

УДК 621.941

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЗЦОВ С ПЛАСТИНАМИ ИЗ ТВЕРДОГО СПЛАВА ПРИ ТОЧЕНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

А. О. Нос

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины
ул. Автозаводская, 2, г. Киев, 04074, Украина. E-mail: NTONYA00@gmail.com.

Известно, что структура композитов непосредственно влияет на работоспособность режущего инструмента. Наличие разных ее составляющих свидетельствует о гетерогенности материала, что требует применения статистических методов исследования. Подтвержденное наличие тесной корреляционной связи между изменением мультифрактальных характеристик структуры твердого сплава и изменением его механических свойств позволяет использовать метод мультифрактальной параметризации для количественной оценки качественных характеристик структуры. Рассмотрен подход к оценке работоспособности режущего инструмента с помощью количественной мультифрактальной параметризации. Подтвержденная зависимость между исследуемой скоростью изнашивания инструментов и мультифрактальными показателями структуры твердых сплавов (обобщенные размерности Реньи, степень упорядоченности, мера однородности, показатель адаптивных свойств структуры) дает возможность характеризовать работоспособность режущего инструмента в зависимости от этих параметров.

Ключевые слова: структура, работоспособность режущего инструмента, мультифрактальные характеристики, износ инструмента, скорость изнашивания.

ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ РІЗЦІВ, ОСНАЩЕНИХ ПЛАСТИНАМИ З ТВЕРДОГО СПЛАВУ ПРИ ТОЧІННІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

А. О. Нос

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України
вул. Автозаводська, 2, м. Київ, 04074, Україна. E-mail: NTONYA00@gmail.com.

Відомо, що структура композитів безпосередньо впливає на працездатність різального інструменту. Наявність в ній різних складових говорить про гетерогенність матеріалу, що потребує використання статистичних методів дослідження. Підтверджено, що існує тісний кореляційний зв'язок між зміною мультифрактальних характеристик структури твердого сплаву і зміною його механічних властивостей. Це дозволяє використовувати метод мультифрактальної параметризації для кількісної оцінки якісних характеристик структури. Розглянуто підхід щодо оцінки працездатності різального інструменту за допомогою кількісної мультифрактальної параметризації. Доведена залежність між швидкістю зношування інструментів та мультифрактальними показниками структури твердих сплавів (узагальнені розмірності Реньї, ступінь упорядкованості, міра однорідності, показник адаптивних властивостей структури) дає можливість характеризувати працездатність різального інструменту в залежності від цих параметрів.

Ключові слова: структура, працездатність різального інструменту, мультифрактальні характеристики, знос інструменту, швидкість зношування.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В промышленном производстве широкое распространение приняты материалы с гетерогенной структурой. Твердые сплавы различного химического состава являются непосредственным примером таких структур. Традиционно понятие обрабатываемости резанием связывают с исходной структурой и механическими свойствами материалов. Но в то же время, остается недостаточно изученной взаимосвязь между параметрами микроструктуры, зерновым составом, микростроением межфазных границ в материалах с гетерогенной структурой и их работоспособностью в условиях нагружения во время эксплуатации. Теория фракталов переводит на более высокий статистический уровень представление о структуре, что дает возможность количественно оценить параметры, которые определяют свойства материалов.

Структура композитов непосредственно влияет на работоспособность режущего инструмента. Проведенные в ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины

исследования подтвердили наличие тесной корреляционной связи между изменением мультифрактальных характеристик структуры твердого сплава и изменением его механических свойств, которые в значительной степени определяются состоянием кобальтовой связки, величиной прослоек связки, наличием графитовых включений и пор, их размером и характером распределения в объеме материала, размером зерен, наличием больших зерен и однородностью их распределения. Традиционные металлографические методы не позволяют комплексно оценить структуру твердых сплавов количественными характеристиками. Для получения такой оценки целесообразно использовать статистические методы исследований, например, использовать фрактальную параметризацию структуры материалов.

Цель работы – исследование работоспособности резцов с пластинами из твердого сплава при точении конструкционных сплавов.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ІССЛЕДОВАНИЙ.

