

УДК 548.3:669.018

## ВОЗМОЖНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СОСТОЯНИЙ ФРАКТАЛЬНОГО ГИБРИДНОГО (FFF) КЛАССА ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МОДУЛЯРНЫХ СТРУКТУР КОМПОЗИТОВ

**Дерлугян П.Д., Иванова И.В., Иванов В.В., Шишка В.Г.**

*ФГУП ОКБ «ОРИОН», Южно-Российский государственный политехнический университет  
(НПИ) им. М.И. Платова, Новочеркасск, e-mail: valivanov11@mail.ru*

Обсуждаются возможные комплексные компоненты состояний фрактального гибридного (f f f) класса  
детерминистических модулярных структур композитов.

**Ключевые слова:** структурное состояние, фрактальная структура, модулярная структура, композиционный материал

## POSSIBLE COMPLEX COMPONENTS OF THE STATES OF THE FRACTAL HYBRIDIC (FFF) CLASS FOR DETERMINISTIC MODULAR STRUCTURES OF COMPOSITES

**Derlugian P.D., Ivanova I.V., Ivanov V.V., Shishka V.G.**

*FGUE SDTU «ORION», Platov South-Russian state polytechnic university (Novocheerkassk polytechnic  
institute), Novocheerkassk, e-mail: valivanov11@mail.ru*

The possible complex components of the states of fractal hybridic (f f f) class for deterministic modular  
structures of composites were discussed.

**Keywords:** structural state, fractal structure, modular structure, compositional material

В соответствии с концепцией синергизма свойств фаз твердой и смазочной компонент композиционных покрытий параметры химического и фазового состава, микроструктурные характеристики фаз твердой компоненты и особенности конфигурации межфазных границ влияют на трибологические свойства поверхности [1–7]. Квазифрактальные структуры в 2D пространстве могут рассматриваться как возможные аппроксиманты сайз-распределения ультрадисперсных частиц фаз и конфигураций межфазных границ на поверхности антифрикционных покрытий в процессе трибовоздействия со стороны контр-тела [5, 7–11].

Будем считать, что в общем случае состояния детерминистических модулярных структур определяются возможными кристаллическими  $r$ , наноразмерными  $n$  и фрактальными  $f$  компонентами. Множество вероятных структурных 1D состояний детерминистических модулярных структур композитов включает три основные состояния ( $r_r \equiv r$ ,  $n_n \equiv n$ ,  $f_f \equiv f$ ) и три пары из сопряженных состояний ( $r_n$  и  $n_r$ ,  $r_f$  и  $f_r$ ,  $n_f$  и  $f_n$ ). Возможные пространственные компоненты структурных состояний поверхности проанализированы в работе [12]. Сформулированы принципы формирования возможных структурных состояний из фрактальных компонент с учетом полугрупповых свойств

множества соответствующих 1D генераторов [13]. Проанализированы размерные характеристики возможных состояний многокомпонентных структур, включающих фрактальную компоненту, и их влияние на свойства системы [14, 15].

Из десяти классов вероятных структурных состояний класс (f f f) характеризует возможные структурные состояния, включающие в себя в основном только фрактальную компоненту. Симметрия структур  $R_{fff}^3$  может описываться пространственными  $G_3^3$ , слоевыми  $G_2^3$ , ленточными  $G_{2,1}^3$ , точечными слоевыми  $G_{2,0}^3$ , точечными ленточными  $G_{2,1,0}^3$ , стержневыми  $G_1^3$  группами [16, 17]. Перечислим возможные виды состояний фрактального гибридного класса (f f f), приведем сопряженные им (\*) и соподчиненные состояния.

1) (f f f) – 3D фрактальная гибридная структура,  $(f f f)^* = (f f f)$ ,  $(f f f) \in (n_f n_r n_f)$ ,

2) (f f f) – 3D фрактал из 1D детерминистических фракталов,  $(f f f)^* = (f f r_f)$ ,  $(f f f) \in (n_f n_r n_f)$ ,

3) (f f f) – 3D фрактал из 1D фрактальных нанообъектов,  $(f f f)^* = (f f n_f)$ ,  $(f f f) \in (n_f n_r n_f)$ ,

4) (f f f) – 3D фрактал из 2D детерминистических фракталов,  $(f f f)^* = (f r_f r_f)$ ,  $(f f f) \in (n_f n_r n_f)$ ,

5) (f f f) – 3D фрактал из 1D детерминистических фракталов и из 1D фракталь-

ных нанообъектов,  $(f_r f_n f_n)^* = (f_r r_f n_f)$ ,  $(f_r f_n f_n) \in (n_f n_f n_f)$ ,

