

УДК 669.018:548.3

ФРАКТАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ 2D-ПРОСТРАНСТВА КАК ВОЗМОЖНЫЕ АППРОКСИМАНТЫ КОНФИГУРАЦИЙ МЕЖФАЗНЫХ ГРАНИЦ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФАЗ НА ПОВЕРХНОСТИ АНТИФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

^{1,2}Дерлугян П.Д., ^{1,2}Иванов В.В., ¹Иванова И.В., ^{1,2}Логинов В.Т., ¹Данюшина Г.А.,
¹Шишка В.Г., ^{1,2}Щербаков И.Н.

¹ФГУП ОКБ «ОРИОН», Новочеркасск;

²Южно-Российский государственный технический университет, Новочеркасск,
e-mail: valivanov11@mail.ru

Обсуждается возможность аппроксимации конфигураций межфазных границ и сайз-распределения фаз на поверхности антифрикционных композиционных покрытий с помощью анализа вероятных фрактальных структур 2D-пространства с необходимыми характеристиками.

Ключевые слова: композиционные покрытия, межфазные границы, сайз-распределение фаз, фрактальные структуры, трибологические свойства

FRactal Structures of 2D Space as a Possible Approximations of the Interphase Borders Configurations and the Phase Distributions onto Surface of Antifrictional Composition Coatings

^{1,2}Derlugyan P.D., ^{1,2}Ivanov V.V., ¹Ivanova I.V., ^{1,2}Loginov V.T., ¹Danyushina G.A.,
¹Shishka V.G., ^{1,2}Shcherbakov I.N.

¹FGUE SDTU «ORION», Novochoerkassk;

²South-Russian state engineering university, Novochoerkassk, e-mail: valivanov11@mail.ru

The approximation possible of the interphase borders configurations and the phases size-distributions onto surface of antifrictional composition coatings by analysis of the probable fractal structures of 2D space with necessary characteristics was discussed.

Keywords: compositional coatings, interphase borders, size-distribution of the phases, fractal structures, tribologic properties

В соответствии с концепцией синергизма свойств фаз твердой и смазочной компонент композиционных покрытий (КП) разработана модель, учитывающая влияние параметров химического и фазового состава, микроструктурных характеристик фаз твердой компоненты покрытия и особенностей конфигурации межфазных границ на трибологические свойства поверхности [1-4]. Данное представление о свойствах КП основано на предположении о снижении в процессе трибоконтакта с сопряженной поверхностью износа более пластичной смазочной компоненты за счет ее «вмазывания» в макродефекты и межкристаллитное пространство фаз твердой компоненты и «намазывания» на поверхности этих фаз по межфазным границам [4]. В данной работе будем рассматривать фрактальные структуры 2D-пространства как возможные аппроксиманты конфигураций межфазных границ и распределения фаз на поверхности антифрикционных композиционных покрытий.

Комплексная синергическая модель, описывающая трибологические свойства

P поверхности однородных КП, основана на одновременном учете параметра наноструктурности k_n и параметра $k_{r,S}$, характеризующего квазифрактальный характер конфигурации межфазных границ [2]:

$$P = \alpha P_{\text{TB}} + (1 - \alpha) P_{\text{CM}} + \delta_P (P_{\text{TB}} - P_{\text{CM}}),$$

$$\delta P = 2(1 - \alpha) \alpha^2 [1 + k_n + \alpha k_{r,S}].$$

Оба регулировочных параметра обусловлены относительными долями фаз твердой компоненты КП, которые по определенным причинам при трении проявляют свойства смазочных материалов. Экспериментально установлено [4-10], что для КП разного фазового состава сумма параметров $(k_n + \alpha k_{r,S})$ может принимать значения в интервале от 0,03 до 0,08 и характеризует объемную долю наночастиц (или микрочастиц) фаз твердых компонент КП и контр-тела, которые могут находиться в зоне трибоконтакта. Учет особенностей конфигурации межфазных границ в виде параметра $k_{r,S}$, характеризующего их поверхностную долю, позволяет считать твердые фазы, находящиеся в приграничной зоне, как условный смазочный материал. Оба параметра описыва-

ют формальное уменьшение концентрации фаз твердой компоненты КП либо за счет особенностей формы ультрадисперсных частиц этих фаз, присутствующих в зоне трибоконтакта и проявляющих свойства смазочного материала, либо за счет экранирования фазами смазочной компоненты КП приграничной части твердых фаз на межфазных границах.