В настоящей работе исследовался режущий инструмент, оснащенный твердым сплавом Т5К10. Структура твердого сплава содержит свободные и контактирующие зерна карбида вольфрама, сложные титановольфрамовые карбиды и связующую фазу, что представляет собой твердый раствор вольфрама и углерода в кобальте. Также присутствуют нежелательные включения графита и пористость. Наличие различных составляющих структуры свидетельствует о гетерогенности материала, что требует применения статистических методов исследования структур, например, мультифрактальной параметризации.

При резании износ инструмента из титановольфрамокобальтовых твердых сплавов чаще всего происходит вследствие хрупкого микроразрушения, скалывания отдельных карбидных зерен, а также относительно больших объемов материала. Разрушение происходит вдоль межфазных границ по связующей (рис. 1). В таких условиях стойкость инструмента во многом определяется усталостной прочностью материала, характером распределения кобальтовой связки и конфигурацией межфазных границ и границ между зернами.

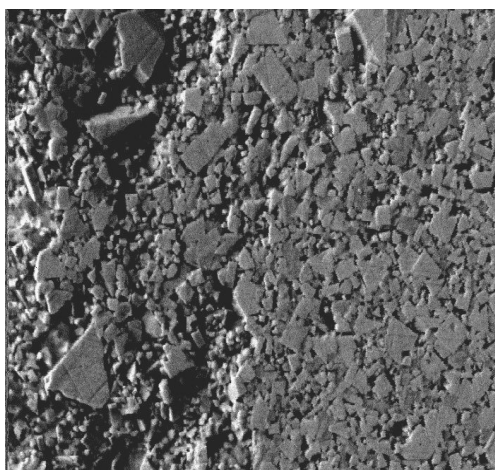


Рисунок 1 – Структура на границе износа режущего инструмента

Количественную оценку структуры покрытия предлагается определять на базе фрактальных представлений о структуре материала и рассматривать механические свойства на каждом структурном фрагменте, что связано с их фазовым составом, размерами, состоянием границ и другими параметрами. Совокупность механических свойств композитов необходимо рассматривать как мультифрактал с комплексом фрактальных характеристик.

Учитывая, что фрактальные параметры определяются по графическим носителям информации, большое значение имеет разработка методики получения этих носителей [1–3].

При изучении микростроения обрабатываемых и инструментальных материалов, а также параметризации их структуры и совокупности механических свойств расчет фрактальных параметров проводится по двумерным изображениям исследуемых объектов с использованием методики цифровой мультифрактальной параметризации, специальных компьютерных программ, в частности MFRDrom, разработанной Г.В. Встовским [4].

Так как в качестве объекта мультифрактальной параметризации используются изображения металлографической структуры, то, безусловно, при анализе необходимо учитывать методику выявления этой структуры, а также особенности цифровой съемки и редактирования полученных изображений. Это – правильный выбор параметров химической и электрохимической обработки, необходимой для травления образца и получения изображений, поскольку именно от нее зависит степень определения структурных составляющих, а значит и детализации изображения структуры [6]. Важную роль в получении изображения имеет использованное оборудование, а именно фотовидеокамера и микроскоп – качество оптики, интенсивность освещения, чувствительность и др. Значительное влияние на результат имеет редактирование изображения: при изменении параметров контрастности и яркости значение некоторых мультифрактальных параметров значительно изменяются. Поэтому при проведении мультифрактальной параметризации необходимо использовать средства, которые учитывают вышеприведенные факторы и позволяют создать единые условия формирования изображений структур [1].

В связи с тем, что методика цифровой мультифрактальной параметризации основывается на анализе цифровых изображений, особое внимание при проведении исследований необходимо уделять подготовке образцов и обработке полученных компьютерных изображений, от которых зависят конечные результаты анализа.

Перед проведением исследований структур с использованием электронной и оптической микроскопии предварительная механическая обработка (шлифование, полирование) и травление образцов должно проводиться в одинаковых условиях, которые обеспечивают получение детального изображения структуры.

Для идентификации α -фазы (фазы WC) проводится травление в реактиве Мураками (смесь равных по объему 10 %-ных водных растворов железосинеродистого калия и едкого калия или едкого натрия) продолжительностью 4–5 минут. Для удаления кобальтовой и других фаз проводится травление в насыщенном растворе хлорного железа (2–3 мин). Для получения корректных результатов все изображения необходимо предварительно обработать для достижения близких уровней контрастности и яркости (рис. 2).

