

УДК 539.25

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НИТРИТА ТИТАНА, НАНЕСЁННОГО НА ПОДЛОЖКУ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Ю.В. Брылкин

*Московский государственный университет Леса
141005, Московская область, Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, 1
maderator@yandex.ru*

Аннотация: На основании снимков, полученных с использованием сканирующего туннельного микроскопа, показано, что фрактальная размерность может служить некоторой универсальной характеристикой поверхности нитрита титана, нанесенного на подложку из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

Ключевые слова: *фрактал, сканирующая туннельная микроскопия, топология поверхности.*

Интерес к улучшению свойств поверхности изделий за счёт нанесения покрытия из нитрита титана (TiN) не ослабевает уже несколько десятилетий, из-за относительной дешевизны и безопасности в производстве. Технологии получения наноструктурированных покрытий на основе осаждения TiN на подложки из различных материалов, позволяющие в широких пределах целенаправленно модифицировать поверхностные свойства конструкционных и инструментальных материалов и достаточно просто применимые к уже готовым изделиями, описаны во многих работах.

Так, в [1] описаны методики проведения экспериментов с использованием ВЧ-плазмотрона. Характеристики полученного покрытия получались с использованием рентгено-фазового анализа (РФА), атомносиловой микроскопии и рамановской спектроскопии. В [2] рассмотрен ряд технологических приемов, обеспечивающих формирование нанопокровов с различными физико-механическими свойствами, необходимыми для нанесения на режущий инструмент и способными решать широкий спектр производственных задач.

В данной работе проведено исследование структуры поверхности нитрита титана (см. рис. 1), полученного осаждением на подложку из нержавеющей стали в установке высокочастотного индукционного нагрева. В качестве исходного продукта используется порошок титана, подмешиваемый в струю плазмообразующего газа (аргона). После прохождения разрядной камеры, где струя плазмотрона приобретает температуру $\sim 10000K$, происходит осаждение паров исходных продуктов на поверхности. Так как плазменный поток получается безэлектродным способом, следовательно, отсутствуют паразитные примеси, то можно с

уверенностью говорить об исследовании синтезированного в чистой плазме соединения TiN .



Рис. 1. Фотография образца нитрита титана, нанесённого на подложку из нержавеющей стали.

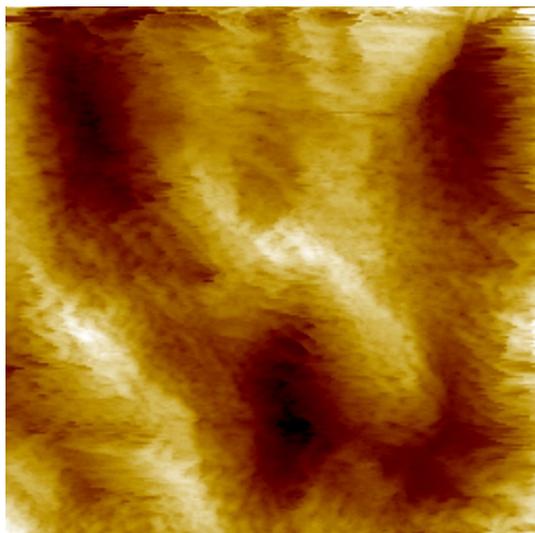
Поскольку для описания структуры поверхности не имеется единой методики, описывающей закономерности формирования структуры на чрезвычайно малых нанометровых уровнях съёмки, то использование теории фракталов представляется наиболее интересным.

Проведённые ранее исследования [3] показали реальную возможность описания фрактальными закономерностями топологии поверхности с достаточной для практических приложений точностью. Методика определения фрактальной размерности на основе данных сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) достаточно полно описана в работе [4].

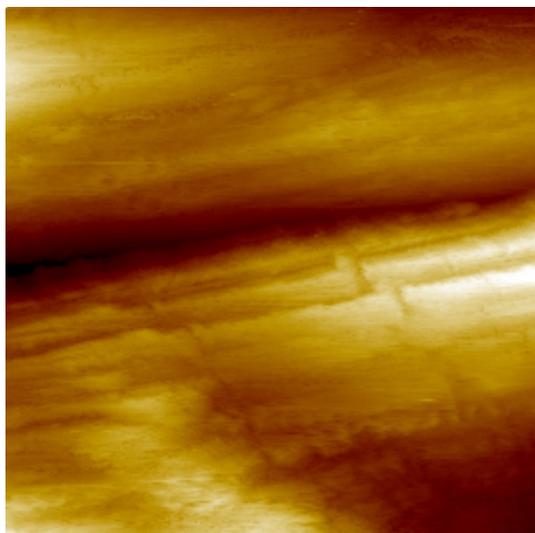
Для приведения в соответствие характеристик напылённого на подложку из нержавеющей стали нитрита титана были отобраны два эквивалентных участвующих в создании покрытия образца – сталь 12Х18Н10Т и сплав ВТ20 (см. рис. 2).

