

УДК 548.1

ВОЗМОЖНЫЕ ДИСКОНТИНУАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ СОСТОЯНИЯ ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МОДУЛЯРНЫХ СТРУКТУР КРИСТАЛЛОНОРАЗМЕРНОГО ФРАКТАЛЬНОГО КЛАССА (RNF)

Иванов В.В.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, АО «ОКТБ «ОРИОН», Новочеркасск, e-mail: valivanov11@mail.ru

Обсуждаются возможные дисконтинуальные комплексные состояния детерминистических модулярных структур кристаллононоразмерных фрактальных объектов класса (RNF) с дискретными компонентами. Предложена классификация возможных состояний кристаллононоразмерных фрактальных структур, включая 1-, 2-, 3-аперидические структурные состояния (RNFs, RNFss, RNFsss) и 1-, 2-, 3-квазиструктурные состояния (RNfO, RNfOO, RNfOOO) и возможные их комбинации. Показана возможность существования двухсот десяти комплексных структурных состояний, которые вероятно характеризуют результаты реализации определенного фазово-разупорядоченного состояния объема и поверхности композиционных материалов и покрытий при трении и износе. Предполагается, что некоторые из вариантов состояний могут быть 3D свертками 15D «гиперпространственного» описания кристаллических, наноразмерных и фрактальных структурных состояний многофазных материалов и характеризуют возможные распределения частиц фаз и конфигурации межфазных границ.

Ключевые слова: кристаллическая структура, наноструктура, фрактальная структура, модулярная детерминистическая структура, структурное состояние, квазиструктурные объекты, аперидические объекты

POSSIBLE DISCONTINUAL COMPLEX STATES OF THE DETERMINISTIC MODULAR STRUCTURES FROM THE CRYSTAL NANODIMENSION FRACTAL (RNF) CLASS

Ivanov V.V.

Platov South-Russian state polytechnic university (NPI), J-SC «SDTU «ORION», Novocheerkassk, e-mail: valivanov11@mail.ru

The possible discontinual complex states of the multi-components deterministic modular structures of crystal nano-dimension fractal objects from (r n f) class with discrete components are discussed. Classification of the possible states of crystal nano-dimension fractal structures, including 1-, 2-, 3-aperiodic structural states (RNFs, RNFss, RNFsss) and 1-, 2-, 3- quasi-structural states (RNfO, RNfOO, RNfOOO) and their possible combinations was proposed. The possibility of the existence of 210 integrated structural states that are likely to characterize the results of a particular phase disordered state into volume and onto surface of the some composite materials and coatings under friction and wear was showed. It is expected that some of the options states can be 3D folds of the 15D «hyper-spatial» description crystalline, nano-scale and fractal structural states of multiphase materials and characterize the possible phase micro-particles distribution and configuration of inter-phase boundaries.

Keywords: crystal structure, nanostructure, fractal structure, modular deterministic structure, structural state, quasi-structural objects, aperiodic objects

Установлено [15-17], что детерминистические модулярные структуры с любыми необходимыми размерными и спектральными характеристиками модулей могут быть сформированы в определенном ячеистом 2D или 3D пространстве. Характеристики этих структур могут быть определены из описания возможных структурных состояний и использованы при интерпретации особенностей распределений фаз и конфигурации межфазных границ на поверхности и в объеме композиционных материалов [1, 2, 5-8]. Отметим также, что результаты анализа возможных видов структурных состояний необходимы для учета влияния размерного параметра на некоторые аддитивные свойства соответствующего материала [9-11].