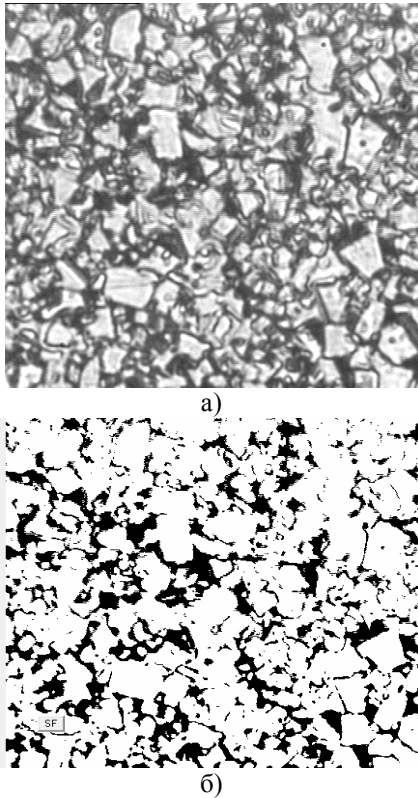


Рисунок 2 – Предварительное (а) и обработанное (б) в программе MFRDgom изображение структуры

Следуя алгоритму мультифрактальной параметризации на полученных изображениях последовательно проводится много равноячеечных разбиений с размерами ячеек с набора, который задается (l_k) и мерами (μ_{ik} , $i = 1, \dots, N_k$), которые определяются исходя из заданных мер элементарных ячеек. Это значит, что для каждого разбиения на ячейки большего размера $l_k \times l_k$ строятся характеристические меры в виде равноячеечного распределения единиц μ_i ($\mu_i = M_i / \Sigma M_i$, где M_i – количество единиц в i -й большой ячейке, ΣM_i – общее количество единиц в матрице больших ячеек ($i = 1, 2, 3, \dots, N$)). Дальше для набора величин q из определенного интервала (максимально $q \in [-200; 200]$) проводится расчет мультифрактальных характеристик $-f(\alpha)$ -спектров и D_q -спектров размерностей Реньи с проверкой их корректности.

Соответственно теоретическим и экспериментальным исследованиям, с целью количественной параметризации, целесообразно использовать обобщенные размерности (энтропии) Реньи D_q (при положительных $q = \max$):

1) D_0 – размерность Хаусдорфа-Безиковича, которая характеризует однородный фрактал. D_0 определяют по максимальному значению функции $f(\alpha)$, которая отвечает значению D_q при $q=0$;

2) D_1 – информационная размерность, которая характеризует скорость роста количества информации при $q \rightarrow 0$. Ее определяют за тангенсом угла наклона касательной к кривой $f(\alpha)$, которая отвечает значению D_q при $q=1$;

3) D_2 – корреляционная размерность, которая характеризует возможность найти в одной и той же ячейке две точки множества. Она отвечает значению D_q при $q=2$;

4) D_q и D_q^* – экстремальные значения D_q для данной структуры в случае плоских (D_q) и объемных (D_q^*) мультифрактальных множеств, при достижении которых они вырождаются.

Характеристики D_q ($0, 1, 2, \dots, q$) несут количественную информацию про термодинамические условия получения исследуемых структур [1].

С использованием обобщенных размерностей (энтропий) Реньи D_q для количественного описания структуры мультифрактала определяют:

1) степень упорядоченности структуры за величиной параметра $\Delta_q = D_1 - D_q$. Значения $\Delta_q = 0$ характеризуют отсутствие Φ -симметрии (для канонических спектров).

Условию Φ -симметрии отвечает условие стабильности фрактальной размерности объекта при его превращении. Например, в процессе деформирования Φ -симметрия нарушается при переходе через пороги: упругость, неупругость, пластичность, перколяция;

2) мера однородности структуры f_∞ или ее оценка f_q , большей величине которой отвечает более однородная структура. Например, при сравнении двух структур с порами более высокие значения f_q будут у структуры, которая отличается по размеру небольшими порами, которые равномерно распределены на изображении данной структуры;

3) изменение плотности множества при достижении граничного состояния (вырождение мультифрактальности) за величиной параметра δ_q ;

4) показатель адаптивности свойств структуры материала к внешнему влиянию A_m . Для оценки адаптивных свойств структуры по данным мультифрактальной параметризации могут также использовать отношения: $A_m = D_1 / D_q$ – для псевдоспектров и $A_m = D_q / D_1$ – для канонических спектров.