Поверхность исследуемого образца с нанесённым на подложку нитритом титана (см. рис. 3) визуально сильно развита, вследствие чего, традиционно применяемые в профилометрии параметры (шероховатость и прочие) не могут адекватно характеризовать поверхностную геометрию с такой тонкой структурой.

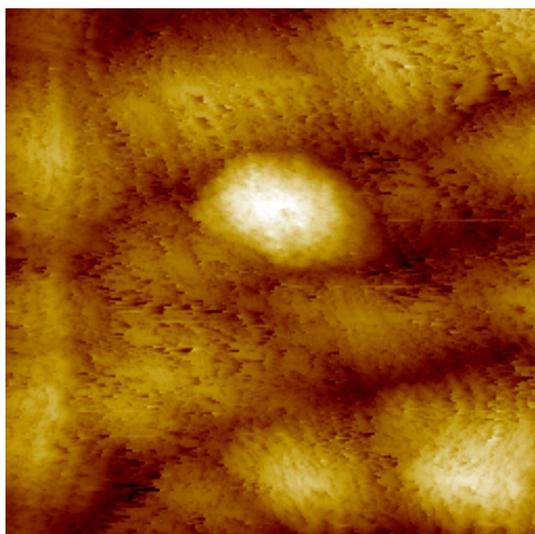
Новый подход, который мы использовали и развили при изучении таких рельефов, заключается в применении метода фрактального анализа, который осуществлялся путём цифровой обработки топограмм поверхностей. И хотя в материаловедении есть уже немало примеров применения этого метода, к изучению нитрита титана он применён впервые.



(a)

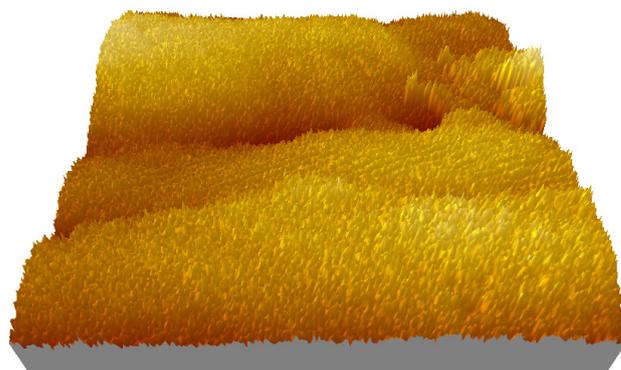


(б)

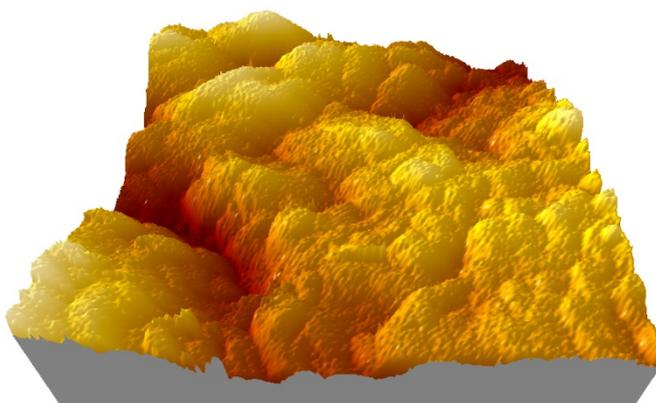


(в)

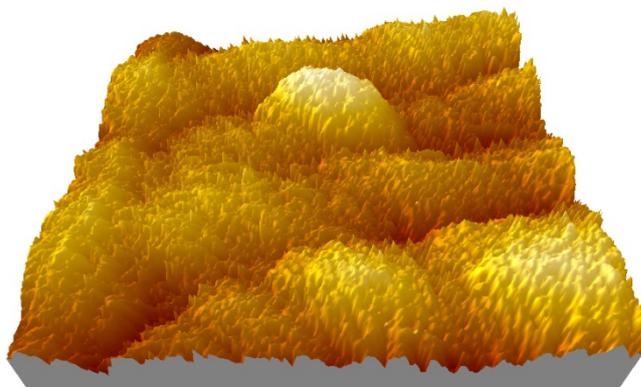
Рис. 2. Снимки поверхностей образцов, полученные с помощью СТМ: а) сталь 12Х18Н10Т, б) сплав ВТ20, в) *TiN* на нержавеющей стали.