Соотношение между этими параметрами ($k_n / \alpha k_{r,s}$) зависит, по-видимому, не только от концентрации фаз твердой компоненты КП, но и от индивидуальных характеристик всех фаз в покрытии, определяющих особенности конфигурации межфазных границ и степень их «экранирования». В [2] определено, что уже на втором шаге фрактализации значение параметра $k_{r,s} \approx 8 \cdot 10^{-2}$, что по порядку величины уже соответствует уровню, необходимому для объяснения синергизма трибологических свойств КП на основе покрытий систем Ni – P [4-6, 10] и Ni – В [7-9]. В случае существенного отклонения конфигурации межфазных границ от гладкой всюду дифференцируемой криволинейной поверхности можно считать ее фрактальной. Сечения микрочастиц с такой поверхностью – замкнутые фрактальные линии, которые в соответствии с результатами работ [11-27] можно аппроксимировать фракталами с разными генераторами.

В общем случае размерность фрактальных структур $\text{Dim } F$, полученных с помощью сюръективных или инъективных отображений генераторов, может быть определена из соотношения

$$\text{Dim } F = d + \ln(1 \pm k\Delta),$$

в котором d – топологическая размерность фрактала, Δ – относительное отклонение топологической размерности d' «лакунарного» элемента фрактала от его топологической размерности, т.е. $\Delta = |(d-d')/d|$; k – доля этого отклонения от максимально возможного значения. В зависимости от мерности пространства, в котором сформирован фрактал с определенной генетической характеристикой ($\{(d-1)+\}$ или $\{d-\}$), параметр k будет принимать вполне определенные значения. Приведем некоторые примеры.

1D-пространство: структуры вида

$$I(n/(n+m))\{0+\} \text{ и } C(n/(n+2m))\{1-\}, k = 1.$$

2D-пространство: структуры вида

$$MF_{K(1/D)}\{Pg\}\{1+\} \text{ и } F_{N\{Pg\},i,k}\{2-\}, k = 1, 1/2.$$

3D-пространство: структуры вида

$$MF_{K(1/D)}\{Ph\}\{2+\} \text{ и } F_{N\{Ph\},i,k}\{3-\}, k = 1, 2/3, 1/3.$$

За исключением специальных структур, которые в данной работе не рассматриваются, для фрактальных объектов 2D-пространства параметр k может быть принят равным 1, что характерно для предфракталов с незаполненными «лакунами». В этом случае размерность фрактальной структуры определяется соотношением

$$\text{Dim } F = d + \ln(1 \pm \Delta).$$

Предположим, что подобные фракталы 2D-пространства могут рассматриваться как возможные аппроксиманты конфигураций межфазных границ и распределения фаз на поверхности антифрикционных КП в процессе их формирования и последующего трибовоздействия. Для идентификации данных структур с необходимыми характеристиками (фрактальной размерностью D , лакунарными сайз- и сайт-распределениями и т.д.) необходимо придерживаться следующего алгоритма:

1) экспериментально определить основные микроструктурные характеристики микрочастиц фаз (распределения по размерам, по поверхности);

2) сконструировать набор соответствующих фрактальных структур, формально удовлетворяющих указанным выше характеристикам, используя диаграмму вида «размерность фрактала – параметр лакунарного элемента Δ »;

3) определить наиболее вероятные фрактальные структуры из полученного набора в соответствии с критериями отбора;

4) с учетом характеристик этих структур рассчитать уровень проявления трибологических свойств КП и на основе сравнительного анализа с соответствующими экспериментально определенными значениями выявить наиболее вероятную фрактальную структуру.