Под степенью однородности структуры f_q понимают не традиционную качественную характеристику внешнего вида структуры, а показатель характера распределения единичных элементов распределения рассмотренной структуры в евклидовом пространстве, охватывающем эту структуру. С увеличением f_q структуры увеличивается ее однородность для канонических вариантов спектров.

Показатель Δ_q отображает степень упорядоченности и нарушения симметрии для общей конфигурации исследуемой структуры в целом. Например, для структуры с трещиной увеличение $|\Delta_q|$ может определять усложнение формы трещины, для зеренных микроструктур – образование дополнительных групп зерен со своими размерами и ориентацией.

При изменении параметров f_q и Δ_q можно получать дополнительную полезную информацию о темпах процесса структурообразования, изменения механизмов формирования структур и др.

Адаптивність структури к внешнему влиянию отображает способность системы приспособляться к изменчивым внешним влияниям путем перестройки структуры для обеспечения эволюции как целой на макроуровне [2].

При проведении мультифрактальной параметризации для исследуемых структур также существенную роль играет тип спектра, который используется для расчета показателей. При исследовании можно установить количество изображений необходимое для анализа, а также их размер, что играет существенную роль при получении результатов.

Параметр упорядоченности Δ_{200} обусловлен степенью «разветвленности», извилистости границ зерен в целом. С увеличением зернистости параметр изменялся слабо, так как не изменялась конфигурация границ зерен

Параметр однородности f_{200} связан с однородностью размеров (толщины) границ зерен и дефектов по размеру (в данном случае однородность толщины кобальтовой связки и размера пор). Более высокие значения f_{200} отвечают структуре, которая характеризуется наличием близких по размерам небольших структурных элементов, которые равномерно распределены по структуре.

Фрактальная размерность D_0 характеризует количество дефектов в структуре. С увеличением пористости величина D_0 существенно возрастает, а f_{200} наоборот. При увеличении дефектности структуры отмечается уменьшение значения отношения D_1/D_{200} – фрактальной меры адаптивности структуры к внешнему влиянию.

Для образцов твердого сплава Т5К10 при проведении мультифрактальной параметризации корректные результаты были получены с использованием псевдомультифрактальных спектров. Для получения более точных конечных мультифрактальных параметров из одного образца необходимо анализировать несколько изображений. Для твердого сплава анализ более трех изображений не привел к существенному изменению результатов существенным изменениям средних значений (разница составляет 2–5 %). Также, на результаты существенное влияние имеет размер анализируемых изображений. Для экспериментов с твердым сплавом, чем большим был размер анализируемого изображения, тем корректнее и стабильнее были полученные результаты.

Конечные данные мультифрактальных характеристик рассчитываются как средние величины по всем корректным спектрам. В табл. 1 представлены результаты расчетов мультифрактальных показателей для образцов из сплава Т5К10, часть из которых подвергалась магнитно-импульсной обработке.

Разброс средних значений для исследованных образцов твердых сплавов свидетельствует о том, что они, вероятно, были взяты из различных партий композитов.

Таблица –1 Средние значения мультифрактальных характеристик

Δ_{200}	f_{200}	D_0	D_1	D_2	D_{200}	D_1/D_{200}
-0,258	4,108	1,676	1,728	1,759	1,987	0,870
-0,517	4,372	1,211	1,465	1,596	1,982	0,739
-0,331	4,239	1,563	1,650	1,698	1,981	0,833
-0,529	4,493	1,242	1,455	1,572	1,984	0,734
-0,440	4,472	1,378	1,542	1,626	1,982	0,778
-0,298	4,325	1,497	1,605	1,664	1,985	0,809
-0,354	4,265	1,335	1,542	1,643	1,984	0,777
-0,439	4,349	1,384	1,544	1,634	1,983	0,779
-0,387	4,119	1,441	1,594	1,672	1,981	0,805

Определения скорости изнашивания пластин из твердого сплава Т5К10 проводилось при точении стали со скоростями резания 20 и 40 м/мин. Все испытания для каждого образца выполнялись в одинаковых условиях (табл. 2).