6)  $(f_r f_n f_n)$  – 3D фрактал из 2D фрактальных нанообъектов,  $(f_r f_n f_n)^* = (f_n r_f n_f)$ ,  $(f_r f_n f_n) \in (n_f n_f n_f)$ ,

7)  $(f_r f_r f_r)$  – 3D детерминистический фрактал,  $(f_r f_r f_r)^* = (r_f r_f r_f)$ ,  $(f_r f_r f_r) \in (n_r n_r n_r)$ ,

8)  $(f_r f_r f_n)$  – 3D фрактал из 2D детерминистических фракталов и 1D фрактальных нанообъектов,  $(f_r f_r f_n)^* = (r_f r_f n_f)$ ,  $(f_r f_r f_n) \in (n_r n_r n_f)$ ,

9)  $(f_r f_n f_n)$  – 3D фрактал из 1D детерминистических фракталов и 2D фрактальных нанообъектов,  $(f_r f_n f_n)^* = (r_f n_f n_f)$ ,  $(f_r f_n f_n) \in (n_r n_f n_f)$ ,

10)  $(f_n f_n f_n)$  – 3D фрактальный нанообъект,  $(f_n f_n f_n)^* = (n_f n_f n_f)$ ,  $(f_n f_n f_n) \in (n_f n_f n_f)$ .

Размерный параметр  $D$  для каждого структурного состояния может быть представлен следующим образом:  $D = d_r D(r) + d_f D(f) + d_n D(n)$ , где  $d_r$ ,  $d_f$  и  $d_n$  – количества соответствующих компонент одного сорта, размерный параметр для кристаллической компоненты  $D(r) = 1$ , для фрактальной компоненты  $D(f) = \text{Dim}R_f = \text{Dim}(\text{Gen}R_f) < 1$ , для наноразмерной компоненты  $D(n) = \langle n \rangle / n_0 < 1$ , если средний размер нанообъекта  $\langle n \rangle < n_0 = 100$  нм [14, 15].

Пример. Определим размерный параметр для состояния  $(f_r f_n f_n)$ , характеризующего 3D фрактал из 1D детерминистических фракталов и 2D фрактальных нанообъектов. Сопряженным с ним является состояние  $(r_f n_f n_f)$ , представляющее собой 3D струк-

туру из 1D локального фрактала и 2D нанообъекта с фрактальной структурой. С учетом разложения

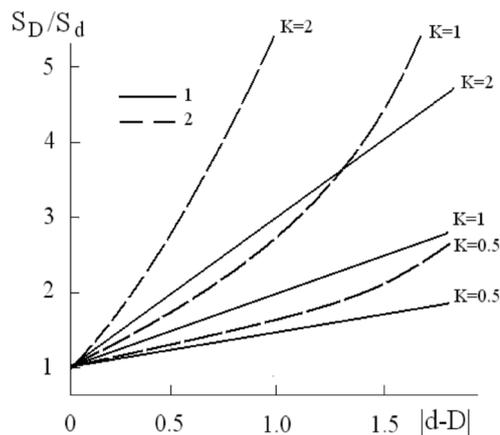
$(f_r f_n f_n) = 1/6 [2(n n n) + (r r r) + 3(f f f)]$  окончательно получим

$$D = 1/6 [6(\langle n \rangle / n_0) + 3 + \text{DimGen}R_{\text{fff}}^{-1} + \text{DimGen}R_{\text{fff}}^{-2} + \text{DimGen}R_{\text{fff}}^{-3}].$$

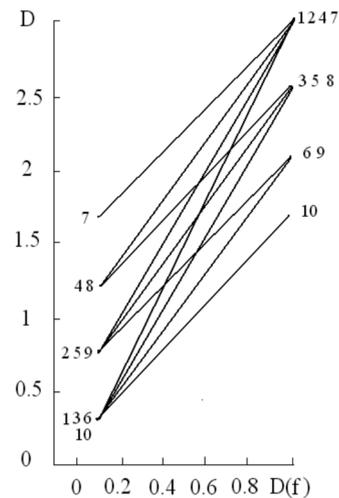
Отметим, что для сопряженного структурного состояния  $(f_r f_n f_n)^* = (r_f n_f n_f)$  размерный параметр идентичен.

В соответствии с [15] на свойство  $S_D$  влияет отклонение размерного параметра  $D$  от мерности пространства  $d$  и формально можно рассматривать два вида зависимостей:  $S_D = S_d(1 + K|d-D|)$  и  $\ln(S_D/S_d) = K|d-D|$ . Коэффициент пропорциональности  $K$  обусловлен как характеристиками структурного состояния, так и характеристиками пространства, в котором существует система с данным состоянием.