Формально «гиперпространственное» описание вероятных структурных состоя-

ний, которые могут определять величину эффективного размерного параметра композиционных материалов, влияющего на уровень проявления ими химических и физико-механических свойств. Оно включает в себя символическое описание состояния (r n f) из кристаллической компоненты, состояния (n n n) из наноразмерной компоненты и состояния (f f f) из фрактальной компоненты композита [12-14]. Описание последнего состояния содержит в себе информацию о вероятных квазифрактальных конфигурациях межфазных границ (f f f)_{3Dconf}, которые являются 3D оболочкой системы элементов детерминистических модулярных структур с соответствующими фрактальными состояниями,

о вероятных квазифрактальных 3D распределениях элементов по позициям де-

терминистических модулярных структур
 $(f f f)_{\text{site}} = (f f f)^*$,

о вероятных квазифрактальных 3D распределениях r и n элементов по размерам $[(r r r)_f + (n n n)_n]_{\text{size}}$.

Кристаллонаноразмерный фрактальный класс RNF – единственный класс, который содержащий в себе все виды компонентов состояний, приведенных в описании некоторого композиционного материала $[(r r r), (n n n), (f f f)_{3D \text{ conf}}, (f f f)_{\text{site}}^*, ((r r r)_f + (n n n)_n)_{\text{size}}$]. Поэтому комбинаторный перебор всех возможных структурных состояний этого класса и их описание является актуальным для предварительной оценки влияния размерного параметра на удельные (объемные или поверхностные) характеристики анализируемого композита.

Анализ возможных структурных состояний RNF класса и их классификация

С учетом характера элементов трансляций $\{t_i\}$ ($i = 1, 2, 3$) могут быть получены основные классы вероятных структурных состояний объектов с дискретными элементами структур в 3D пространстве [3-6, 17]. Предполагается, что все локальные элементы этих состояний (фрагмент r , наноструктурированный фрагмент m , фрактальный фрагмент r_f , фрактал f , локальный фрактал f_f , наноструктурированный фрактал f_n , наночастица n , нанофрагмент n_f или нанофрактал n_f) асимметричны. Поэтому при частичной или полной разупорядоченности этих элементов будем рассматривать детерминистические модулярные структуры вида $R_{s,0}^3$. Индексы s и 0 в обозначении структуры означают количество независимых кристаллографических направлений, в которых асимметричные элементы позиционно и ориентационно упорядочены в 3D пространстве. По аналогии с аперидическими кристаллами и квазикристаллами [14] наряду с объектами можно рассматривать также аперидические объекты, квазиобъекты, а также их комбинации.

Приведем краткое описание каждого из комбинаторно возможных структурных состояний абстрактных кристаллонаноразмерных фрактальных 3D объектов.

Кристаллонаноразмерный фрактальный класс (18 подклассов, 210 состояний вида $(r n f)$ или его производные).

1. Подкласс RNF, состояния вида $(r n f)$:
 $(r n f)$ – цепочки фрагментов, наночастиц и фракталов,

$(r n f_r)$ – цепочки фрагментов, наночастиц и локальных фракталов,

$(r n f_n)$ – цепочки фрагментов, наночастиц и наноструктурированных фракталов,

$(r n_f f)$ – цепочки фрагментов, нанофрагментов и фракталов,

$(r n_f f_r)$ – цепочки фрагментов, нанофрагментов и локальных фракталов,

$(r n_f f_n)$ – цепочки фрагментов, нанофрагментов и наноструктурированных фракталов,

$(r_n f f)$ – цепочки фрагментов, нанофракталов и фракталов,

$(r_n f_r f)$ – цепочки фрагментов, нанофракталов и локальных фракталов,

$(r_n f_n f)$ – цепочки фрагментов, нанофракталов и наноструктурированных фракталов,

$(r_n f f_f)$ – цепочки наноструктурированных фрагментов, наночастиц и фракталов,

$(r_n f_n f_r)$ – цепочки наноструктурированных фрагментов, наночастиц и локальных фракталов,

$(r_n f_n f_n)$ – цепочки наноструктурированных фрагментов, наночастиц и наноструктурированных фракталов,

$(r_n n_f f)$ – цепочки наноструктурированных фрагментов, нанофрагментов и фракталов,

