.
50. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В., Шишка В.Г. // Успехи современ. естествознания. – 2015. – № 1. – С. 16–18.
51. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 7. – С. 100–104.
52. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 7. – С. 96–99.
53. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 7. – С. 121–123.
54. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 7. – С. 124–125.
55. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Современ. наукоемкие технологии. – 2013. – № 10. – С. 158–160.
56. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Современ. наукоемкие технологии. – 2013. – № 10. – С. 161–163.
57. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Современ. наукоемкие технологии. – 2013. – № 9. – С. 86–88.
58. Иванов В.В. // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 10(3). – С. 493.
59. Иванов В.В. // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 10(3). – С. 493–494.
60. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = *Research Journal of International Studies*, 2013. – № 7–1. – С. 35–37.
61. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = *Research Journal of International Studies*. – 2013. – № 7–1. – С. 28–30.
62. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = *Research Journal of International Studies*. – 2013. – № 7–1. – С. 31–33.
63. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = *Research Journal of International Studies*. – 2013. – № 7–1. – С. 30–31.
64. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = *Research Journal of International Studies*. – 2013. – № 7–1. – С. 33–35.
65. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = *Research Journal of International Studies*. – 2013. – № 8–1. – С. 25–27.
66. Иванов В.В. // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. № 10(3). – С. 493.
67. Ivanov V.V. // *International journal of experimental education*. – 2014. – № 4. – Part 2. – С. 58–59.
68. Ivanov V.V. // *International journal of experimental education*. – 2014. – № 4. – Part 2. – С. 59.
69. Иванов В.В. // Успехи современ. естествознания. – 2014. – № 4. – С. 105–108.
70. Ivanov V.V. // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. – 2014. – № 2. Режим доступа: URL: www.science-sd.com/457-24683 (29.10.2014).
71. Scherbakov I.N., Ivanov V.V. // *European Journal of Natural History*. – 2015. – № 3. – С. 48.
72. Ivanov V.V. // *European Journal of Natural History*, 2015. – № 3. – С. 36–37.