Таблица 2 – Величина износа и скорость изнашивания инструментов по задней поверхности

Скорость, м/мин	h_3 , мкм	Скорость изнашивания, мкм/мин
20	200	50
40	150	37,5
20	100	25
40	50	12,5
20	600	150
40	100	25
20	200	50
40	150	37,5
20	150	37,5
40	200	50
20	150	37,5
40	100	25
20	150	37,5
40	500	125
20	500	125
40	150	37,5
20	500	125
40	200	50

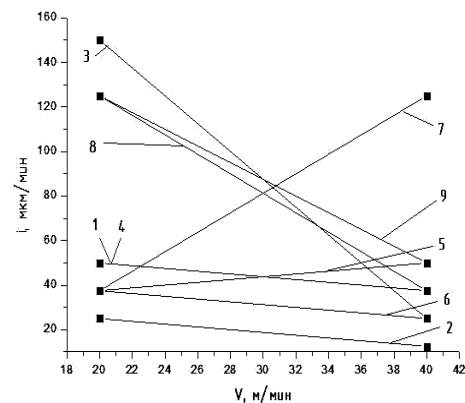


Рисунок 3 – Зависимость скорости изнашивания инструментов от скорости резания

Как показано на графике зависимости скорости изнашивания инструмента от скорости резания (рис. 3), при низких скоростях резания быстрее изнашиваются инструменты с пластиной № 3, которая не поддавалась обработке, № 8 и № 9, которые подвергались магнитно-импульсной обработке. При скорости 40 м/мин. Самую высокую скорость изнашивания имел инструмент с пластиной, которая была обработана второй магнитно-импульсной обработкой. Для инструментов с пластинами № 1 и № 2, которые не подвергались обработке и пластинами, которые поддавались первой магнитно-импульсной обработке, имеют место одинаковый характер зависимости и почти одинаковая скорость изнашивания, как при низких, так и при высоких скоростях резания.

Известно, что при снижении показателя однородности структуры композитов f_{200} наблюдается увеличение скорости изнашивания инструмента. В табл. 1 показано, что образцы № 4 и 5, которые подвергались первой методу магнитно-импульсной обработке показатели однородности твердых сплавов самые высокие.

ВЫВОДЫ. Таким образом, из сравнения показателей мультифрактальных параметров структуры образцов, сделав вывод видно, что они свидетельствуют о значительных отличиях структур исследуемых сплавов. Причиной этого могут быть как разные материалы исходного сырья для изготовления пластин, так и сами методы их изготовления. Это, к сожалению, не дает возможности установить надежные корреляционные связи полученных параметров с методами магнитно-импульсной обработки. Но зависимости между исследуемой скоростью изнашивания инструментов и мультифрактальными показателями структуры твердых сплавов, которыми они оснащены, дают возможность характеризовать работоспособность режущего инструмента в зависимости от этих параметров.

Полученные результаты также показывают, что работоспособность твердых сплавов для режущего инструмента определяется не только размером карбидных зерен и содержанием кобальта, а еще и в большой степени зависит от формы зерен и характером распределения этих зерен и кобальтовой связующей в объеме материала.

Так, лучшую работоспособность имеют инструменты с пластинами, у которых параметры однородности, упорядоченности, меры адаптивности структуры к внешнему влиянию имеют более высокие значения, а фрактальная размерность должна бы быть ниже.

Результаты исследований показывают, что использование мультифрактальной параметризации для анализа структур инструментальных материалов является эффективным инструментом для оптимизации технологии изготовления этих материалов и определения необходимых параметров последующей обработки без проведения трудоемких дорогостоящих испытаний режущих инструментов, которые ими оснащены. Параметры мультифрактального анализа могут быть целесообразно использованы для оценки качества и прогнозирования работоспособности режущих инструментов и оптимизации самого процесса обработки резанием.