$(r_n n_f f_r)$ – цепочки наноструктурированных фрагментов, нанофрагментов и локальных фракталов,

$(r_n n_f f_n)$ – цепочки наноструктурированных фрагментов, нанофрагментов и наноструктурированных фракталов,

$(r_n n_f f_f)$ – цепочки наноструктурированных фрагментов, нанофракталов и фракталов,

$(r_n n_f f_r f)$ – цепочки наноструктурированных фрагментов, нанофракталов и локальных фракталов,

$(r_n n_f f_n f)$ – цепочки наноструктурированных фрагментов, нанофракталов и наноструктурированных фракталов,

$(r_f n f)$ – цепочки фрактальных фрагментов, наночастиц и фракталов,

$(r_f n f_r)$ – цепочки фрактальных фрагментов, наночастиц и локальных фракталов,

$(r_f n f_n)$ – цепочки фрактальных фрагментов, наночастиц и наноструктурированных фракталов,

$(r_f n_f f)$ – цепочки фрактальных фрагментов, нанофрагментов и фракталов,

$(r_f n_f f_r)$ – цепочки фрактальных фрагментов, нанофрагментов и локальных фракталов,

$(r_f n_f f_n)$ – цепочки фрактальных фрагментов, нанофрагментов и наноструктурированных фракталов,

$(r_f n_f f_f)$ – цепочки фрактальных фрагментов, нанофракталов и фракталов,

$(r_f n_f f_r f)$ – цепочки фрактальных фрагментов, нанофракталов и локальных фракталов,

$(r_f n_f f_n f)$ – цепочки фрактальных фрагментов, нанофракталов и наноструктурированных фракталов.

2. Подкласс RNF₀, состояния вида $(r n f_0)$, $(r n_0 f)$ и $(r n f)$:

$(r n f_0)$ – цепочки фрагментов, наночастиц и квазицепочки фракталов,

$(r_0 n_0 f_s)$ – цепочки позиционно разупорядоченных фракталов, и квазицепочки наночастиц и фрагментов,

$(r_0 n_s f_0)$ – цепочки позиционно разупорядоченных наночастиц, и квазицепочки фракталов и фрагментов,

$(r_s n_0 f_0)$ – цепочки позиционно разупорядоченных фрагментов, и квазицепочки наночастиц и фракталов.

13. Подкласс дважды аперриодический RNF_{00ss} , состояния $(r_0 n_s f_s)$, $(r_s n_s f_0)$ и $(r_0 n_0 f_s)$:

$(r_0 n_s f_s)$ – цепочки позиционно разупорядоченных наночастиц и фракталов, квазицепочки фрагментов,

$(r_s n_0 f_s)$ – цепочки позиционно разупорядоченных фракталов и фрагментов, квазицепочки наночастиц,

$(r_s n_s f_0)$ – цепочки позиционно разупорядоченных наночастиц и фрагментов, квазицепочки фракталов.

14. Подкласс дважды аперриодический RNF_{00ss} , состояния $(r n_{0s} f_{0s})$, $(r_{0s} n f_{0s})$ и $(r_{0s} n_{0s} f)$:

$(r n_{0s} f_{0s})$ – квазицепочки позиционно разупорядоченных наночастиц и фракталов, цепочки фрагментов,

$(r_{0s} n_{0s} f_{0s})$ – квазицепочки позиционно разупорядоченных наночастиц и фракталов, цепочки нанофрагментов,

$(r_f n_{0s} f_{0s})$ – квазицепочки позиционно разупорядоченных наночастиц и фракталов, цепочки фрактальных фрагментов,

$(r_{0s} n f_{0s})$ – квазицепочки позиционно разупорядоченных фрагментов и фракталов, цепочки наночастиц,

$(r_{0s} n_r f_{0s})$ – квазицепочки позиционно разупорядоченных фрагментов и фракталов, цепочки нанофрагментов,