При оценке размерных параметров структурных состояний для отдельных компонент использовали следующие условные значения:  $D(r) = 1$ ,  $D(f_1) = D(f_2) = D(f_3) = 0,5$ ,  $D(n_1) = D(n_2) = 0,1$ . Экспоненциальная зависимость от размерного параметра  $S_D = S_d \exp(K|d-D|)$  является более сильной по сравнению с первой (рисунок, а). На величину  $|d-D|$  существенно влияют значения компонент  $D(f)$  и  $D(n)$ . В частности, влияние величины фрактальной компоненты  $D(f)$  на условный размерный параметр  $D$  для каждого из десяти структурных состояний класса  $(f f f)$  показано на рисунке, б.



а)



б)

Влияние условного размерного параметра  $D$  структурного состояния детерминистических модулярных структур на свойства систем по зависимостям вида  $S_D = S_d(1 + K|d-D|)$  (а-1) и  $S_D = S_d \exp(K|d-D|)$  (а-2). Влияние величины фрактальной компоненты  $D(f)$  на условный размерный параметр  $D$  десяти структурных состояний класса  $(f f f)$  (б)

В ранее опубликованных работах проанализированы спектральные характеристики вероятных детерминистических гибридных фракталов – сложных фрактальных структур с двумя и более точечными или линейными генераторами в 2D пространстве [18–26]. Разработан алгоритм выбора и идентификации данных структур с необходимыми характеристиками. Значения локальной и лакунарной размерностей каждой фрактальной структуры могут быть использованы при определении квазиупорядоченного сайт-распределения определенных фаз по поверхности композиционных покрытий и конфигурационных характеристик межфазных границ [27–37]. На основе этих данных возможна оценка поверхностной доли твердого смазочного компонента и расчет трибологических свойств покрытия в соответствии с синергической моделью [1, 38, 39]. Расчетные данные косвенно подтверждают, в частности, результаты трибологических испытаний соответствующих антифрикционных покрытий [2, 5–11].

#### 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., Щербаков И.Н., Иванов А.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 1. – С. 84–87.
3. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2010. – № 5. – С. 72–75.
4. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2010. – № 6. – С. 79–82.
5. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – № 3. – С. 54–57.
6. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2011. – № 5. – С. 47–50.
7. 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.
8. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Иванов А.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии, 2006. – Т. 79. – Вып. 4. – С. 619–621.
9. Иванов В.В., Курнакова Н.Ю., Арзуманова А.В., и др. // Журн. прикладной химии, 2008. – Т. 81. – Вып. 12. – С. 2059–2061.
10. Балакай В.И., Сметанкин Г.П., Иванов В.В., Балакай И.В. // Вестник ВЭЛНИИ, 2009. – Вып. 1 (57). – С. 32–41.
11. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Балакай И.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии, 2009. – Т. 82. – Вып. 5. – С. 797–802.
12. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 7. – С. 126–128.
13. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 7. – С. 100–104.
14. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 7. – С. 121–123.
15. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 7. – С. 124–125.
16. Заморзаев А.М. Теория простой и кратной антисимметрии. Кишинев: Штиинца. 1976. – 283 с.
17. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 7. – С. 93–95.
18. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Соврем. наукоемкие технологии. 2013. – № 9. – С. 86–88.
19. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Соврем. наукоемкие технологии. 2013. – № 10. – С. 158–160.
20. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Соврем. наукоемкие технологии. 2013. – № 10. – С. 161–163.
21. Иванов В.В. // Соврем. наукоемкие технологии. – 2013. – № 5. – С. 29–31.
22. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2013. – № 8. – С. 136–137.
23. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2013. – № 8. – С. 134–135.
24. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2013. – № 8. – С. 129–130.
25. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2013. – № 11. – С. 61–65.
26. Иванов В.В. // Соврем. наукоемкие технологии. 2013. – № 9. – С. 89–93.
27. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 7-1. – С. 35–37.
28. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 7-1. – С. 28–30.
29. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 7-1. – С. 31–33.
30. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 7-1. – С. 30–31.
31. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 7-1. – С. 33–35.
32. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 7-1. – С. 26–28.
33. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 8-1. – С. 25–27.
34. Иванов В.В. // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2013. № 10(3). – С. 493.
35. Иванов В.В. // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2013. № 10(3). – С. 493–494.
36. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 4. – С. 105–108.
37. Щербаков И.Н., Попов С.В., Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2014. № 3(22). – Часть 2. – С. 22–23.
38. Иванов В.В. // Междунар. журнал экспериментального образования, 2014. – № 4. – Part 2. – С. 58–59.
39. Иванов В.В. // Междунар. журнал экспериментального образования, 2014. – № 4. – Part 2. – С. 59–60.