Идентифицированная таким образом фрактальная структура может быть использована при интерпретации вероятного механизма формирования поверхности КП и динамики ее изменений в процессе трения и износа. Предположение о квазифрактальном характере конфигураций межфазных границ на поверхности композиционных материалов и покрытий косвенно

подтверждаются результатами исследований [3, 4, 7-9, 28-30].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, соглашение № 14.U01.21.1078.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2001. №3. С.60-61.
2. Иванов В.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. Спецвыпуск. Проблемы трибоэлектрохимии. 2005. С. 128-130.
3. 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», 2006. 112 с.
4. Щербаков И.Н., Иванов В.В., Логинов В.Т., Дерлугян П.Д., Трофимов Г.Е., Дерлугян Ф.П. Химическое наноконструирование композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», 2011. 152 с.
5. Иванов В.В., Иванов А.В., Щербаков И.Н., Башкиров О.М. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2005. №3. С. 46-49.
6. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Иванов А.В., Башкиров О.М. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2005. №4. С. 62-64.
7. Ivanov V.V., Balakai V.I., Ivanov A.V., Arzumanova A.V. // Russian Journal of Applied Chemistry. 2006. Т. 79. № 4. С. 610-613.
8. Ivanov V.V., Balakai V.I., Kurnakova N.Yu., Arzumanova A.V., Balakai I.V. // Russian Journal of Applied Chemistry. 2008. Т.81. № 12. С. 2169-2171.
9. Balakai V.I., Ivanov V.V., Balakai I.V., Arzumanova A.V. // Russian Journal of Applied Chemistry. 2009. Т.82. №5. С. 851-856.
10. Щербаков И.Н., Иванов В.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2011. № 5. С. 47-50.
11. Иванов В.В., Таланов В.М. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2010. Т. 1. № 1. С. 72-107.
12. Иванов В.В., Демьян В.В., Таланов В.М. // Междунар. журн. эксп. образования, 2010. № 11. С. 153-155.
13. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2011. Т.2. № 3. С. 121-134.
14. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2011. №3. С.54-57.
15. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2012. Т.3. № 4. С. 82-100.
16. Иванов В.В., Шабельская Н.П., Таланов В.М., Попов В.П. // Успехи соврем. естествознания, 2012. №2. С. 60-63.
17. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи соврем. естествознания, 2012. № 3. С. 56-57.
18. Иванов В.В., Демьян В.В., Таланов В.М. // Успехи соврем. естествознания, 2012. № 4. С.230-232.
19. Иванов В.В., Таланов В.М. // Совр. наукоемкие технологии. 2012. № 2. С. 60-63.
20. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Таланов В.М. // Совр. наукоемкие технологии. 2012. № 1. С. 54-55.
21. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи соврем. естествознания. 2012. № 11. С.61-62.
22. Иванов В.В., Таланов В.М. // Соврем. наукоемкие технологии. 2012. № 11. С. 24-25.
23. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи соврем. естествознания. 2012. № 11. С. 63-65.
24. Иванов В.В., Таланов В.М. // Соврем. наукоемкие технологии. 2012. № 12. С. 16-17.
25. Иванов В.В., Таланов В.М. // Соврем. наукоемкие технологии. 2012. № 11. С. 22-23.
26. Иванов В.В., Таланов В.М. // Журн. структурн. химии. 2013. Т.54. № 2. С. 354-376.
27. Иванов В.В., Таланов В.М. // Кристаллография. 2013. Т.58. № 3. С. 370-379.
28. Патент 2422561 Рос. Федерация / Балакай В.И., Арзуманова А.В., Балакай И.В., Балакай К.В., Бырылов И.Ф., Иванов В.В. Оpubл. 27.06 2011. Бюл. № 18.
29. Патент 2451113 Рос. Федерация / Трофимов Г.Е., Щербаков И.Н., Шевченко М.Ю., Логинов В.Т., Дерлугян П.Д., Дерлугян Ф.П., Иванов В.В. Оpubл. 20.05 2012. Бюл. № 14.
30. Патент 2473711 Рос. Федерация / Трофимов Г.Е., Щербаков И.Н., Шевченко М.Ю., Логинов В.Т., Дерлугян П.Д., Дерлугян Ф.П., Иванов В.В. Оpubл. 27.01 2013. Бюл. № 3.