$(r_{0s} n_f f_{0s})$ – квазицепочки позиционно разупорядоченных фрагментов и фракталов, цепочки нанофракталов,

$(r_{0s} n_{0s} f)$ – квазицепочки позиционно разупорядоченных фрагментов и наночастиц, цепочки фракталов,

$(r_{0s} n_{0s} f_r)$ – квазицепочки позиционно разупорядоченных фрагментов и наночастиц, цепочки локальных фракталов,

$(r_{0s} n_{0s} f_n)$ – квазицепочки позиционно разупорядоченных фрагментов и наночастиц, цепочки наноструктурированных фракталов.

15. Подкласс дважды аперриодический RNF_{00ss} , состояния $(r_0 n_0 f_s)$, $(r_0 n_s f_{0s})$ и $(r_0 n_{0s} f_s)$:

$(r_0 n_0 f_s)$ – квазицепочки наночастиц и позиционно разупорядоченных фрагментов, цепочки позиционно разупорядоченных фракталов,

$(r_0 n_s f_0)$ – квазицепочки фракталов и позиционно разупорядоченных фрагментов, цепочки позиционно разупорядоченных наночастиц,

$(r_0 n_{0s} f_s)$ – квазицепочки фрагментов и позиционно разупорядоченных наночастиц, цепочки позиционно разупорядоченных фракталов,

$(r_s n_{0s} f_0)$ – квазицепочки фракталов и позиционно разупорядоченных наночастиц, цепочки позиционно разупорядоченных фрагментов,

$(r_0 n_s f_{0s})$ – квазицепочки фрагментов и позиционно разупорядоченных фракталов, цепочки позиционно разупорядоченных наночастиц,

$(r_s n_0 f_{0s})$ – квазицепочки наночастиц и позиционно разупорядоченных фракталов, цепочки позиционно разупорядоченных фрагментов.

16. Подкласс дважды аперриодический RNF_{000ss} , состояния $(r_{0s} n_{0s} f_0)$, $(r_{0s} n_0 f_{0s})$ и $(r_0 n_{0s} f_{0s})$:

$(r_{0s} n_{0s} f_0)$ – квазицепочки фракталов и позиционно разупорядоченных фрагментов и наночастиц,

$(r_{0s} n_0 f_{0s})$ – квазицепочки наночастиц и позиционно разупорядоченных фрагментов и фракталов,

$(r_0 n_{0s} f_{0s})$ – квазицепочки фрагментов и позиционно разупорядоченных наночастиц и фракталов.

17. Подкласс трижды аперриодический RNF_{000ss} , состояния $(r_0 n_s f_s)$, $(r_{0s} n_s f_s)$, $(r_{0s} n_{0s} f_s)$:

$(r_{0s} n_{0s} f_s)$ – квазицепочки позиционно разупорядоченных фрагментов и наночастиц, цепочки фракталов,

$(r_{0s} n_s f_{0s})$ – квазицепочки позиционно разупорядоченных фрагментов и фракталов, цепочки наночастиц,

$(r_s n_{0s} f_{0s})$ – квазицепочки позиционно разупорядоченных наночастиц и фракталов, цепочки фрагментов.

18. Подкласс трижды аперриодический RNF_{0000ss} , состояние $(r_{0s} n_{0s} f_{0s})$:

$(r_{0s} n_{0s} f_{0s})$ – квазицепочки позиционно разупорядоченных фрагментов, наночастиц и фракталов.

Таким образом, получены описания комплексных структурных состояний детерминистических модулярных структур, квазиструктур и аперриодических структур, которые содержат кристаллическую, наноразмерную и фрактальную компоненты в виде асимметричных модулей, полностью или частично упорядоченных (позиционно и ориентационно) в 3D пространстве.