(а)



(б)



(в)

Рис. 3. Объёмная визуализация снимков поверхности TiN на подложке из нержавеющей стали: а) 125×125 нм, б) 1×1 мкм, в) 4×4 мкм.

С одной стороны, фрактальная размерность есть показатель, характеризующий степень самоусложнения поверхности. В этом заключается её геометрический смысл. С другой стороны, геометрия поверхности определяется термодинамическими условиями и механизмами роста, и фрактальность становится его физической характеристикой.

Для снижения вероятности ошибки в расчёте фрактальной размерности был получен ряд снимков с различными размерами фрагментов поверхности: от 8×8 мкм до 125×125 нм. Результаты расчётов

фрактальных размерностей образцов с различными масштабами съёмки сведены в Таблицу 1.

На основе цифровой обработки и фрактального анализа топограмм, мы пришли к выводу, что фрактальность структуры нитрита титана, не является атомарно-гладкой, о чём свидетельствует профиль поверхности, представленный на рис. 4.

Таблица 1. Фрактальная размерность для различных масштабов съёмки

Фрагмент Образец	125×125 нм	500×500 нм	2×2 мкм	4×4 мкм	8×8 мкм
Нержавейка	2,57	2,7	2,79	2,82	2,71
Титан	2,62	2,74	2,73	2,76	2,76
TiN на нержавеющей	2,52	2,6	2,63	2,55	2,53

Это легко объяснить трехмерными механизмами формирования (большие тепловые потоки, низкая температура подложки и т.д.), генерирующими структуру с атомно-шероховатым рельефом.

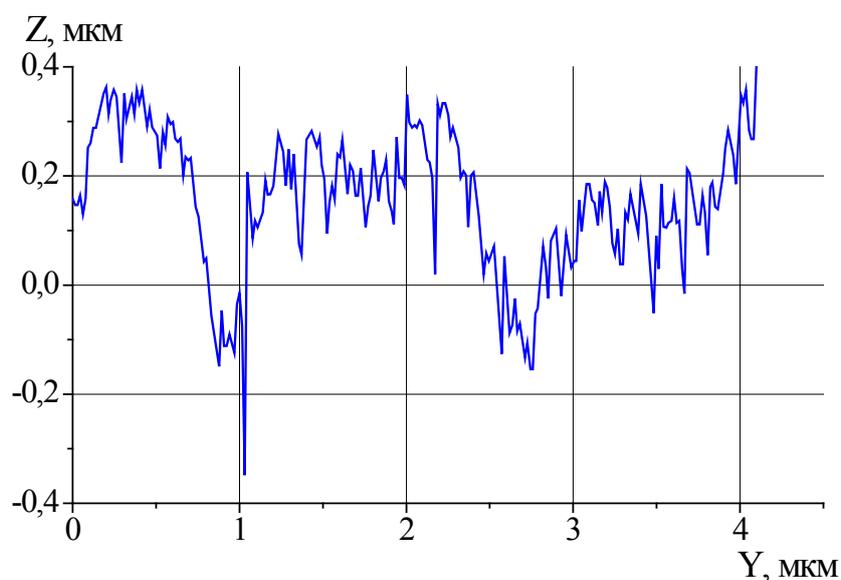


Рис. 4. Профиль поверхности TiN на подложке из нержавеющей стали.

Однако, постепенное наложение частиц нитрита титана приводит к двумерным (сглаживающим рельеф) механизмам роста, благодаря которым фрактальная размерность поверхности нитрита титана несколько ниже ($D \sim 2,56$), чем фрактальная размерность стали 12X18H10T и сплава BT20, у которых, в среднем, фрактальная размерность $D \sim 2,72$. Это хорошо видно на рис. 5.