Работа выполнена при поддержке Государственного фонда фундаментальных исследований Украины № Ф 54.2/022 и Белорусского фонда фундаментальных исследований № Т13К-033.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клименко С.А., Мельничук Ю.О., Встовський Г.В. Фрактальна параметризація структури матеріалів, їх оброблюваність різанням та зносостійкість різального інструменту. – К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля, 2009. – 170 с.
2. Клименко С.А., Мельничук Ю.А. Изменение структуры и свойств твердых сплавов при износе оснащенных ими режущих инструментов // Прикладная синергетика–III: сбор. науч. трудов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2012. – С. 94–100.
3. Клименко С. А., Нос А.О. Анализ подходов к оценке обрабатываемости материалов резанием // Материалы XXIII-й Международ. науч.-техн. конф. «Новые технологии в машиностроении», 3–8 сентября 2013 г., Крым, п. Рыбачье. – Харьков: НАКУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2013. – С. 13–14.
4. Встовский Г. В., Колмаков А. Г., Бунин И. Ж. Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов. – Ижевск: Науч.-изд. Центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 116 с.
5. Оксагоев А.А. Мультифрактальный анализ нелинейной динамики адаптивности структуры материалов к внешним воздействиям // Прикладная синергетика–II: сбор. науч. трудов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – Т. 2. – С. 7–14.
6. Клименко С.А., Мельничук Ю. А. Оценка взаимосвязи параметров структуры, механических свойств и обрабатываемости резанием напыленных материалов на основе фрактального подхода // Прикладная синергетика–II: сбор. науч. трудов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – С. 72–77.

PERFORMANCE OF CUTTING CARBIDE-BLADED TOOLS WHEN TURNING STRUCTURAL STEELS

A. Nos

V. Bakul Institute for Superhard Materials, National Academy of Sciences of Ukraine
vul. Avtozavodska 2, Kiev, 04074, Ukraine. E-mail: Ntonya00@gmail.com.

It is known that the structure of composites effects directly on the performance of cutting tools. Presence of various components of the structure allows suggesting heterogeneity of the material. This requires the use of statistical methods to research the structure of cutting tools. The close correlation between the change in the characteristics of multifractal structure of solid alloy and the change of its mechanical properties is confirmed and can be used for multi-fractal pa-

parameterization to quantify the qualitative characteristics of the structure. The article discusses an approach to assess the efficiency of cutting tools by quantitative multi-fractal parameterization. Such parameters as generalized Renyi dimensions, the degree of ordering, the homogeneity degree, the index of adaptive properties of the structure were used. It was proved the relationship between the wear factor of the tool and multi-fractal parameters of the structure of solid alloys, which made it possible to characterize the efficiency of the cutting tools based on these parameters escaping permanent testing for the tools wear resistance.

Key words: structure, performance of cutting tools, multi-fractal characteristics, tool wear, wear rate.

REFERENCES

1. Klimenko, S.A., Melniychuk, Y.O., Vstovsky, G.V. (2009), *Fraktalna parametryzatsiya struktury materialiv, ikh obrobluvanist rizannyam ta znosostiikist rizalnogo instrumentu* [Fractal parameterization of the material structure, their cutting machinability and wear resistance of the cutting tool], ISM, Kyiv, Ukraine.
2. Klimenko, S.A., Melniychuk, Y.O. (2012), "Changes in the structure and properties of solid alloy when wear cutting tools fitted with them", *Applied synergetics*, III: Dig. of Sc. Papers, pp. 94–100, UGNTI Publ., Ufa, Russia.
3. Klimenko, S.A., Nos, A.O. (2013), "Analysis of approaches of evaluation the workability of materials by cutting", *The Materials. of XXIII Int. Conf. «New Leading Technologies in Machine Building»*, 3–8 September 2013., pp. 13–14, Crimea, Rybachie, Ukraine.
4. Vstovsky, G.V., Kolmakov, A.G., Bunin, I.Z. (2001), *Vvedenie v multifraktalnuyu parametryzatsiyu struktur materialov* [Introduction to the multi-fractal parametrizatsiyu of material structures], Scien.-publ. center «Regular and Chaotic Dynamics», Izhevsk, 2001. – 116 p.
5. Oksahoev, A.A., (2004), "Multifractal analysis of the nonlinear dynamics of adaptive structure of materials to external influences", *Applied synergetics – II: Dig. of Sc. Papers*, vol 2, pp. 7–14, UGNTI Publ., Ufa, Russia.
6. Klimenko, S.A., Melniychuk, Y.O. (2012), "The evaluation of the relationship of structure parameters, mechanical properties and machinability of deposited materials on the basis of the fractal approach", *Applied synergetics*, II: Dig. of Sc. Papers, pp. 72–77, UGNTI Publ., Ufa, Russia.

Стаття надійшла 22.10.2013.