Обсуждение результатов анализа

Так как кристаллонаноразмерный фрактальный класс RNF содержит в себе все виды компонентов состояний, то определенная совокупность описаний состояний вида $(r n f)$ может рассматриваться как абстракт-

ная свертка полного «гиперпространственного» описания материала $[(r r r), (n n n), (f f f)]_{3D, conf} (f f f)_{site}^* ((r r r)_f + (n n n)_f)_{size}$.

Действительно, при транспонировании матрицы из трех произвольных состояний вида $(r n f)$ всегда можно получить три соответствующих состояния из кристаллических, наноразмерных и фрактальных компонент:

$$\begin{pmatrix} r_n & n & f_r \\ r_f & n_r & f_r \\ r_n & n_r & f_r \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} r_n & r_f & r_n \\ n & n_r & n_r \\ f_r & f_r & f_n \end{pmatrix}$$

Рассмотрение сопряженных с фрактальными состояний $(f_r f_r f_n)_{site}^* = (r_f r_f n_f)$ и состояний с компонентами r и n , распределенными по фрактальному закону, содержат информацию о мерности квазифрактальных распределений соответствующих компонент.

Вся эта информация необходима при оценке условного размерного параметра D_i для каждого i -го структурного 3D состояния по формуле $D_i = 0,5(d_r D(r) + d_f D(f) + d_n D(n))_i$, где d_r , d_f и d_n – количества соответствующих компонент одного сорта. Значения для кристаллической компоненты $D(r) = 1$, для фрактальной компоненты совпадают с фрактальной размерностью: $D(f) = \text{Dim}R_f = \text{Dim}(\text{Gen}R_f) < 1$, для наноразмерной компоненты $D(n) = \langle n \rangle / n_0 < 1$, если средний размер нанобъекта $\langle n \rangle$ меньше, чем $n_0 = 100$ нм [12, 13].

Можно предположить, что некоторые из этих структурных состояний вида $(r n f)$ могут описывать результаты проявления определенного фазово-разупорядоченного состояния поверхности композиционных материалов и покрытий [4, 7-11]. Результаты анализа подобных состояний были, в частности, использованы при определении величины эффекта синергизма при трении и износе некоторых композиционных покрытий [18-22].

Выводы

Рассмотрены особенности организации возможных комплексных состояний детерминистических модулярных структур кристаллонаноразмерных фрактальных объектов класса (RNF) с дискретными компонентами. Предложена классификация состояний кристаллонаноразмерных фрактальных структур, включая 1-, 2-, 3-аперидические структурные состояния $(RNF_{ss}, RNF_{ss}, RNF_{ss})$ и 1-, 2-, 3-квазиструктурные состояния $(RNF_{0}, RNF_{0}, RNF_{0})$ и возможные их комбинации. Показана возможность существования 210 комплексных структурных состояний, которые вероятно характе-

ризуют и результаты реализации определенного фазово-разупорядоченного состояния объема и поверхности композиционных материалов и покрытий при трении и износе. Предполагается, что некоторые из состояний могут быть 3D свертками 15D «гиперпространственного» описания кристаллических, наноразмерных и фрактальных структурных состояний многофазных материалов и характеризуют возможные распределения частиц фаз и конфигурации межфазных границ.