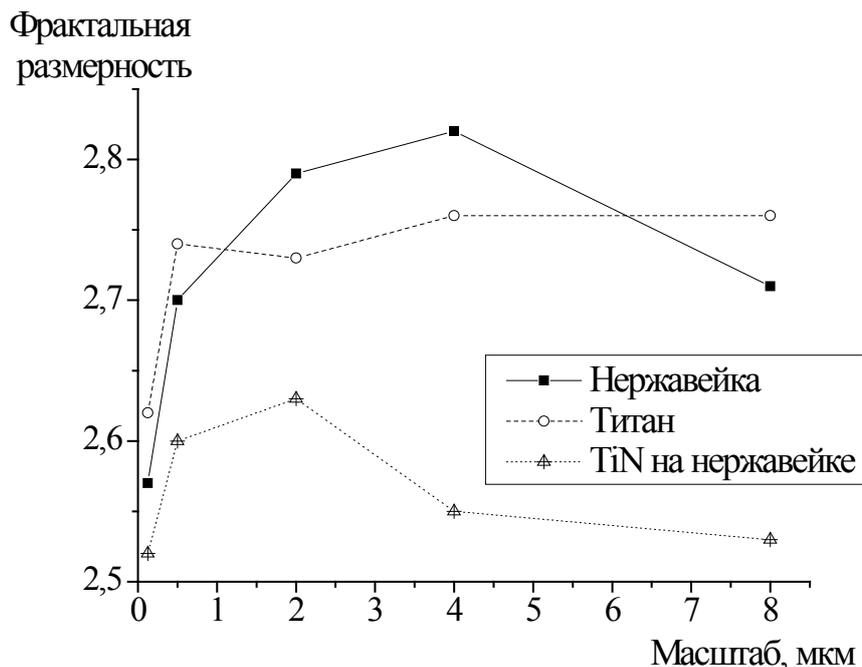


Рис. 5. Изменение фрактальных размерностей относительно масштаба съёмки.

Изменение топографии поверхности, а следовательно, снижение значения параметра D указывает на осаждение частиц на микродефектах поверхности. Так заполняются дефектные зоны, образованные при предшествующей механической обработке. Поэтому структура поверхности нитрида титана на микроуровнях развивается по абсолютно иным законам.

Топограммы поверхности продемонстрированные на рис. 2 б и рис. 2 в при внимательном рассмотрении обнаруживают два типа зёрен: мелкие (~ 50 нм) и крупные (~ 1 мкм), которые представляют собой сросшиеся мелкие зёрна.

Этот эффект, подтверждающий фрактальность структуры, можно объяснить попаданием частиц TiN на подложку в расплавленном состоянии, вследствие чего происходит теплоотвод вглубь, а кристаллизация происходит с созданием мелкозернистой структуры. С другой стороны, неравновесность среды, обусловленная конструктивным наличием завихрителя газового потока, приводит к укрупнению зёрен.

Надо отметить, что образование мелких зёрен подтверждает [5] повышение прочности и твёрдости, присущее покрытию из нитрида титана.

Таким образом, в настоящей работе успешно применены основные подходы фрактальной геометрии к определению основных параметров, характеризующих микроструктуру покрытия из нитрида титана. Полученные данные могут быть в дальнейшем использованы для задания

структуры поверхности при решении газодинамических задач и задач, связанных с тепломассопереносом.

Библиографический список:

1. **Залогин, Г.Н.** Получение наноструктурированных материалов и покрытий на высокочастотном индукционном плазмотроне / Г.Н. Залогин, М.И. Зимина, А.В. Красильников, Н.Ф. Рудин, Д.Д. Титов // Перспективные материалы. – 2011. – № 11. – С. 19-24.
2. **Волосова, М.А.** Исследование износостойкости концевых твердосплавных фрез с нанопокрытием / М.А. Волосова, А.Р. Маслов // Стружка. – 2012. – № 30. – С. 16-21.
3. **Брылкин, Ю.В.** Моделирование структуры рельефа реальных поверхностей на основе фракталов в аэродинамике разреженных газов / Ю.В. Брылкин, А.Л. Кусов // Космонавтика и ракетостроение. – 2014. – № 3(76). – С. 22-28.
4. **Брылкин, Ю.В.** Соотношение фрактальной размерности и различной шероховатости для образцов меди / Ю.В. Брылкин, А.Л. Кусов // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Тверской государственный университет. – 2013. – Вып. 5. – С. 33-38.
5. **Катц, Н.В.** Металлизация распылением / Н.В. Катц, Е.В. Антошин, Д.Г. Вадивасов, Г.Д. Вольперт, Л.М. Камионский. – М.: Машиностроение, 1966. – 200 с.