Список литературы

1. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. Фрактальные структуры 2D пространства как возможные аппроксиманты конфигураций межфазных границ и распределения фаз на поверхности антифрикционных композиционных покрытий // *Соврем. наукоемкие технологии*. 2013. – № 9. – С. 86-88.
2. Иванов В.В. Фрактальные структуры как возможные абстракции сайз-распределения фаз и конфигурации межфазных границ на поверхности антифрикционных композиционных покрытий // *Международ. журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 2013. № 10 (3). – С. 493-494.
3. Иванов В.В. Комплексные компоненты состояний кристаллического фрактального наноразмерного класса детерминистических модулярных структур композитов // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 12. – С. 84-90.
4. Иванов В.В. Возможные структурные состояния детерминистических модулярных структур с фрактальной компонентой в 3D пространстве // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 4. – С. 105-108.
5. Иванов В.В. Возможные состояния модулярных структур кристаллических, наноразмерных и фрактальных объектов на поверхности антифрикционных композиционных покрытий // *Соврем. наукоемкие технологии*, 2015. – № 8. – С. 24-27.
6. Иванов В.В. Возможные состояния распределения модулярных структур кристаллических, наноразмерных и фрактальных объектов в объеме антифрикционных композиционных материалов // *Соврем. наукоемкие технологии*, 2015. – № 5. – С. 16-19.
7. Иванов В.В. Комплексные структурные состояния как формализованное представление вариантов реализации фазово-разупорядоченного состояния поверхности композиционного материала при трении и износе // *Соврем. наукоемкие технологии*, 2015. – № 6. – С. 15-18.
8. Иванов В.В. Описание возможных структурных состояний кристаллических и наноразмерных объектов и вариантов характера их сайт и сайз-распределений на поверхности композиционного материала или покрытия при трении и износе // *Соврем. наукоемкие технологии*, 2015. – № 7. – С. 30-33.
9. Иванов В.В. Размерные характеристики возможных состояний многокомпонентных структур, включающих фрактальную и наноразмерную компоненту // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 7. – С. 121-123.
10. Иванов В.В. Вероятное влияние размерных параметров возможных многокомпонентных структурных состояний системы на ее свойства // *Успехи соврем. естествознания*, 2014. – № 7. – С. 124-125.
11. Иванов В.В. Возможные линейные зависимости аддитивного свойства комплексного объекта от его размерности // *Успехи соврем. естествознания*, 2015. № 1 (8). – С. 1339-1341.
12. Иванов В.В. Возможные состояния многокомпонентных детерминистических модулярных структур

с дискретными и континуальными компонентами кристаллического класса (RRR) // *Международ. журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 2016. – № 5 (4). – С. 551-558.

13. Иванов В.В. Возможные дискретные и континуальные состояния многокомпонентных детерминистических модулярных структур наноразмерных объектов класса (NNN) // *Международ. журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 2016. – № 6 (1). – С. 32-39.

14. Иванов В.В. Структурные состояния вероятных наноразмерных фрагментов и структур квазикристаллов и аперриодических кристаллов // *Международ. журн. прикладных и фундаментальных исследований*. 2015. – № 8 (Часть 5). – С. 896-899.

15. Иванов В.В., Таланов В.М. Разбиение и структурирование пространства, описание процесса формирования модульного кристалла // *Успехи соврем. естествознания*, 2012. – № 8. – С. 75-77.

16. Иванов В.В., Таланов В.М. Разбиение структурированного 3D пространства на модулярные ячейки и моделирование невырожденных модулярных структур // *Успехи соврем. естествознания*, 2012. – № 10. – С. 78-80.

17. Иванов В.В., Таланов В.М. Формирование структурного модуля для модулярного дизайна в 3D пространстве // *Успехи соврем. естествознания*, 2012. – № 9. – С. 74-77.

18. Ivanov V.V. «Concentration waves» model for the tribologic system CM1/LL,^o/CM2 // *International journal of experimental education*, 2014. – № 4. – Part 2. – p. 58-59.

19. Ivanov V.V. «Concentration waves» model for the tribologic system CM1^o/CM2 // *International journal of experimental education*, 2014. – № 4. – Part 2. – p. 59-60.

20. 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. – С. 36-37.

21. Ivanov V.V., Derlugian P.D., Ivanova I.V. et al. Fractal structures as a possible abstractions of the site and size-distributions of phases and a possible approximants of the inter-phase borders configurations onto surface of the composites // *Eastern European Scientific Journal*, 2016, N.2 – pp. 203-206.

22. Scherbakov I.N., Ivanov V.V. Analysis of synergic effect in compositional Ni-P-coatings // *European Journal of Natural History*, 2015. – № 3. – С. 48.